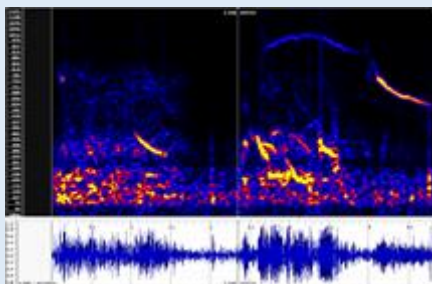




GRUPE D'ETUDE PLURIDISCIPLINAIRE STETHACOUSTIQUE

A.S.B.L



L'ŒIL ECOUTE, L'OREILLE VOIT.

Auscultation pulmonaire, échographie thoracique, contributions respectives en kinésithérapie respiratoire.

Guy POSTIAUX (*), Stéphane OTTO (**), Stéphane Karolewicz (***) , Jordi Vilario (****).

* PT, Groupe d'étude pluridisciplinaire stéthacoustique, Grand Hôpital de Charleroi, services de pneumologie et de pédiatrie B-6000 Charleroi. Member International Lung Sounds Association (Boston, USA). Member of the European Respiratory Society Task Force on Lung sounds Nomenclature Survey . <http://www.postiaux.com>

** PT, MSc , agrégée Enseignement Supérieur. Groupe d'étude pluridisciplinaire stéthacoustique.

*** MKDE PT, Service de réanimation pédiatrique, pôle femme-mère-enfant, CHU Poitiers, 2 Rue de la Milétrie, 86021 Poitiers, France.

Auteur correspondant : Guy Postiaux Bd Joseph II 4/72 B - 6000 CHARLEROI

Tel +32496230492, E-Mail guy.postiaux@gmail.com

**** Professeur Titulaire de Kinésithérapie respiratoire. Faculté des Science de la Santé Blanquerna. Chercheur du groupe Global Research on Wellbeing (GRoW). Université Ramon Lull, SP - Barcelone

Les auteurs remercient :

pour leur relecture critique du manuscrit, les Docteurs Etienne Marchand, pneumologue clinicien, Christian Bacq, consultant en radio-échographie diagnostique, Vincent Barvaux, pneumologue clinicien.

pour sa contribution à la partie enseignement de l'échographie thoracique : le Pr Rachel Brosseau, PhD, MSc. Programme de physiothérapie, École de réadaptation. Faculté de Médecine, Université de Montréal.

pour avoir contribué à notre enquête internationale portant sur les pratiques échographiques actualisées de leurs pays respectifs les collègues : Paulo Abreu (Pt), Roberto Bianchini et Marta Lazzeri (It), Daniel Ciudad (CH), Maria Regina de Carvalho Coppo, Luciana Castilho, Armele Dornelas de Andrade (Br), Jordi Vilaro (SP), Bruno Zwaenepoel (B).

Mots-clés : Kinésithérapie, Auscultation pulmonaire, Echographie Thoracique, Enseignement, phonopneumographie, sonographie.

Les publications de Guy Postiaux peuvent être trouvées sur le site : www.postiaux.com

http://www.postiaux.com/publication_fr

Les analyses acoustiques sonographiques ont été réalisées par Stéphane Karolewicz, PT, MKDE PT, Service de réanimation pédiatrique, pôle femme-mère-enfant, CHU Poitiers, 2 Rue de la Milétrie, 86021 Poitiers, France. Logiciel analyses: Sonic Visualiser Copyright ® 2005-2013 Chris Cannam and Queen Mary, University of London.

RÉSUMÉ

L'avènement de l'Echographie Thoracique - ET en Kinésithérapie Respiratoire – KR est relativement récente en milieu hospitalier et particulièrement dans les unités de soins intensifs où elle trouve ses principales indications. Les publications évaluant les performances de l'ET donnent naturellement lieu à des comparaisons avec les clichés radiographiques – RX, la Résonance magnétique – RMN, la tomodensitométrie - CTscan, et l'Auscultation pulmonaire – AP. Les scores de l'Auscultation Pulmonaire pratiquée par les kinésithérapeutes s'avèrent significativement les plus faibles en termes de précision et de reproductibilité inter- et intra-personnelles. Le présent travail tente d'en identifier les causes. De l'analyse de la littérature stéthacoustique, il ressort que cette expertise déficiente résulte de quelques facteurs cruciaux : 1. du manque d'uniformisation de la nomenclature actualisée et de sa non-observance, 2. de la confusion dans l'interprétation des termes de la nomenclature, 3. d'un enseignement peu structuré, 4. du manque d'expertise clinique. Pour tenter de remédier à ce constat, les auteurs proposent de structurer l'enseignement de l'AP qui inclut dans un ordre logique : 1. Les notions élémentaires de physique acoustique, 2. La définition psychoacoustique des bruits respiratoires - BR en termes de genèse, transmission et interprétation clinique, 3. L'affichage dynamique simultané sonore et visuel (phonopneumographies temporelle et spectrale) des BR et du tracé ventilatoire, 4. Des exercices pratiques sous guidance. Les auteurs comparent les contributions respectives de l'ET, où l'information anatomique prévaut, et de l'AP qui s'en distingue par une information clinique instantanée prévalente. Conclusion : ET et AP sont complémentaires dans l'appréciation loco-régionale des atteintes structuro-fonctionnelles pulmonaires. L'auscultation conserve sa pertinence en raison de sa richesse sémiologique qui enrichit le bilan kinésithérapique.

Mots-clés : Kinésithérapie, Auscultation, Echographie thoracique, Enseignement, phonopneumographie, sonographie.

ABSTRACT

Title : The eye listens, the ear sees. Respective contributions of auscultation and thoracic ultrasound to respiratory physiotherapy.

The recent advent of thoracic ultrasound - LUS in intensive care units in chest physical therapy practice is accompanied by criticisms concerning pulmonary auscultation and reveals a poor expertise by physiotherapists in terms of inter- and intra-personal precision and reproducibility. The present work aims to identify the causes of this poor performance through the stethacoustic literature with results 1. in the non-compliance to the updated lung sounds nomenclature, 2. in the confusion between terms, 3. in an unstructured teaching methodology and 4. in the lack of practical training. To improve the expertise, the authors suggest a structured teaching of auscultation including successively 1. physics of sounds, 2. psychoacoustical definition of each respiratory sound including its origin, transmission and clinical interpretation, 3. simultaneous layouts of computerized dynamic analysis in time (phonopneumogram), frequency domain (sonagram) and ventilatory pattern, 4. monitored training exercises. By using this education methodology, the authors believe that the stethoscope will remain an essential component of clinical examination, given its specific semiotic contribution. The respective contributions of auscultation and

thoracic ultrasound are different in nature, they do not compete. They are complementary in the loco-regional assessment of structural and functional abnormalities of the lung.

Keywords: Chest Physical Therapy, Thoracic Ultrasound, Lung sounds, Auscultation, Teaching and training.

ABRÉVIATIONS :

correspondances entre les abréviations en langue française et les appellations anglaises recommandées (en italique) des bruits pulmonaires. (Sovijarvi ARA, Dalmaso F, Vanderschoot J, et al. Definition of terms for applications of respiratory sounds. Eur Resp Rev 2000;1:77:597-610).

AP : auscultation pulmonaire

ATS : American Thoracic Society

BA : bruits adventives / Adventitious sounds

BR : bruits respiratoires/ Breath sounds/Respiratory sounds

BRB : bruit respiratoire bronchique/Bronchial breath sound

BRN : bruit respiratoire normal/Normal breath sound

BRT : bruit respiratoire trachéal/Tracheal breath sound

BT : bruit transmis/Transmitted sounds

Cr : craquements/Crackle

Cr HF, MF, LF craquements de haute, moyenne et basse fréquence relative/ High, Mid, Low pitched crackle

CT : CTscan, tomographie

CORSA : Computerized Respiratory Sounds Analysis group

ET : Échographie thoracique/Lung ultrasound LUS

ECG : électrocardiogramme

EFR : épreuves fonctionnelles respiratoires

ERS : European Respiratory Society

ET : échographie thoracique/Lung ultrasound LUS

FFT : transformée rapide de Fourier / FFT : fast Fourier transform

ILSA : International Lung Sounds Association

KR : kinésithérapie respiratoire / Chest physical therapy

PP : poumon profond /Deep, distal lung DP

RMN : résonance magnétique nucléaire

RX : cliché radiographique

Sb : sibilance/wheeze

St : stridor/stridor

VEMS : volume maximum expiré en une seconde

TABLE DES MATIERES

ABSTRACT	3
ABRÉVIATIONS :.....	4
TABLE DES MATIERES	5
INTRODUCTION	7
CHAPITRE 1. L’AUSCULTATION PULMONAIRE - AP.....	8
1. D’Hippocrate à Laennec, Forgacs et à l’International Lung Sounds Association : Eloge de la clinique.....	8
2. Une nomenclature scientifiquement fondée.....	14
3. La kinésithérapie est d’ordre sémiologique et non pas nosologique : observer, analyser, agir.....	15
CHAPITRE 2. L’ECHOGRAPHIE THORACIQUE – ET	17
1. Une émergence récente en kinésithérapie.....	17
2. Que mesure l’échographie thoracique ?.....	17
3. La formation des kinésithérapeutes à l’ET.....	18
4. Etat des lieux à l’international	18
5. L’ET est-elle transposable en ambulatoire ?.....	20
CHAPITRE 3 : AUSCULTATION, LE KINÉSITHÉRAPEUTE PEUT MIEUX FAIRE.....	21
1. Les reproches adressés aux kinésithérapeutes.....	21
2. Analyse de la littérature.....	21
3. Auscultation Pulmonaire, une vision restrictive.	22
CHAPITRE 4. L’ENSEIGNANT PEUT AUSSI MIEUX FAIRE !	24
1. Notions élémentaires des phénomènes vibratoires et de physique acoustique.....	24
2. Correspondance entre le type d’onde et la définition psychoacoustique du BR.	24

3.	L'œil écoute, l'oreille voit	25
4.	Il y a loin de l'amphithéâtre au lit du malade	30
5.	Sélectivité de l'écoute binaurale.....	30
6.	Le devenir de la formation.....	31
CHAPITRE 5. CONTRIBUTIONS RESPECTIVES DE L'ET ET DE L'AP.		33
1.	Apports respectifs et différentiels de l'échographe et du stéthoscope.	33
2.	Contributions comparées de l'ET et de l'AP.....	33
3.	Quelques questions adressées à l'ET par l'AP illustrent les différences de nature des deux méthodes .	33
3.1	Lors de l'auscultation médiate	34
3.2	L'écoute des bruits à la bouche fait aussi partie des signes cliniques sonores indicatifs.....	35
3.3	Enregistrements sur la durée et télé-médecine.	35
4.	Etablir la correspondance entre ET et AP	35
5.	ET et AP présentent des limites communes	35
CHAPITRE 6. CONCLUSION		37
RÉFÉRENCES		39

INTRODUCTION

Lors de nombreux échanges en formation avec de jeunes collègues, et au vu de la littérature stéthacoustique analysée dans ce travail, un constat s'impose : l'expertise des kinésithérapeutes laisse à désirer, indépendamment de leur niveau d'études, universitaire ou non universitaire. Des professeurs de médecine font le même constat dans leur discipline, leurs élèves négligent la pratique clinique au bénéfice des investigations paracliniques. L'auscultation représente sans doute la principale limite de l'expertise clinique des kinésithérapeutes.

L'avènement récent de l'échographie thoracique-ET dans le champ de compétence de la kinésithérapie hospitalière et bientôt pourquoi pas ? dans celui de la pratique libérale ambulatoire s'accompagne, pour preuve d'intérêt, d'un inévitable engouement initial à l'égard des formations proposées. Les travaux de validation de l'ET en kinésithérapie est alors naturellement confrontée à d'autres méthodes paracliniques comme la radiographie (RX), la tomodensitométrie (CT scan), la résonance magnétique nucléaire (RMN) mais aussi à la sémiologie pulmonaire, dont l'auscultation. La littérature consacrée à l'ET dans le champ de la pneumologie et de la kinésithérapie respiratoire-KR rapporte les critiques négatives affectant l'AP en termes de sensibilité, de spécificité et de reproductibilité intra et extra-personnelles. Le présent travail consiste à identifier les causes de ces faiblesses et s'il échet à proposer des remèdes en nous inspirant des figures tutélaires de l'histoire de la médecine clinique et en prenant en compte les acquis technologiques correspondants.

Pour ce faire, il conviendra aussi d'évaluer les contributions respectives de l'ET et de l'AP à l'évaluation des déficits respiratoires. De quelle nature sont ces méthodes ? Sont-elles complémentaires ou concurrentielles ? L'échographie amoindrit-elle l'intérêt de l'auscultation qui depuis deux siècles a vaillamment résisté aux assauts technologiques et à son déclin toujours annoncé, jamais vérifié ? L'auscultation parvient-elle ici encore à relever ce défi ? C'est à ces questions que le présent travail est consacré.

CHAPITRE 1. L'AUSCULTATION PULMONAIRE - AP

« A l'instar de l'alphabet qui, ne possédant qu'un nombre limité de lettres (ou de notes de musique), suffit à former le nombre infini de combinaisons qui forment le langage, un organe ne possède qu'un clavier d'expression réduit à quelques signes, malgré la multitude d'étiologies en cause». [1]

1. D'HIPPOCRATE À LAENNEC, FORGACS ET À L'INTERNATIONAL LUNG SOUNDS ASSOCIATION : ELOGE DE LA CLINIQUE.

L'histoire de la médecine humaine identifie deux figures emblématiques : Hippocrate qui vécut au 5ème siècle AJC et René Laennec (avant Claude Bernard) au début du 19ème siècle de l'ère nouvelle. Leur maîtrise, on peut parler de génie, s'appuie sur le préalable d'une observation clinique clairvoyante, acérée qui alimente l'hypothèse diagnostique. Hippocrate prônait déjà l'auscultation immédiate c'est-à-dire sans medium, sans intermédiaire en appliquant l'oreille sur le thorax du malade. Il inventa aussi la succussion décrite ci-après. René Laennec inventa l'auscultation médiante c'est-à-dire en interposant un objet intermédiaire, le cylindre, entre l'oreille et la paroi thoracique qu'il valida au moyen de corrélations anatomocliniques.

Hippocrate (460-377 AJC) [2] est considéré comme le « Père de la Médecine ». Son école a donné beaucoup d'importance aux doctrines cliniques d'observation et de documentation. Il est l'initiateur d'un style et d'une *méthode d'observation clinique*, où « *le malade devient objet du regard, source de signes* ». Hippocrate affirme que rien ne peut se substituer aux données cliniques, précepte dont s'inspirera également Galien. Hippocrate est aussi le promoteur des règles éthiques pour les médecins, à travers le serment et d'autres textes du Corpus. Il introduit la notion de terrain et l'idée que la maladie est le résultat d'une dialectique entre les prédispositions de l'individu et les circonstances extérieures. Il « invente » en ce sens l'immunologie en constatant que, à blessures égales, les perdants d'une bataille s'infectent et meurent alors que les vainqueurs survivent. Hippocrate ausculte les poumons (auscultation *immédiate*), décrit la « *succussion* » manœuvre qui consiste à secouer le malade pour entendre en retour la fluctuation du liquide en cas d'empyème ou d'épanchement pleural. Ces bruits permettent de déterminer l'existence d'interfaces gaz/liquide. C'est un bruit de ballotement abdominal ou thoracique que Laennec dénomme également « *commotion ou fluctuation* » (voir infra réf 6, Laennec volume 2 page 115 et suivantes du traité). Il identifie le cancer du sein, palpe l'abdomen, observe les doigts et les ongles et décrit, entre autres, l'« *hippocratisme digital* » ou ongles en verre de montre, ou extrémités digitales en « *baguettes de tambour* » ou plus précisément *ostéoarthropathie hypertrophiante pneumique ou syndrome de Pierre-Marie Bamberger*, qui est un syndrome paranéoplasique associant un hippocratisme digital, une polyarthrite et une périostite touchant les os longs, stigmatisme d'une infection pulmonaire chronique, BPCO et

mucoviscidose par exemple. Cependant, ses hypothèses sur l'origine des maladies sont fragiles. [3, 4]

René TH Laennec (1781-1826) fait de l'auscultation médiate une science anatomoclinique grâce à un progrès technique, le cylindre, qui évolua vers le stéthoscope biaural qui reste l'emblème de la profession médicale dans le monde. La *percussion* était dérivée d'une méthode ancestrale employée par les vigneron pour distinguer les tonneaux pleins des vides ou même pour estimer le niveau de leur contenu. C'est le médecin autrichien Leopold Auenbrugger (1722-1809) qui eut le premier l'idée de son application en médecine. La traduction de l'œuvre d'Auenbrugger n'aura lieu en français qu'en 1808 par Corvisart. [5]

Les observations stéthacoustiques de Laennec sont souvent d'une précision remarquable comme par exemple la description des phases chronologiques d'évolution de la pneumonie (pages 160 à 181 du Tome premier du traité) [6] : d'un stade d'« *engouement* » - apparition discrète de craquements de haute fréquence - à celui d'hépatisation rouge (*condensation*,) – timbre clair et présence d'une matité à la percussion- , d'« *hépatisation grise* » (début d'un recrutement volumique périphérique) – le timbre devient plus sombre apparition de craquements de moyenne fréquence -, de « *défervescence* » - bruits transmis audibles à la bouche (hypersécrétion proximale) - et de « *résolution* » - disparition des bruits adventices, retour au bruit respiratoire normal (de timbre sombre-). Ces différents stades modifient les indications kinésio-techniques, requérant au stade d'hépatisation rouge des inspirations résistées positionnelles, [7] ensuite et au fur et à mesure de l'évolution, des expirations lentes complétées d'expirations forcées lorsque les sécrétions ont migré dans l'arbre aérien moyen puis proximal. On mesure ici l'importance de l'acquisition de la compétence stéthacoustique par les kinésithérapeutes.

La personnalité de Laennec et sa contribution essentielle à la médecine humaine ont fait l'objet d'un colloque organisé au Collège de France les 18 et 19 février 1981 en commémoration du bicentenaire de sa naissance. [8] Laennec était un helléniste. Il avait fait ses études à une époque où presque personne n'étudiait le grec en classe. Il se perfectionna en grec ancien, sans maître ! afin d'être capable de lire Hippocrate dans le texte. [9] Il s'est inspiré de la méthode hippocratique qui n'accordait de valeur qu'au fait clinique particulier qu'il fallait considérer « *avec modestie et humilité* ». Les francophones ont la chance d'être capables de lire Laennec dans le texte ce qui leur procure un avantage dans l'interprétation de ses écrits. Cette difficulté pour les locuteurs non-francophones est encore, dans la littérature anglo-saxonne, à l'origine de confusions.

La nouvelle de l'invention par Laennec en 1816 à Paris du stéthoscope monaural a rapidement gagné toute l'Europe. Par contraste avec l'accueil assez tiède et même hostile par la presse médicale française pour l'invention du stéthoscope par Laennec, les premiers commentaires anglais furent enthousiastes et une première traduction du Traité fut réalisée et publiée par Sir J. Forbes (1787–1861) en 1821 [10]. Forbes prit cependant des libertés avec les termes râle et rhonchus [11]. http://www.postiaux.com/publication_fr La diffusion de la méthode stéthacoustique fut la plus rapide dans le monde anglosaxon. [12]

La lecture du Traité impressionne par la richesse des observations cliniques et anatomiques dans chaque cas examiné par Laennec. Cette lecture ne serait donc qu'anecdotique et

parfois rendue difficile par la reconnaissance de la pathologie d'alors à mettre en rapport avec la nosologie actuelle. Cependant la lecture du *Traité*, qui avantage le locuteur francophone, peut parfois aider à résoudre quelque difficulté sémantique. En effet, une langue n'est pas seulement un alignement de mots et de concepts, mais elle traduit également des différences de représentation. Il en est ainsi dans le domaine de la recherche scientifique. [13] L'œuvre princeps de Laennec fut aussi le premier traité de pneumologie.

Ensuite, et à nouveau à partir de constatations cliniques, deux publications déterminantes marquèrent un tournant, la première de Robertson et Coope en 1957 [14] qui, lors d'un dialogue imaginaire d'une grande élégance avec René Laennec qu'ils convia à leur table, lui proposent de simplifier la catégorie des bruits adventices (les 5 râles) en n'en distinguant que deux sortes : discontinus et continus. La seconde de Paul Forgacs en 1967 [15] fait état de premières mesures objectives et interprétatives des bruits respiratoires (BR). Les théories de Forgacs n'ont jamais été réfutées malgré des décennies de recherche conséquente.

D'un point de vue historique, les travaux contemporains de quantification des BR trouvèrent là leur coup d'envoi qui se concrétisa par la création en 1976 par deux professeurs de médecine américains, Robert Loudon (Cincinnati) et Raymond Murphy Jr (Boston) de l'International Lung Sounds Association (ILSA) [16] , aux travaux de laquelle œuvra modestement le premier auteur de ces lignes (GP) qui fut aussi le seul kinésithérapeute membre de ce groupe. Disposant des avancées paracliniques les plus récentes, ces deux promoteurs convenaient cependant du désintérêt de leurs étudiants, dommageable à leurs yeux, à l'égard de la phase clinique du diagnostic médical, dont l'auscultation est la principale victime. Affirmant que l'auscultation révèle des faits qu'aucune image ne montre. Affirmation qui reste vraie aujourd'hui comme nous le démontrons plus loin. (voir infra Chapitre 5, 3.)

Après plus de 30 années de recherche au sein d'une quinzaine de laboratoires, de la réalisation de deux mille études et de quelques centaines de publications, les stéthacousticiens qui participèrent aux travaux de l'ILSA convenaient que l'œuvre princeps de Laennec, qui est aussi le premier traité de pneumologie, ne comportait aucune erreur. Les analyses physicoacoustiques appliquées à tous les BR n'ont pas révélé de nouveaux bruits, n'ont pas remis en question leur description psychoacoustique initiale ni leur contexte physiopathologique. Les études apportèrent des précisions ou des révisions sur leur genèse, leur interprétation clinique, leur classification et les paramètres afférents dont la mesure faisait défaut au 19^{ème} siècle. (Figure 1)

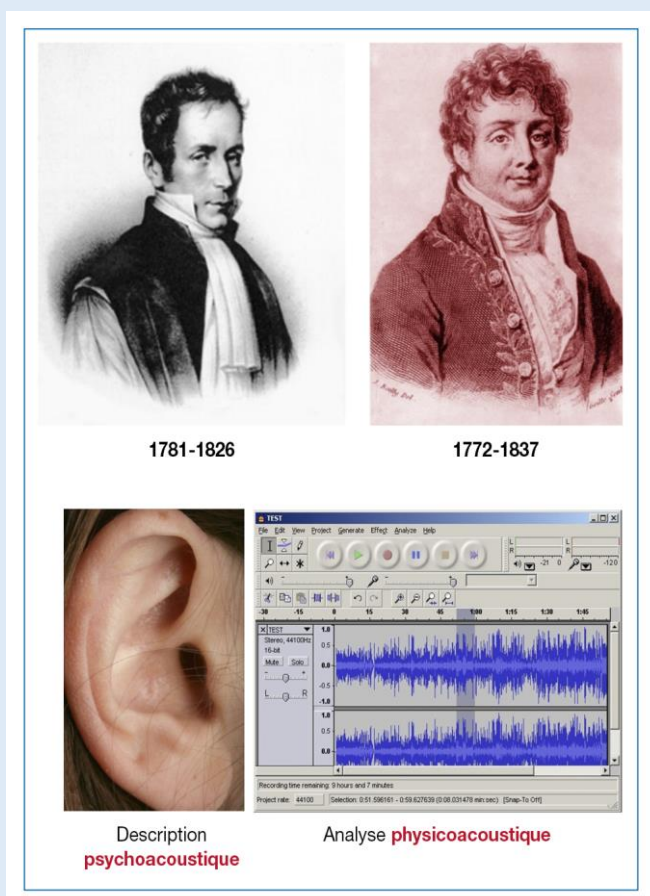


Figure 1.

Les travaux princeps de Robertson (1958) et Forgacs (1967) et la création de l'ILSA (1976) furent à l'origine des études objectives qui permirent la transition de la nomenclature psychoacoustique de Laennec à la nomenclature actualisée des bruits respiratoires. Les travaux de Joseph Fourier, contemporain de Laennec ne lui étaient pas connus. L'analyse de Fourier a permis de redéfinir les bruits respiratoires en référence à leur description physicoacoustique et de regrouper ainsi certains bruits en fonction du type d'onde vibratoire (voir Tableau 1. infra) (d'après G.Postiaux. La kinésithérapie respiratoire guidée par l'auscultation pulmonaire. éd Deboeck Université, Bruxelles 2016 ;p450.). Avec la permission de l'éditeur.

Des regroupements ont pu être effectués sur la base de la parenté temporelle des ondes vibratoires, réduisant ainsi la nomenclature de 8 à 4 bruits. (Tableau 1)

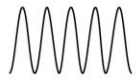

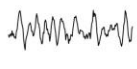


A. Signal acoustique		B. Nomenclature	C. Définition psychoacoustique
Vibration périodique	- simple		Sibilance monophonique
	- complexe		Sibilances polyphoniques
(polyphonie vraie ≠ pseudopolyphonie)			
Vibrations aperiódiques	- continues		Bruit respiratoire normal
			Bruit respiratoire bronchique
	- impulsionnelles		Craquements
<p>Les sibilances sont des bruits continus ou sons de tonalité musicale d'une durée supérieure à 30 msec.</p> <p>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.</p> <p>Les sibilances polyphoniques sont des sibilances de tonalités différentes entendues simultanément au même point d'écoute. Les sibilances polyphoniques se superposent dans le temps.</p> <p>Le bruit respiratoire normal est un bruit de timbre sombre généré au niveau des voies aériennes centrales et moyennes et filtré par le parenchyme pulmonaire aéré.</p> <p>Le bruit respiratoire bronchique est un bruit de timbre clair généré au niveau des voies aériennes centrales et moyennes et peu ou non filtré par le parenchyme pulmonaire densifié.</p> <p>Le terme craquement regroupe tous les bruits adventices discontinus d'une durée inférieure à 30 msec.</p>			

Tableau 1.

Relations entre signal physicoacoustique, nomenclature et définitions psychoacoustiques des bruits respiratoires.

Remarque : aux bruits pulmonaires il convient d'ajouter le frottement pleural, le geignement, le stridor, le ronflement et la toux

(d'après G.Postiaux. La kinésithérapie respiratoire guidée par l'auscultation pulmonaire. éd Deboeck Université, Bruxelles 2016 ;450 pages) Avec la permission de l'éditeur.

La nouvelle nomenclature présente les caractères déterminants de la validation scientifique et de la simplification. Elle fut recommandée dès 1978 par l'American Thoracic Society (ATS) [17] et ensuite par les autres sociétés savantes ILSA et l'European Respiratory Society ERS [18]. On ne peut que regretter que cette nomenclature scientifique largement adoptée par les pays anglo-saxons, dont nous avons proposé la correspondance des termes et paramètres en langue française en 1999 [19] (Tableau 2), reste peu répandue en Europe et dans le monde latin plus particulièrement francophone où elle peine à s'installer. Une enquête récente de l'ERS révèle qu'il conviendrait de résoudre cette disparité, [20] qu'un enseignement basé sur une représentation objective du signal pulmonaire peut contribuer à réduire. Les causes de cette faible adhésion sont plurielles, relevons la complexification inutile de la nomenclature par certains auteurs-traducteurs qui crurent bon de la « compléter ? » inutilement puisque que Laennec avait tout dit, ce dont convenaient les membres francophones de l'ILSA qui avaient lu son traité. Nous avons recensé 13 sortes de

râles dans les écrits francophones post-Laennec. On conçoit le désarroi des étudiants en médecine, a fortiori en kinésithérapie devant cette liste obscure et inutile. D'autre part, l'adoption d'une nouvelle nomenclature modifie des habitudes comme des « *préjugés que l'on sait plus difficiles à briser qu'un atome* ». Enfin, ne peut-on y voir aussi une certaine réticence face à cette facétie de l'histoire qui veut que d'origine française, la nouvelle nomenclature par un détour au sein du monde anglo-saxon, nous revienne actualisée et modernisée ?

		LAENNEC – 1819	ROBERTSON – 1957	FRANCE	U.K.	ATS 1977	FORGACS – 1979	GPS
A. NOMENCLATURE	1. BRUITS RESPIRATOIRES	Bruit respiratoire		Murmure vésiculaire	Normal breath sounds	Vesicular sounds	Breath sounds	Bruits respiratoires normaux
		Respiration puérile						
		Respiration puérile de l'adulte		Souffle tubaire	Bronchial breath sounds	Bronchial sounds	Bronchial breathing	Bruits respiratoires bronchiques
	2. BRUITS ADVENTICES		<i>Interrupted sounds</i>					
		Râle muqueux ou gargouillement	– Coarse crackling sounds	Râles bulbeux ou crépitants	Coarse crackles	Coarse crackles	– Low	– Basse fréq.
			– Medium crackling sounds	Râles sous- crépitants ou humides				– Moyenne fréq.
		Râle humide ou crépitation	– Fine crackling sounds	Râles crépitants ou fins	Fine crackles	Fine crackles	– High	– Haute fréq.
			<i>Continuous sounds</i>					
		Râle sibilant sec ou sifflement	– High-pitched wheeze	Râles sibilants	Wheezes	Wheezes	Wheezes (**)	Sibilances (**)
		Râle sec sonore ou ronflement	– Low-pitched wheeze	Râles ronflants	Rhonchi	Rhonchus	– Monophonic – Polyphonic	Monophonique Polyphonique
Râle crépitant sec à grosses bulles ou craquements (1826)								
B. CLASSIFICATION	Descriptive allégorique	Pitch Duration	Descriptive		Pitch Duration	(*) Pitch Number Timing	(*) Fréq. – Timbre Nombre Situation dans la phase Position – dépendance Kinésie- dépendance	
						(**) Pitch Complexity Duration Timing	(**) Fréq. – Timbre Complexité Durée – Taux Situation dans la phase	

Tableau 2.

A. Evolution de la nomenclature des bruits respiratoires de Laennec aux appellations contemporaines.

B. Qualification acoustique des bruits adventices.

(d'après G.Postiaux. La kinésithérapie respiratoire guidée par l'auscultation pulmonaire. éd Deboeck Université, Bruxelles 2016) Avec la permission de l'éditeur.

GPS : Groupe d'étude pluridisciplinaire stéthacoustique.

Quoi qu'il en soit, trop de bruits pour un consensus ! Les études préliminaires portant sur les relations indicatives entre la kinésithérapie et les paramètres des bruits respiratoires furent présentés par le premier auteur de ces lignes (GP) dans le cadre des travaux de l'ILSA. [21 , 22, 23 , 24, 25, 26] qui impulsèrent d'autres travaux portant sur le taux de sibillances, le nombre de craquements et leur morphologie, le spectre des bruits respiratoires normaux et bronchiques, les bruits transmis... [27, 28].

2. UNE NOMENCLATURE SCIENTIFIQUEMENT FONDÉE

La nomenclature de type psychoacoustique et allégorique de Laennec fut la référence durant plus d'un siècle et demi. Un certain désintérêt pour l'auscultation coïncida avec l'apparition des nouvelles technologies d'investigation paracliniques. Nous tentons de voir dans l'analyse qui suit si le désintérêt pour l'auscultation, dont le déclin chaque fois annoncé à l'apparition d'une technologie nouvelle fut aussi chaque fois démenti, est cette fois vérifié. Nous verrons ici si l'auscultation résistera aussi vaillamment qu'elle le fit précédemment face à l'avènement plus affirmé de l'échographie thoracique.

La nouvelle nomenclature présente le caractère déterminant de la validation scientifique qui la simplifie (4 bruits au lieu de 8) grâce à une terminologie précise qui repose sur l'analyse physicoacoustique des BR. Les mesures ont permis d'éclairer les trois étapes physiques qui qualifient un bruit : sa genèse ou origine (phénomène excitateur), sa transmission (traversée d'un résonateur) et son interprétation clinique lors de sa réception (capteur - membrane du stéthoscope ou microphone). Ces mises au point relativisent le reproche de subjectivité attribué à l'auscultation. Cette nouvelle nomenclature a cependant quelque peu négligé les spécificités stéthacoustiques du petit enfant qui a fait l'objet d'un moins grand nombre d'études. On en trouve cependant une relation surprenante dans l'ouvrage de Laennec où, en ce qui concerne sa description de la respiration puérile, on peut entre les lignes deviner les caractéristiques de la modernité physicoacoustique et les paramètres qualifiant aujourd'hui les bruits respiratoire de l'enfant ; à la page 154 du tome premier du traité, on lit [29] « *...plusieurs autres causes – (...de dyspnée...) - peuvent faire varier l'intensité du bruit de la respiration ; l'âge surtout a une grande influence à cet égard. Chez les enfans, la respiration est très sonore et même bruyante (paramètre d'amplitude) ... ce n'est pas seulement par cette intensité que la respiration des enfans diffère de celle des adultes. Il y a en outre dans la nature du bruit une différence très sensible... impossible à décrire que l'on reconnaît par comparaison. Il semble que ... chez les enfans...l'on sente distinctement les cellules aériennes se dilater dans toute leur ampleur ; tandis que chez les adultes, on croirait qu'elles ne se remplissent d'air qu'à moitié ou que leur paroi plus dure (paramètre de timbre lié à la densité, au nombre d'alvéoles , 20% chez le nouveau-né et à la distance entre le stéthoscope et la trachée) ne peut se prêter à une si grande distension* ». En dix lignes tout est dit.

Pendant encore à ce jour, de jeunes chercheurs très compétents sur le plan technologique de l'analyse acoustique opèrent des confusions ou des assimilations entre

certaines termes de la nomenclature moderne que les « anciens de l'ILSA » ne commettaient pas. Une relecture attentive de Laennec permet de les distinguer. Il en est ainsi des coarses crackles – craquements protophasiques de basse fréquence confondue avec des bruits transmis, des craquements de moyenne fréquence méso-inspiratoires dont l'existence n'est pas reconnue par les américains, et du rhonchus auquel on attribue des modes de production variés. Il est également peu connu que 15% des craquements ne peuvent être catégorisés ni identifiés ce qui représente un biais important des études qui les concernent. La cause de ces faiblesses ou amalgames rejoint le thème de cet article.

3. LA KINÉSITHÉRAPIE EST D'ORDRE SÉMIOLOGIQUE ET NON PAS NOSOLOGIQUE : OBSERVER, ANALYSER, AGIR.

L'auscultation est une composante importante du bilan clinique qui repose sur les symptômes, qui en association constituent des syndromes utiles à la décision thérapeutique. Dans des écrits antérieurs, nous avons avancé le postulat suivant : « la kinésithérapie est symptomatique et non pas nosologique ». Cet aphorisme visait à distinguer le signe - symptôme du nom de la maladie - nosologie. Les indications et les contre-indications de la kinésithérapie ne devraient jamais être formulées en termes d'entités diagnostiques mais à partir d'une évaluation clinique du degré d'obstruction bronchopulmonaire ou d'une origine mécanique modifiant les BR. Dans le cadre des maladies broncosécrétantes qui constituent la majorité des prescriptions, l'élément déterminant à prendre en compte est le caractère multifactoriel de l'obstruction bronchique, associant œdème, spasme et hypersécrétion à des degrés divers, ce qui signifie que des agressions de nature différente ont une traduction clinique similaire individuelle qui échappe à la standardisation thérapeutique. Une méprise fréquente consiste également à qualifier l'auscultation d'un manque de précision diagnostique. L'auscultation n'a pas cette prétention. En effet...

Pour poser l'indication d'une technique et assurer son suivi clinique immédiat, l'auscultation reste un outil précieux. Elle permet de déceler hic et nunc des atteintes loco-régionales distales et discrètes, parfois réduites à la surface d'une seule membrane de stéthoscope, et inaccessibles en routine aux autres investigations paracliniques auxquelles les kinésithérapeutes n'ont le plus souvent pas accès dans leur pratique ambulatoire.

L'auscultation constitue donc un élément essentiel de l'examen clinique. Les collègues français utilisent la locution « bilan diagnostique kinésithérapique ». Cette formulation est inappropriée. Il faut lui préférer le terme de bilan spécifique ou celui d'évaluation spécifique, le terme diagnostique est superflu. L'origine étymologique de diagnostic provient du grec ancien διαγνωστικός, diagnostikós (« capable de discerner »), en médecine « action de distinguer telle ou telle maladie par ses symptômes ». Poser un diagnostic relève de toute façon de la compétence médicale à laquelle le kinésithérapeute n'est pas formé [30]. On retrouve cette dérivation dans les formulations des intitulés des formations : « kinésithérapie de la bronchiolite, de la mucoviscidose ... ». Stricto sensu nous ne traitons pas ces affections, mais bien les signes qu'elles présentent. L'auscultation n'a pas non plus cette

prétention diagnostique. Le caractère polysémique d'un symptôme, exclut de toute façon une décision diagnostique que l'auscultation peut seulement orienter et que des tests paracliniques (EFR, RX, IRM, Echographie...) viendront ensuite préciser [31]. On dit ainsi : un symptôme = pas de symptôme « unus testis, testis nullus ». Par exemple la seule présentation d'épisodes fébriles chez un petit enfant n'est pas contributive. Mais si à l'auscultation on observe également des craquements de haute fréquence (crépitants), on peut soupçonner une atteinte pulmonaire distale. La présence d'un stridor évoque une obstruction extrathoracique sans toutefois permettre d'en préciser l'étiologie. Les CrHF (anciens crépitants/crépitations) sont rencontrés dans des pathologies diverses : décompensation cardiaque, fibrose pulmonaire, hypoprotéinémies, pneumopathies... qu'une simple écoute ne peut différencier mais qu'une analyse acoustique affinée permet de distinguer [32, 33].

En résumé, l'auscultation identifie des signaux sonores et leur attribue les paramètres physicoacoustiques d'amplitude, de fréquence, de timbre, de durée et d'occurrence. Ces paramètres enrichissent le bilan kinésithérapique et permettent d'affiner la décision physiothérapeutique. La kinésithérapie est donc bien d'ordre sémiologique et non pas nosologique. Cet aphorisme est aujourd'hui admis et rapporté dans les écrits des collègues.

CHAPITRE 2. L'ÉCHOGRAPHIE THORACIQUE – ET

1. UNE ÉMERGENCE RÉCENTE EN KINÉSITHÉRAPIE

L'échographie thoracique (ET) est la technologie la plus récente à s'inviter en kinésithérapie respiratoire (KR) dans les unités de soins intensifs. L'inévitable engouement initial dont témoigne le nombre de formations proposées aux médecins et aux kinésithérapeutes concrétise un intérêt justifié. Il est également licite et nécessaire de confronter l'ET à d'autres méthodes paracliniques comme la radiographie (RX), la tomodensitométrie (CT scan), la résonance magnétique nucléaire (RMN) mais aussi à la sémiologie pulmonaire, dont l'auscultation pulmonaire (AP). Il n'existe pas d'études comparatives consacrées aux deux méthodes, l'ET et l'AP. Cependant la littérature consacrée à l'ET évoque systématiquement les faibles scores de précision et de reproductibilité affectant l'AP. Le présent travail consiste à analyser les causes de ces faiblesses et d'en proposer les remèdes en adressant quelques questions à l'ET : s'inscrit-elle en concurrence avec l'AP ? Affaiblit-elle son utilité ? Peut-elle s'y substituer ? Quelles sont les contributions respectives de l'ET et de l'AP à l'évaluation des déficits respiratoires dans le cadre du bilan kinésithérapique ?

2. QUE MESURE L'ÉCHOGRAPHIE THORACIQUE ?

L'introduction de l'échographie en kinésithérapie n'est pas récente mais elle ne s'appliquait qu'à des indications musculosquelettiques ou pelviennes [34]. Ses applications thoraciques sont plus récentes principalement en médecine d'urgence et dans les unités de soins intensifs où elle serait capable d'orienter la décision kinésithérapique, d'en affiner l'indication et d'en contrôler le suivi en cas de consolidation pulmonaire ou lors du sevrage de la ventilation mécanique ou encore en identifiant une contre-indication en présence d'affections concomitantes (pneumothorax, épanchement pleural, atteinte interstitielle, œdème pulmonaire aigu...) [35] et en temps réel [36]. A ce jour, l'intérêt de l'ET n'est avéré qu'en situation critique et en milieu hospitalier. Peut-on envisager qu'elle trouve un jour sa place en ambulatoire, au cabinet de ville du kinésithérapeute où elle posséderait ses indications dans l'évaluation de l'obstruction des voies aériennes supérieures (l'échographie dynamique permet l'observation d'un bronchogramme aérien siégeant sur une bronche proximale), des troubles de la déglutition, d'anomalies laryngées, de la bronchiolite du nourrisson [37]. Elle serait particulièrement bienvenue dans l'évaluation et le suivi kinésithérapiques des atteintes réversibles de type restrictif siégeant au niveau du poumon profond (PP) - consolidations pulmonaires (pneumonies, atélectasies, syndromes alvéolo-interstitiels qu'elle permet de distinguer pour poser l'abstention ou l'indication de la kinésithérapie) qui ne requièrent pas l'hospitalisation et pour lesquelles nous présentions une approche kinésithérapique spécifique dans une publication antérieure [38, 39]. L'ET possède aussi une excellente précision diagnostique dans les pathologies pleurales [40]

(épanchement, adhérences, pneumothorax) devant lesquelles les études de validation de la KR sont peu nombreuses [41, 42]. Notons qu'à ce stade, l'intérêt anatomique de l'échographie prévaut, même si quelques évaluations fonctionnelles sont également permises: épaisseur, excursion, dyskinésie diaphragmatiques [43], suivi du recrutement volumique. À ce jour cependant, aucune étude de cohorte n'a évalué l'intérêt de l'ET d'un traitement kinésithérapique spécifique [44]. L'ET possède de nombreux avantages par rapport aux outils habituels: elle est non irradiante, non invasive, disponible au lit du patient, de miniaturisation récente donc portable en tout lieu.

3. LA FORMATION DES KINÉSITHÉRAPEUTES À L'ET

L'application médicale de l'ET requiert une compétence dans l'acquisition et l'interprétation des images. On ne dispose pas d'éléments précis concernant la durée de la formation ni du nombre d'actes requis pour obtenir et conserver l'expertise dans la pratique médicale [45, 46]. Il n'existe pas encore de recommandations standard cadrant la formation en ET des médecins intensivistes ou des techniciens spécialistes en imagerie médicale (op.cit. réf. 38)). Le Neindre s'intéresse plus particulièrement à la sémiologie pour l'aide à la décision et l'indication kinésithérapique (op.cit. réf. 39). Il est fait mention pour acquérir la compétence en soins intensifs de cursus alliant 24 à 50 heures d'enseignement théorique à plusieurs semaines voire plusieurs mois d'actes pratiques sous guidance (le chiffre de centaines (?) d'actes est cité).

L'échographie n'est actuellement accessible qu'à de rares kinésithérapeutes immergés dans ces services spécialisés. La durée de leur formation n'a pas été évaluée mais elle relève des mêmes procédures [47, 48]. Dorénavant, il existe des formations destinées aux kinésithérapeutes libéraux mais on manque de données concernant leur apprentissage. A l'usage, seuls les enseignants pourront fournir des données étayées.

4. ETAT DES LIEUX À L'INTERNATIONAL

L'advenue de l'ET dans le champ de la physiothérapie varie selon les pays. Voici quelques communications personnelles de collègues universitaires impliqués dans la recherche et l'enseignement.

En Belgique, l'ET n'est pas incluse dans la formation de base ou de post graduat et n'est donc pas encore accréditée dans le système de la promotion de la Qualité en Kinésithérapie (Pro-Q-Kine). Mais de plus en plus de voix plaident pour accréditer les formations. (Pr Bruno Zwaenepoel, Gent University, Belgique).

Au Chili, la formation à l'ET ne faisait pas partie de l'enseignement des physiothérapeutes, cependant un changement soudain s'est opéré en raison de la pandémie due au Covid19 en faveur de l'utilisation de l'ET aux soins intensifs afin de renforcer les techniques d'investigation non-invasives susceptibles de guider l'action du physiothérapeute, ainsi que son utilisation en télé réhabilitation. (Pr Daniel Ciudad, Valparaiso University, Chili).

En Espagne, des formations existent qui autorisent les kinésithérapeutes ayant suivi une formation à pratiquer l'échographie musculosquelettique et de plus en plus de physiothérapeutes sont autorisés à pratiquer l'ET. La Sociedad Española de Neumología y Cirurgia Torácica – SEPAR a édité un guide pratique destiné aux médecins et aux physiothérapeutes et des formations sont dispensées dans quelques universités. Ce guide pratique comprend un chapitre dédié à la fonction diaphragmatique pour les kinésithérapeutes. On estime actuellement que 30-40 physiothérapeutes pratiquent l'ET en routine et ce nombre est en progression rapide. (Pr Jordi Vilaro, Blanquerna University, Barcelona).

Il en va de même au Brésil où l'ET au moyen d'un dispositif portable est pratiquée par les physiothérapeutes comme guide au traitement et surveillance de malades sous ventilation mécanique, le diagnostic étant réservé au médecin. La pandémie due à la Covid19 a amplifié ce mouvement en raison du risque de contamination du personnel soignant lors de l'auscultation. L'enseignement de l'ET est obligatoire pour valider la formation post-graduée des soins intensifs. C'est l'équipe des urgences de l'institution qui assure la formation. Ces pratiques ont tendance à se répandre dans de nombreuses universités ou institutions de soins. (Pr Luciana Castilho, Pr Maria Regina Coppo, Université de Campinas HC/ UNICAMP).

Des formations en vidéoconférence sont organisées par l'ASSOBRAFIR – Association brésilienne des physiothérapeutes respiratoires et des soins intensifs.

En France, notamment sous l'impulsion de Aymeric Le Neindre et Marius Leuret (Health impact : <http://health-impact.fr/>) des formations sont organisées pour les kinésithérapeutes.

En Italie, l'enseignement de l'ET ne fait pas partie du cursus de formation de base. L'ARIR – Associazione Riabilitatori dell' Insufficienza Respiratoria a pour objectif d'organiser un enseignement destiné aux physiothérapeutes auxquels est reconnu le droit d'établir un bilan de la fonction diaphragmatique au moyen de l'ET. [49] (Pr Roberto Bianchini Lega Polmonare Ticinese CH, Pr Marta Lazzeri, Milano, IT).

Au titre de la formation et de la conservation de l'expertise, l'expérience canadienne mérite d'être mentionnée. Actuellement, au programme de physiothérapie de l'Université de Montréal, 6 heures théoriques (dont 4 heures de cours en ligne) et 3 heures pratiques sont consacrées à l'enseignement de l'ET aux étudiants à la maîtrise en physiothérapie. Une formation spécifique pour les physiothérapeutes en exercice est lancée depuis peu afin de donner accès au plus grand nombre. Elle a été adaptée et avancée en raison de la pandémie [50].

<https://catalogue.physio.umontreal.ca/Web/MyCatalog/ViewP?pid=60FitPv7eC1am8hkBvjnqQ%3d%3d&id=b70%2fgHV%2bsjnBQFXU6NgIhQ%3d%3d>

Les participants devront réaliser 4 heures de cours en ligne avant de participer à une journée de 7 heures en présentiel. Afin de consolider leurs apprentissages et assurer le développement continu des habiletés en ET, les participants devront réaliser un portfolio de 10 à 25 images/vidéos d'artefacts, d'affections ciblées du système respiratoire et du mouvement diaphragmatique chez au moins 10 personnes, qui sera révisé par un mentor qui s'inspire en partie des lignes directrices américaines [51] et répond aux

recommandations canadiennes [52]. Les participants pourront bénéficier d'une communauté de pratique afin d'encourager les interactions sociales pour un apprentissage actif. Des accords entre les Ordres de physiothérapeutes et des technologues ont dû être trouvés [53] (Pr Rachel Brosseau, communication personnelle).

Comme on le voit, la formation et la pratique de l'ET par les physio-kinésithérapeutes ont déjà obtenu une certaine reconnaissance et acquis un caractère officiel dans certains pays. Ces acquis ne sont pas toujours obtenus aisément, car l'échographie peut être considérée comme un acte médical exclusif. Les accords dépendront sans doute des autorités médicales ordinales nationales et des associations de techniciens spécialistes en imagerie médicale.

5. L'ET EST-ELLE TRANSPOSABLE EN AMBULATOIRE ?

Pourquoi pas ? Cependant cette transposition présentera quelques obstacles spécifiques liés en premier lieu à la formation. Il s'agira de trouver des mentors médicaux ou kinésithérapeutes hospitaliers disponibles qui accueilleront les impétrants. La rareté des pathologies abordées par l'ET et plus encore d'un acte de kinésithérapie spécifique justifieront-elles la dépense de l'équipement même si l'on observe déjà une diminution substantielle des coûts liée à la miniaturisation ? Une pratique occasionnelle permettra-t-elle la conservation de l'expertise ? A moins que l'ET ne soit réservée qu'à quelques cabinets spécialisés où des indications plus nombreuses permettront de pallier ces limites ? Dans le domaine médical, on reconnaît qu'il faut utiliser l'échographie de façon régulière pour maintenir les compétences. On suggère 2 à 5 heures de formation continue et de remise à niveau chaque année ou tous les 2 ans. Il n'y a pas de données précises sur ce point pour la kinésithérapie parce qu'il s'agit encore d'une modalité en devenir. L'expérience canadienne, prometteuse et à notre connaissance la plus avancée mérite particulièrement d'être suivie.

CHAPITRE 3 : AUSCULTATION, LE KINÉSITHÉRAPEUTE PEUT MIEUX FAIRE

1. LES REPROCHES ADRESSÉS AUX KINÉSITHÉRAPEUTES

La littérature récente consacrée aux applications potentielles de l'ET dans la décision kinésithérapeutique donne lieu à des appréciations comparatives en défaveur du cliché thoracique et de l'AP. L'auscultation pratiquée par les kinésithérapeutes est affectée de faibles scores en termes de précision et de reproductibilité inter- et intra-personnelles, de sensibilité et de spécificité. Ces comparaisons sont inévitables et nécessaires. Les études établissant ces faits méritent d'être revisités afin d'identifier les causes d'une expertise insuffisante dans la pratique stéthacoustique.

2. ANALYSE DE LA LITTÉRATURE

Dans une étude de 2004 comparant les performances diagnostiques de l'AP, de la radiographie (RX) et de l'ET dans le cadre d'une unité de soins intensifs, Lichtenstein et al (2004) [54] obtiennent pour l'AP une précision diagnostique de 61% en présence d'un épanchement pleural, de 36% pour une consolidation alvéolaire et de 55% pour un syndrome interstitiel ; pour respectivement 47%, 75% et 72% pour le cliché RX, 93%, 97% et 95% pour l'ET. La reproductibilité interpersonnelle pour l'ET est de 0.74, 0.77, 0.73 dans les trois pathologies retenues. Des résultats similaires sont observés dans deux études ultérieures (Lichtenstein et al 2014 et Leech et al 2015) [55, 56]. Les mêmes moins-values attribuées à l'AP avaient été rapportées dans des études plus anciennes d'Aweida et al (1990) [57] et de Brooks et al (1993) [58] qui interrogeaient les praticiens à partir d'enregistrements sur bande magnétique. Des erreurs techniques apparaissent dans ces études comme l'utilisation de la cloche du stéthoscope normalement réservée à l'écoute des bruits du cœur ce qui altère la perception des BR, au lieu du diaphragme recommandé pour les BR. Les tests concernaient surtout les sibillances, bruit adventice le plus aisément reconnaissable par son caractère musical, excluant les craquements de composition plus complexe. Les résultats diffèrent peu entre sujets entraînés et de jeunes observateurs peu expérimentés. Ces auteurs épinglent également les confusions terminologiques et l'absence de référence visuelle (feedback) qui ne permet pas de distinguer inspiration et expiration. Allingame et al (1995) [59] et Brooks et al (1995) [60] montrent une amélioration significative de la reproductibilité après un enseignement spécifique. Ils considèrent que *plus que l'expérience l'éducation est un facteur déterminant d'amélioration du degré d'expertise*. Pasterkamp (1987) [61] observe une variabilité interpersonnelle importante entre les groupes de professionnels de la santé, médecins, infirmières et kinésithérapeutes dans l'asthme. Les discordances s'accroissent lorsqu'il est demandé au praticien une caractérisation plus complexe des BA. Wilkins (1990) [62, 63] attribue les confusions terminologiques et la mauvaise interprétation des termes des praticiens (physiothérapeutes et médecins) au manque d'observance et de standardisation de la nomenclature recommandée par l'ATS. Chez l'enfant la reproductibilité interpersonnelle est très bonne en raison notamment d'une paroi thoracique de faible épaisseur qui atténue peu les signaux acoustiques [64, 65]. Dans une revue systématique récente Gurung (2011) [66] recense 208

articles et n'en retient que 8 qui montrent que la sensibilité et la spécificité de la reconnaissance des BA sont respectivement de 80% et 85% lorsque l'on utilise l'analyse informatisée des bruits anormaux.

Une publication récente de Bohadana et al (2020) [67] portant sur la compétence stéthacoustique dans le choix des termes de la nomenclature pour décrire les BR chez les jeunes médecins, les résidents et les étudiants en médecine, montre que la reconnaissance des sibilances - Sb et du stridor - St est aisée, qu'elle est passable pour le BR et les craquements et pauvre pour le BRN et le frottement pleural.

Notre propre expérience d'expertise de manuscrits en soumission montre que la compétence des jeunes chercheurs en stéthacoustique atteint ses limites lorsqu'il s'agit par exemple de catégoriser les craquements. Il convient tout d'abord de prendre en compte une relativement brève expérience clinique dans leur cursus professionnel. Cette classification est tout d'abord rendue difficile par le fait que 10 à 15 % des craquements sont inclassifiables, ce fait est peu connu. Ces événements ont une allure temporelle aléatoire et leur genèse n'est pas connue. Ils sont cependant comptabilisés comme des craquements « normaux ». Leur contenu fréquentiel est aussi cliniquement mal perçu. Il y a donc des amalgames catégoriels entre « vrais » craquements et ces « objets acoustiques mal identifiés ». Ceci introduit un biais important dans de nombreuses études. Ce biais concerne principalement l'amalgame entre craquements protophasiques de basse fréquence - CrBF (low pitched crackles, les « vrais » craquements auxquels se réfèrent les pionniers de l'ILSA) dont la genèse se situe dans les bronchioles selon P. Forgacs et d'autres craquements de basse fréquence de situation aléatoire dans le cycle ventilatoire qui correspondent au bruit de bullage que fait l'air en traversant les sécrétions sises dans les bronches proximales et moyennes. Ce sont des Bruits Transmis – BT. Il convient de rappeler ici que la première catégorie de craquements distaux ne sont pas accessibles aux manœuvres classiques de kinésithérapie à dominante expiratoire qui ne concernent pas le poumon profond - PP où les flux sont quasi inexistantes.

En résumé, la littérature attribue aux kinésithérapeutes une expertise déficiente de l'auscultation et identifie quatre causes :

1. le manque d'uniformisation de la nomenclature actualisée et sa non-observance,
2. la confusion dans l'interprétation des termes de la nomenclature,
3. un enseignement insuffisant ou mal adapté,
4. le manque d'expertise clinique en général et au mésusage du stéthoscope.

A ces éléments il convient de mentionner la méprise portant sur la nature et l'objet de l'auscultation.

3. AUSCULTATION PULMONAIRE, UNE VISION RESTRICTIVE.

La locution « auscultation pulmonaire » utilisée le plus souvent dans les publications analysées ci-dessus au point 2. est quelque peu restrictive car elle ne prend pas en compte

d'autres BR. (Figure 2) La raison nous semble être que ces bruits échappent à la mesure ultrasonique.

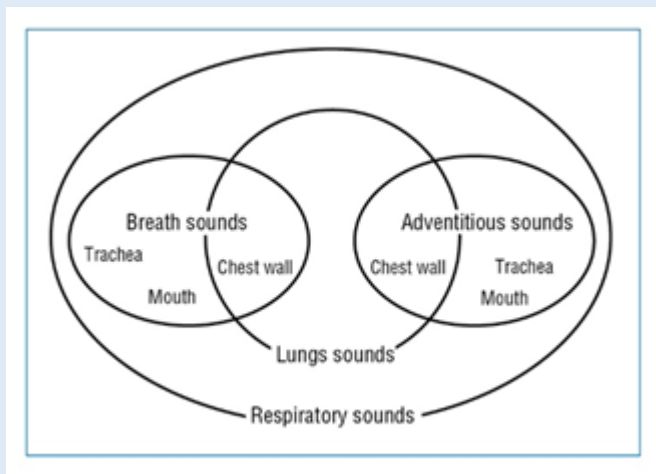


Figure 2. Classification des bruits respiratoires

Correspondances entre les appellations proposées par le groupe CORSA et les appellations francophones : Respiratory sounds pour bruits ventilatoires, Lungs sounds pour bruits pulmonaires, Breath sounds pour bruits respiratoires, Adventitious sounds pour bruits adventices.

(Sovijarvi AR, Dalmasso F, Vanderschoot J, Malmberg LP, Righini G, Stoneman SA. Computerized Respiratory Sound Analysis (CORSA): recommended standards for terms and techniques. Appendix: abbreviations and acronyms for terms involved in computerized respiratory sound studies. Eur Respir Rev 2000;10(77):647-649.)

Le cercle extérieur englobe tous les Bruits ventilatoires - Respiratory sounds quel que soit leur lieu de production. Les cercles intérieurs représentent les Bruits respiratoires BR - Breath sounds et les Bruits adventices BA - Adventitious sounds captés au stéthoscope sur la paroi thoracique, d'origine pulmonaire (Lung Sounds) – auscultation médiate. Ainsi les Bruits ventilatoires prennent en compte les bruits produits dans la trachée et les bruits intra- ou extrathoraciques.

Aux listes reprises dans les tableaux 1 et 2, il convient donc d'ajouter : le frottement pleural, le stridor, le cornage, le bruit blanc trachéal, le geignement, la percussion, les bruits transmis d'origine nasopharyngée ou trachéaux, le ronflement.

CHAPITRE 4. L'ENSEIGNANT PEUT AUSSI MIEUX FAIRE !

L'enseignement et l'apprentissage d'une auscultation actualisée devraient s'inscrire dans une procédure logique comprenant dans l'ordre :

1. Notions de physique acoustique et phénomènes vibratoires,
2. Définition psychoacoustique en termes de genèse, transmission et interprétation clinique des BR, - phase statique
3. affichage des tracés dynamiques simultanés, sonores et visuels des bruits respiratoires et du tracé ventilatoire (feed-back). – phase dynamique
4. Exercices pratiques.

Les recherches stéthacoustiques ont permis de décrire la genèse ou origine des BR appelée phénomène exciteur. L'onde sonore est alors transmise au travers des structures pulmonaires et pariétales qui en modifient les qualités physicoacoustiques. Ces structures constituent le résonateur. Enfin, le signal est capté à la paroi thoracique au moyen d'un capteur le stéthoscope qui est une projection du tympan sur la paroi et amplifie le signal, ou un microphone adapté ou encore pour certains bruits d'une intensité suffisante, la main du thérapeute pour percevoir les bruits transmis (perception haptique) [68, 69].

1. NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DES PHÉNOMÈNES VIBRATOIRES ET DE PHYSIQUE ACOUSTIQUE.

Ces éléments sont requis pour appréhender la définition physicoacoustique de tous les BR qui doit précéder leur définition psychoacoustique et leur insertion dans le cadre physiologique ou physiopathologique... [70, 71]. Les avancées technologiques d'enregistrement et de traitement du signal permettent une analyse objective des phénomènes vibratoires et leur représentation graphique. Le répertoire physique des signaux acoustiques n'identifie que deux catégories de vibrations (*périodiques et apériodiques*) elles-mêmes subdivisées en deux sous-catégories (*simples et complexes, continues et impulsionnelles*) auxquelles doivent nécessairement correspondre tous les bruits ventilatoires. (se reporter au Tableau 2).

2. CORRESPONDANCE ENTRE LE TYPE D'ONDE ET LA DÉFINITION PSYCHOACOUSTIQUE DU BR.

La correspondance entre le type d'onde vibratoire et chaque élément de la nomenclature devient alors aisée. On n'obtient ainsi que deux BR, *normal* et *bronchique*.

Pour les BA la distinction claire et simple entre les termes génériques : *sibilance* pour tous les bruits continus, *craquement* pour tous les bruits discontinus se justifie. La nouvelle nomenclature décrite plus avant présente le caractère déterminant de la validation scientifique qui la simplifie (4 bruits au lieu de 8) grâce à une terminologie précise qui repose sur le caractère générique de la dénomination, excluant à ce stade toute interprétation psychoacoustique. Il s'agit ensuite de définir les paramètres utiles à la qualification objective du bruit en question en termes d'amplitude, de fréquence, de timbre, de durée, d'occurrence, éventuellement influencés par la position corporelle (position-dépendance) et par les mouvements ventilatoires (kinésie-dépendance).

3. L'ŒIL ÉCOUTE, L'OREILLE VOIT

Ce n'est qu'après une « écoute visuelle » de chaque élément qu'intervient l'inclusion du bruit précisément reconnu et nommé dans son contexte physiologique ou physiopathologique en corrélant comme le faisait Laennec le bruit respiratoire et les lésions. Cette étape doit permettre de répondre à la question : ce bruit est-il kinésithérapie-dépendant ? Dans l'affirmative, on peut passer à la décision physiothèque.

La miniaturisation, la standardisation des mesures et l'analyse informatisée constituent des outils pédagogiques précieux et de faible coût. L'écoute visuelle, c'est-à-dire l'affichage simultané des tracés dynamiques sonores et visuels des BR en mode temporel (phonopneumogrammes) ou spectral (spectrogramme ou sonagramme) obtenus par l'analyse de Fourier (FFT) et du tracé ventilatoire (pneumotachogramme) est une étape incontournable. A ce moment on peut dire que « L'œil écoute et que l'oreille voit ». La phonopneumographie temporelle ou spectrale « montre et fait entendre » un craquement, une sibilance... (Figure 3, Figure 4)

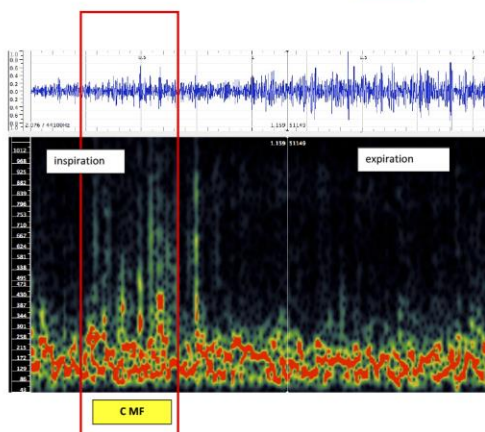
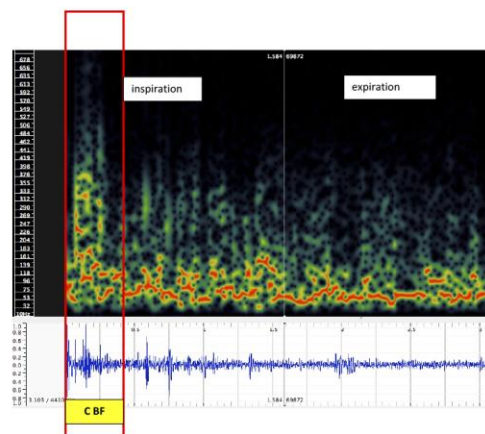
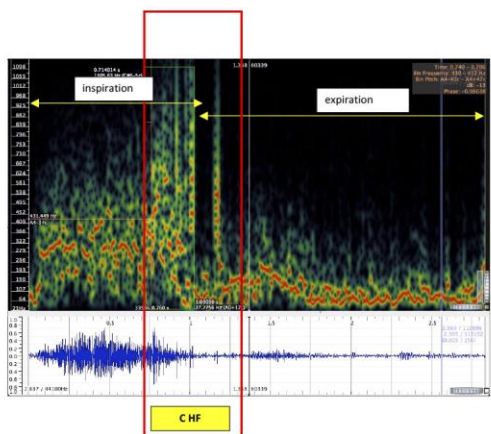
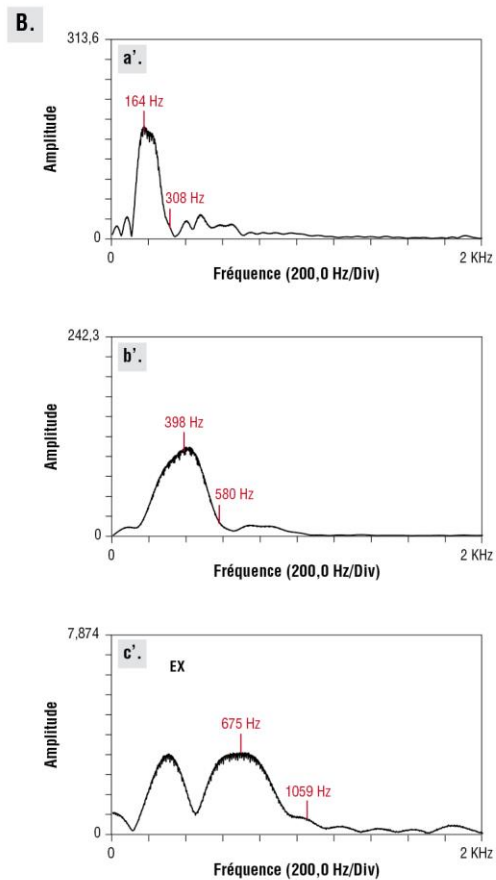
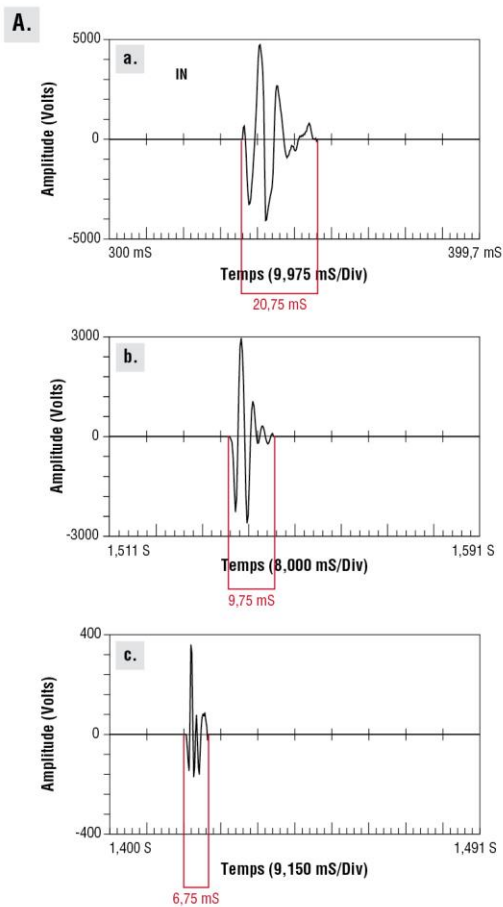


Figure 3. Analyses acoustiques des craquements.

I. Phonopneumographies

A. Phonopneumographies temporelles des trois catégories de craquements.

Les craquements de basse fréquence ont des durées comprises entre 15 et 25 msec, les craquements de moyenne fréquence ont des durées comprises entre 8 et 15 msec, les craquements de haute fréquence ont des durées inférieures à 8 msec. Plus le phénomène impulsionnel est bref, plus il est de haute fréquence relative. Les durées respectives des trois exemples présentés en a., b., et c. sont de 20.75, 9.75 et 6.25 msec.

B. Phonopneumographies 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 habituellement pas 1500 Hz.

Les pics fréquentiels-Fp des trois exemples a', b', c' sont respectivement de 164 Hz, 398 Hz et 675 Hz, et leurs bandes passantes à 10% de l'amplitude maximale-Fw10 sont respectivement de 308 Hz, 580 Hz et 1059 Hz.

(d'après Postiaux G., Lens E. doc. G. Postiaux, E. Lens, Groupe d'étude pluridisciplinaire stéthacoustique, B-6180 Courcelles, 1996.).

II. Sonogrammes

A'. Craquements de haute fréquence - CHF de fin d'inspiration (téléphasiques) et de début d'expiration dans l'encadré rouge de la figure. Noter que les fréquences dominantes des craquements se situent dans la plage des 500-600 Hz.

B'. Craquements de moyenne fréquence - CMF de milieu d'inspiration (mésophasiques) dans l'encadré de la figure. Noter que les fréquences dominantes des craquements se situent dans la plage des 300-400 Hz.

C'. Craquements de basse fréquence - CBF de début d'inspiration (protophasiques) dans l'encadré rouge de la figure. Noter que les fréquences dominantes des craquements se situent aux environs de 150 Hz.

Noter la caractéristique commune des craquements qui présentent un aspect granulaire, à comparer avec les sibilances de la figure 3 qui présentent une cohérence linéaire temporelle.

(analyses et documents aimablement fournis par Stéphane Karolewicz, CHU La Milétrie, Poitiers, France. Logiciel analyses: Sonic Visualiser Copyright © 2005-2013 Chris Cannam and Queen Mary, University of London.

(d'après G.Postiaux. La kinésithérapie respiratoire guidée par l'auscultation pulmonaire. éd Deboeck Université, Bruxelles 2016 ;450 pages) Avec la permission de l'auteur.

(Postiaux G, Vilario J, Charlier JL, et al. Craquements pulmonaires : que perçoit le clinicien ? Rev Mal Respir. 2015;32:728-36.)

Exemple : « L'œil écoute et l'oreille voit » les craquements de moyenne fréquence

<http://www.postiaux.groupdc.net/postiaux/public/upload/audio/5ffd914a19b35.avi>

Pour ouvrir Ctrl + clic gauche de la souris

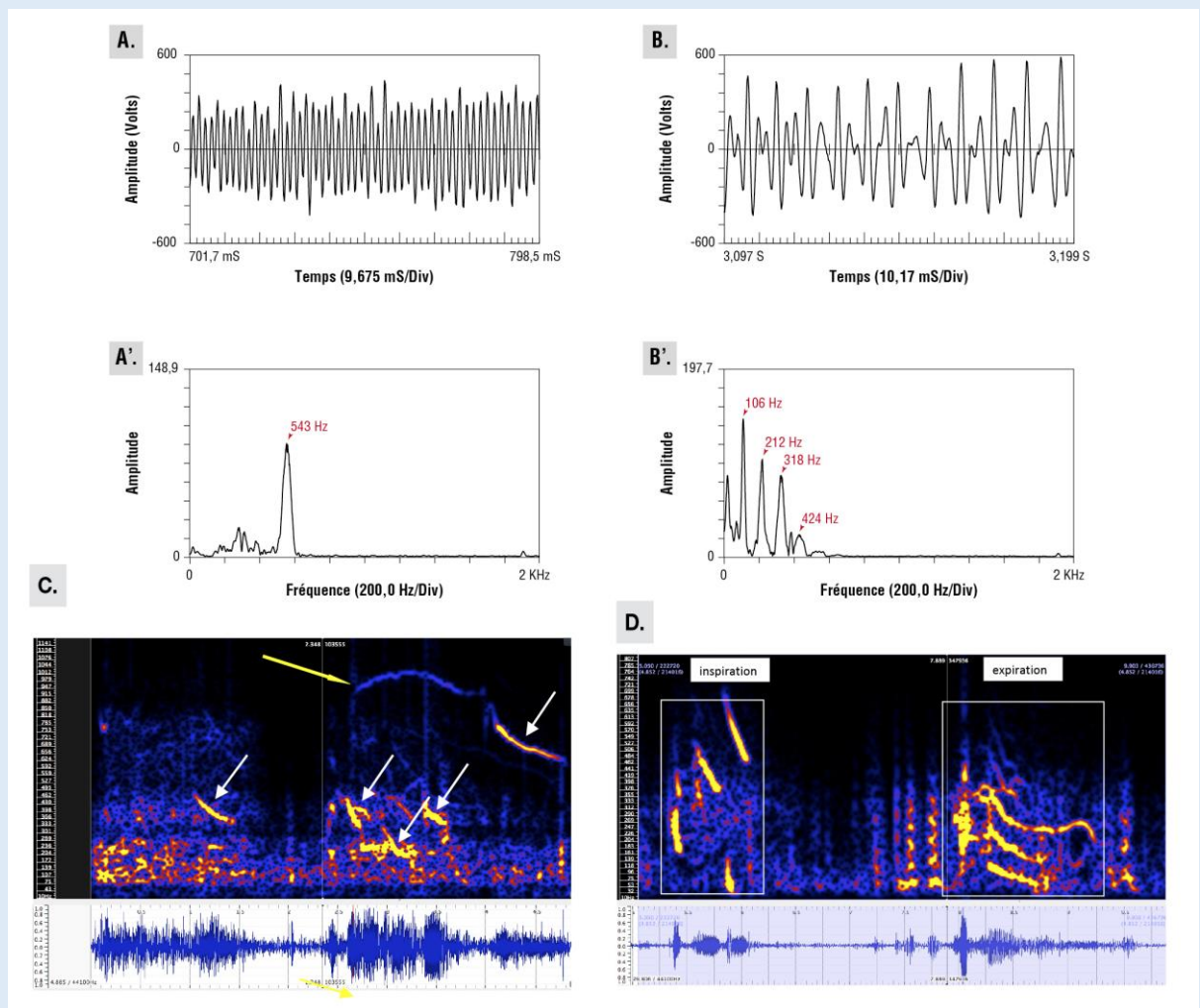


Figure 4. Analyse physicoacoustique des sibilances

I. Phonopneumographies

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-Fp 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'. La phonopneumographie spectrale ou analyse fréquentielle révèle plusieurs pics de fréquences-Fp 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 424 Hz comme des multiples du fondamental appelés harmoniques: $F_1=106$, $F_2=F_1 \times 2=212$, $F_3=F_1 \times 3=318$, $F_4=F_1 \times 4 = 424$...

(doc. G. Postiaux, E. Lens, Groupe d'étude pluridisciplinaire stéthacoustique, 1996).

II. Sonogrammes

C. **Sibilances monophoniques inspiratoires et expiratoires.** Les sibilances apparaissent en fin d'inspiration et durant toute l'expiration (flèches). Noter le caractère séquentiel des sibilances et la haute fréquence hertzienne (environ 750 Hz) de la sibilance de fin d'expiration. Les trois premières sibilances monophoniques sont « couvertes » par un sibilance monophonique de haute fréquence (950 à 1000 Hz) mais de faible intensité sonore, peu audible, révélée par la méthode d'analyse par ondelettes. Elle est masquée par les sibilances de plus basse fréquence.

D. **Sibilances monophoniques inspiratoires (encadré gauche) et polyphoniques expiratoires (encadré droit).** Les sibilances monophoniques se succèdent (séquentielles), les sibilances polyphoniques se superposent dans le temps (simultanées).

Noter la caractéristique commune des sibilances qui présentent une cohérence linéaire temporelle à comparer avec les craquements qui présentent un aspect granulaire (figure 2).

(analyses et documents aimablement fournis par Stéphane Karolewicz, CHU La Milétrie, Poitiers, France. Logiciel d'analyse : Sonic Visualiser Copyright © 2005-2013 Chris Cannam and Queen Mary, University of London). (d'après G.Postiaux. La kinésithérapie respiratoire guidée par l'auscultation pulmonaire. éd Deboeck Université, Bruxelles 2016 ;450 pages) Avec la permission de l'auteur.

Exemple : « L'œil écoute et l'oreille voit » des sibilances monophoniques inspiratoires et polyphoniques expiratoires.

<http://www.postiaux.groupdc.net/postiaux/public/upload/audio/5ffd921a4cac5.avi>

Pour ouvrir Ctrl + clic gauche de la souris

Les technologies dédiées à ce type d'enseignement existent. Citons le Littman 3200-3M® [72] qui affiche à l'écran le tracé phonopneumographique qui peut être mémorisé et édité, avant et après une séance soin. Il constitue un élément objectif du bilan. Le répertoire R.A.L.E. Repository® [73] développé par H. Pasterkamp est utilisé comme outil primé d'enseignement médical de l'auscultation de l'enfant au Canada et aux USA. Le EKO® plus récent [74], le THINKLAB Stéthoscope® [75] qui affiche phonopneumogramme et sonagramme. Ces deux systèmes ont des applications pour téléphone portable et apportent une information objective en ligne susceptibles d'améliorer l'interprétation des BR et de réduire les biais interpersonnels.

Le site de l'ERS donne accès à un enseignement en ligne associant les images, les sons et les commentaires [76, 77]. Cette liste n'est pas limitative. Des banques de données à distance peuvent être connectées pour l'aide au diagnostic à partir de l'analyse des bruits pulmonaires comme le propose la société Stethographic Inc® [78]. Elles peuvent aussi être associées à un ouvrage comme par exemple le site NOTO [79]. L'analyse informatisée des BR constitue un outil d'évaluation et de suivi du traitement [80, 81]. Pour ceux qui souhaitent affiner davantage l'analyse, le programme d'analyse des sons AUDACITY [82] se révèle une application très complète, sans doute la plus populaire créée par un grand nombre de concepteurs. Il est destiné à qui veut approfondir l'analyse physicoacoustique grâce à des options avancées. Il est facile à utiliser grâce à une interface intuitive et originale et supporte les formats les plus utilisés comme WAV, AIFF, AU, MP3...

Une évolution vers l'intelligence artificielle d'aide au diagnostic basée sur des algorithmes spéciaux permet déjà une analyse fiable et de haute précision [83, 84]. Des enregistreurs de longue durée sont capables d'enregistrer les différents symptômes respiratoires comme le taux de sibilances dans l'asthme nocturne ELENS-DSA[®] [85, 86] ou le comptage et l'amplitude de la toux [87, 88] chez le BPCO ou l'enfant souffrant d'asthme [89]. Ces sons peuvent être transmis à distance [90]. L'analyse physique est aussi de nature à promouvoir la standardisation des termes de la nomenclature et leur diffusion internationale [91].

Mais un équipement technique si performant soit-il pourra-t-il remplacer l'expertise du clinicien ?

4. IL Y A LOIN DE L'AMPHITHÉÂTRE AU LIT DU MALADE

Si la théorie stéthacoustique est diversement enseignée, la distance reste cependant grande de l'amphithéâtre au lit du malade où l'auscultation s'apprend sous la guidance du professeur ou du praticien confirmé. L'auscultation ne s'apprend pas dans un livre. En l'absence d'une pratique soutenue, l'expertise de l'enseignant s'évapore. De surcroît, les outils technologiques disponibles sonores et visuels sont peu utilisés. Chez nos jeunes confrères, l'Evidence-based medicine enseignée dans l'auditoire ne peut encore intégrer l'Expert-based medicine acquise par l'expérience [92]. Un bon kinésithérapeute est avant tout un bon clinicien. L'analogie s'étend à l'interprétation des épreuves fonctionnelles respiratoires - EFR que l'on n'appréhende vraiment que lorsque l'on aperçoit un VEMS, une courbe débit/volume ou une courbe de compliance s'inscrire en temps réel sur l'écran de l'appareil de mesure. Malheureusement, étant donné le nombre important d'élèves, seuls quelques rares privilégiés auront accès aux laboratoires des EFR. Ce qui explique aussi la méconnaissance de la mécanique ventilatoire que l'on constate chez les jeunes diplômés. En résumé, notre enseignement fabrique des têtes bien pleines et des mains malhabiles.

Le temps stéthacoustique est aussi l'opportunité pour le clinicien et le patient d'établir une relation qui va au-delà de la conversation. L'examineur envahit l'espace intime du patient. L'auscultation et le toucher constituent un moment fort, symbolique, de l'examen physique durant lequel la confiance s'établit et qui incite à la confiance. Les patients apprécient ce moment et s'en souviennent..

5. SÉLECTIVITÉ DE L'ÉCOUTE BIAURALE

Le cylindre de Laennec évolua vers le stéthoscope que nous connaissons qui permet une écoute biaurale. Il s'agit d'une notion de psychoacoustique. L'écoute biaurale ou *Head-related Transfer Function* (HRTF) permet un décalage espace/temps qui donne une notion de relief, de directionnalité et de provenance des sons [93, 94] qui permet par exemple à l'auditeur d'un concert d'isoler la partition d'un instrument en particulier en atténuant le reste de l'orchestre. Il en va de même en auscultation où nous pouvons sélectionner un bruit particulier comme un squeak par exemple en écrasant tous les autres bruits ou encore

qui peut faire abstraction des signaux parasites et porter une attention sélective sur un bruit particulier en atténuant le contexte sonore. Les publications sont rares à ce propos [95]. L'écoute binaurale permet de distinguer des bruits anormaux comme des craquements de fin d'inspiration qui se superposent à un frottement pleural que les représentations temporelle et spectrale ne peuvent distinguer. Ces exemples démontrent l'importance des exercices pratiques sous guidance. Lors des formations, l'auscultation de sujets normaux constitue en soi une bonne entrée en matière. Les démonstrations sur des malades invités peut, selon le pays, poser des problèmes éthiques, déontologiques voire légaux.

Lors des séances pratiques, l'usage du stéthoscope stéréophonique par l'enseignant est un outil simple qui aide à s'accorder sur le terme exact. (Figure 5) Si le premier mot-clé de l'enseignement de l'auscultation est « compagnonnage » plus accessible en milieu hospitalier, le second est persévérance. Le processus pédagogique, décrit ci-dessus, permettra au physiothérapeute agissant seul au retour d'une formation de reconnaître les quatre catégories de bruits et progressivement de qualifier leurs paramètres respectifs plus sélectifs. L'apprentissage repose sur la pratique et l'expérience et plus on ausculte, mieux on ausculte.



Figure 5.

Stéthoscope de type Littmann® pour une double écoute simultanée à partir d'un seul collecteur-membrane.

6. LE DEVENIR DE LA FORMATION.

Nous ignorons le devenir de la formation, son adhésion, son application régulière dont il nous arrive de recevoir les résultats positifs. Certains confrères s'équipent d'outils d'objectivation qui aident à la reconnaissance des signaux. Cette manière d'ausculter est de nature à réfuter le caractère subjectif ou rituel [96] de l'auscultation et à améliorer les

reproductibilités intra- et interpersonnelle de manière significative puisque les bruits pulmonaires deviennent des variables observables. Elle fournit aussi un document de référence que le médecin prescripteur apprécie. Face à un public francophone le recours à un tableau de correspondance entre les termes des deux nomenclatures est nécessaire, celle de Laennec très souvent en usage dans le corps médical et la nouvelle à laquelle les kinésithérapeutes sont invités à adhérer. (Tableau 3) La communication sur la base des publications scientifiques est de nature à faciliter le dialogue interprofessionnel médecins-kinésithérapeutes.

A. BRUITS RESPIRATOIRES	A. BRUITS RESPIRATOIRES *
Murmure vésiculaire Bruit laryngotrachébronchique ou intermédiaire (régions centrales) Souffle tubaire Respiration puérile Respiration bronchovésiculaire	Bruit respiratoire normal Bruit respiratoire bronchique
B. BRUITS ADVENTICES	B. BRUITS ADVENTICES
Gros crépitants Sous-crépitations Crépitements fins Sifflements, sibilants, sibilances Rhonchus	Craquements ** Sibilances ***
* Timbre, amplitude. ** Timbre, situation dans le cycle respiratoire, position-dépendance, nombre, kinésie-dépendance. *** Taux, complexité (mono – polyphonique), fréquence (Hz), position-dépendance, amplitude.	

Tableau 3. Nomenclature stéthacoustique pulmonaire.

Correspondance entre les termes en langue française de l'ancienne nomenclature (colonne de gauche) et la nouvelle liste traduite de l'anglais (colonne de droite) recommandée par l'ATS, l'ILSA et l'ERS.

(d'après G.Postiaux, E . Lens. Nomenclature d'auscultation pulmonaire pourquoi pas un consensus mondial ? Rev Mal Respir 1999 ;16 :1075-90.)

CHAPITRE 5. CONTRIBUTIONS RESPECTIVES DE L'ET ET DE L'AP.

1. APPORTS RESPECTIFS ET DIFFÉRENTIELS DE L'ÉCHOGRAPHE ET DU STÉTHOSCOPE.

Ce qui précède établit que les deux méthodes d'investigations possèdent les éléments de validation métrique nécessaire. Il convient maintenant de s'interroger sur leur nature propre, sur leur essence en quelque sorte, c'est-à-dire sur le type d'information qu'elles apportent sans vouloir y trouver une hiérarchie de valeur en rappelant les questions auxquelles ce travail se propose également de répondre : ces deux méthodes d'investigation sont-elles concurrentielles ou complémentaires ? Et l'échographie annonce-t-elle le déclin de l'auscultation ?

2. CONTRIBUTIONS COMPARÉES DE L'ET ET DE L'AP

Sommairement, on peut considérer que l'ET fournit une information à prévalence anatomique, donc davantage statique même si quelques mesures fonctionnelles sont permises comme par exemple la dynamique diaphragmatique. Tandis que l'AP apporte une information de type clinique avec une composante dynamique ou fonctionnelle car elle nécessite un mouvement ventilatoire qui est à la source de la production des BR. C'est un premier élément de différenciation parmi d'autres. Ces deux approches sont donc de nature différentes, elles n'entrent pas en concurrence, elles sont complémentaires.

Cette complémentarité s'enrichirait de mesures simultanées en autorisant le recueil simultané en temps réel de l'image et du bruit loco-régionaux à l'instar de l'échographie cardiaque. Quelques questions adressées par l'auscultation à l'échographie illustrent la distance qui les sépare et cette richesse potentielle.

Un avantage déterminant de l'auscultation est sa mise en œuvre immédiate et répétée à discrétion durant la séance de soins sans nécessiter de mise au point technique à chaque application.

3. QUELQUES QUESTIONS ADRESSÉES À L'ET PAR L'AP ILLUSTRENT LES DIFFÉRENCES DE NATURE DES DEUX MÉTHODES

Nous prélevons ci-après quelques exemples relevant de l'auscultation médiate ou de l'écoute des bruits à la bouche c'est-à-dire des Bruits ventilatoires au sens large (cercle extérieur de la figure 2).

3.1 LORS DE L'AUSCULTATION MÉDIATE

- En ce qui concerne le BRN, l'ET peut-elle en mesurer l'atténuation unilatérale liée à un déficit ventilatoire régional ?
- L'ET peut-elle révéler un élargissement du spectre (timbre clair) du bruit respiratoire trachéal plus précoce que la diminution du volume maximum expiré en une seconde (VEMS) lors d'un épisode bronchospastique débutant [97]?
- Peut-elle identifier l'origine du *silent chest* (abolition du BRN) correspondant à une obstruction sévère en l'absence de tout BA ?
- En ce qui concerne le BRB, l'ET peut-elle apprécier l'évolution vers la guérison de la densité d'une condensation avec la précision stéthacoustique remarquable déjà contenue dans l'ouvrage de Laennec qui distinguait les phases chronologiques d'« *engouement, d'hépatisation rouge* (stade de matité à la percussion), *d'hépatisation grise, de défervescence et de résolution* » [98]. Dans un rapport de cas clinique portant sur une pneumopathie, Selot et al [99] montrent que l'ET est capable de différencier ces divers stades sur le plan anatomique. Il conviendrait néanmoins de les nommer. Suivant notre expérience, le choix physiotechnique affiné repose essentiellement sur l'évolution du timbre du BR, de clair (bronchique-BRB) à plus sombre (normal-BRN) et apparition concomitante de craquements de haute, moyenne puis basses fréquences relatives. Cette évolution stéthacoustique modifie l'intervention technique du kinésithérapeute. Cet exemple illustre notre proposition d'entreprendre des études de corrélation entre une information anatomique et un signal fonctionnel.
- L'ET peut-elle révéler les signes discrets CrHF) observés au niveau du poumon infralatéral (en décubitus latéral) qui anticipe le diagnostic de décompensation cardiaque, ou d'une pneumopathie débutante avant leur objectivation paraclinique, électrocardiogramme (ECG) ou RX [100, 101, 102] qui peuvent aussi faire suspecter un transsudat alvéolaire correspondant à une hypoprotéïnémie ?
- En ce qui concerne les Sb, l'ET peut-elle en distinguer les types - fixe, monophonique, dispersées, séquentielles, polyphoniques, inspiratoires ou expiratoires - et leur taux (pourcentage des Sb occupant le cycle ventilatoire) [103] ? Ce dernier paramètre est une composante principale du score de Wang [104] qui permet de mesurer l'importance de l'obstruction bronchique dans le cadre de la bronchiolite du nourrisson [105]. Ce score est actuellement considéré comme désuet et plus utilement remplacé par le score de gravité ReSVINET [106] mieux validé et plus complet car il s'adresse au praticien et aux parents mais qui contient également un item consacré à l'auscultation.
- De discrètes et brèves sibilances (d'une durée inférieure à 30 msec) appelées « squeaks » ou « squawks » [107] peuvent-elles être détectées par l'ET ?

3.2 L'ÉCOUTE DES BRUITS À LA BOUCHE FAIT AUSSI PARTIE DES SIGNES CLINIQUES SONORES INDICATIFS.

- L'échographie peut-elle identifier et différencier stridor, cornage, bruit blanc trachéal ; type, fréquence et amplitude de la toux, bruit « blanc » laryngé, gémissement, type de pleurs que la stéthacoustique explore [108] et qui sont susceptibles d'orienter la décision physiothérapeutique [109, 110]?
- L'échographie thoracique aura-t-elle un avantage déterminant sur la radiographie capable de modifier les recommandations des sociétés savantes qui estiment cette dernière superflue dans la prise en charge de la bronchiolite du nourrisson ? [111] L'échographie thoracique en pédiatrie est un outil prometteur dans le diagnostic de la pneumonie mais l'hétérogénéité des lésions et l'absence d'une référence fiable rendent actuellement l'examen peu contributif [112].

3.3 ENREGISTREMENTS SUR LA DURÉE ET TÉLÉMÉDECINE.

Il convient de rappeler que les Bruits respiratoires peuvent faire l'objet d'enregistrements de longue durée et à des applications en télémédecine, mais considérons que cet élément est pour l'instant hors sujet.

4. ETABLIR LA CORRESPONDANCE ENTRE ET ET AP

Ces questions dont la liste n'est pas exhaustive ouvrent le champ à de nombreuses études de corrélation. Elles illustrent la richesse sémiologique stéthacoustique et la distance méthodologique entre l'auscultation et l'échographie. L'ET pourra-t-elle dans le futur s'enrichir du recueil de paramètres stéthacoustiques au moyen d'un équipement mixte affichant simultanément images et sons à l'instar de l'échographie cardiaque ?

Cette correspondance serait particulièrement bienvenue en ambulatoire lorsque le praticien ne dispose pas d'un cliché RX qu'il ne peut lui-même requérir car relevant de la compétence du médecin prescripteur. La réalisation d'une ET en ambulatoire en tant qu'acte confié, non invasif, non irradiant et dénué de risque enrichirait le bilan kinésithérapeutique.

Une autre question est licite : lorsque la pathologie est bien circonscrite grâce à l'ET, l'acte technique doit-il être répété à chaque séance de soin, en début et en fin de séance ou une simple auscultation sur le site auparavant identifié pourrait-elle suffire et constituer ainsi une économie de temps substantielle ? L'auscultation ne serait-elle pas aussi précieuse s'il s'agit d'identifier une réponse adverse comme un épisode bronchospastique présenté par un patient hyperréactif ?

5. ET ET AP PRÉSENTENT DES LIMITES COMMUNES

Notons que l'AP et l'ET partagent des limites identiques telles l'obésité, la présence de pluri-traumatismes, l'emphysème sous-cutané. En cas de consolidation distante de la plèvre, l'apport de l'AP est réduit voire impossible ; il en va de même de l'ET car l'air interposé ne transmet pas les ultrasons.

CHAPITRE 6. CONCLUSION

L'avènement récent de l'ET dans le champ de compétence de la kinésithérapie hospitalière et bientôt, il faut le souhaiter, dans celui de la pratique libérale ambulatoire s'accompagne, pour preuve d'intérêt, d'un inévitable engouement initial à l'égard des formations proposées. Les publications consacrées à la validation scientifique de l'ET est confrontée à d'autres méthodes paracliniques comme la radiographie (RX), la tomodensitométrie (CT scan), la résonance magnétique nucléaire (RMN) mais aussi à la sémiologie pulmonaire, dont l'AP qui est affectée de critiques en termes de sensibilité, de spécificité et de reproductibilité intra et extra-personnelles.

On peut attribuer cette dépréciation à quatre facteurs cruciaux :

1. au manque d'uniformisation de la nomenclature actualisée et sa non-observance,
2. à la confusion dans l'interprétation des termes de la nomenclature,
3. à un enseignement insuffisant ou mal adapté,
4. au manque d'expertise clinique en général et au mésusage du stéthoscope.

Les faibles scores de précision et de reproductibilité attribués à l'AP résultent d'une mésestimation ou d'une méconnaissance de la richesse remarquable de la sémiologie stéthacoustique indispensable à l'indication et au suivi d'une thérapie physique.

Notre travail suggère qu'une formation structurée appuyée par les récentes technologies d'analyse et de visualisation instantanée des bruis respiratoires sont de nature à améliorer les pratiques.

Les deux méthodes d'investigation sont de nature différentes, elles n'entrent pas en concurrence. Elles sont complémentaires dans l'appréciation loco-régionale des anomalies structuro-fonctionnelles des déficits respiratoires. Cette complémentarité s'enrichirait de mesures simultanées en autorisant le recueil simultané en temps réel de l'image et du bruit loco-régionaux à l'instar de l'échographie cardiaque.

Un avantage déterminant de l'auscultation est sa mise en œuvre immédiate et répétée à discrétion durant la séance de soins sans nécessiter de mise au point technique à chaque application.

Comme nous le montrons dans ce travail, l'échographie n'amointrit pas l'intérêt de l'auscultation qui depuis deux siècles a vaillamment résisté aux assauts technologiques et a démenti un déclin toujours annoncé, jamais vérifié. L'auscultation relève donc à nouveau ce défi et pour paraphraser RI Wilkins [113] à propos des nouvelles méthodes instrumentales stéthacoustiques : « ...*We doubt it* (i.e. computerized auscultation system) *will replace the stethoscope any time soon ...* ». Un éditorial récent de S. Hayward consacré à l'échographie thoracique émet une opinion similaire : ... « *LUS will not replace the stethoscope...* » [114].

La prédiction de **Laennec** qui, très modestement en 1819 lors de la parution de son traité, écrivait : « ***je ne doute pas qu'à l'aide d'observations attentives et suivies, on n'obtienne encore de l'auscultation médiate beaucoup de résultats utiles à l'art de guérir*** » reste d'actualité voire se renforce. En attendant d'autres progrès technologiques à venir, le stéthoscope reste l'outil nécessaire et suffisant immédiatement disponible et de faible coût. La partie n'est donc que remise ...

RÉFÉRENCES

- [1] Lens E. (†) Le symptôme. Louvain Méd 1976 ;95:209-214.
- [2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Hippocrate#%C5%92uvres/le_Corpus_Hippocratique.
- [3] Tubiana M. Les chemins d'Esculape. Histoire de la pensée médicale. Flammarion 1995. P714.
- [4] Histoire de la pensée médicale en occident. Antiquité et Moyen Age. Ouvrage Collectif sous la direction de Mirko D. GRMEK. Editions du Seuil 1995. P382.
- [5] Alain Lellouch. La nouvelle sémiotique pulmonaire. Revue du Palais de la Découverte, août 1981, n°22 :91-8.
- [6] Laennec RTH. De l'Auscultation médiate ou traité du diagnostic des maladies des poumons et du cœur. Chez Brosson et Chaudé, Paris 1819.
- [7] Postiaux G. La kinésithérapie du poumon profond. Bases mécaniques d'un nouveau paradigme. Rev Mal Respir 2014;31:552-67.
- [8] Laennec 1781-1826. Revue du Palais de la découverte numéro spécial 22, août 1981.
- [9] L'Hippocrate de Laennec par Jackie Pigeaud. 232-238.Laennec 1789-1826. Revue du Palais de la découverte numéro spécial 22, août 1981;232.
- [10] Forbes J. A treatise on the diseases of the chest. London 1sr ed 1821.
- [11] Postiaux G. Faut-il relire Laennec ? Variations sur un air de rhonchus. <https://www.webkine.be/blog/actualites>. http://www.postiaux.com/acceuil_fr
- [12] Alex Sakula. Accueil du livre « de l'auscultation médiate » et du stéthoscope par les médecins de Grande-Bretagne. Revue du Palais de la Découverte, n° spécial 22, 1981 :280-90.
- [13] Hagège Claude. Contre la pensée unique. Ed Odile Jacob 2012. P 239.
- [14] Robertson AJ. Rales, rhonchi and Laennec. Lancet 1957;1:417-423
- [15] Forgacs P. Crackles and wheezes. Lancet 1967;2:203-205
- [16] ILSA <http://www.ilsaus.com/>
- [17] American Thoracic Society ad hoc Committee on Pulmonary Nomenclature : Updated nomenclature for membership reaction. ATS News Fall 1977;3:5-6.
- [18] Sovijarvi AR, Dalmaso F, Vanderschoot J, et al. Computerized Respiratory Sound Analysis (CORSA): recommended standards for terms and techniques. Appendix: abbreviations and acronyms for terms involved in computerized respiratory sound studies. Eur Respir Rev 2000;10:647-49.
- [19] Postiaux G, Lens E. Nomenclature d'auscultation pulmonaire : pourquoi pas un consensus mondial ? Rev Mal Respir 1999;16:1075-89.
- [20] Pasterkamp H, Brand PL, Everard M, et al. Towards the standardization of lung sound nomenclature. Eur Respir J 2016;47:724-32.
- [21] Postiaux G, Lens E, Lahaye JM. Objectivation stéthacoustique de la toilette bronchique distale par comptage et analyse des craquements pulmonaires. Ann Kinésithér 1989;16:377-85. Proc. 13th International Lung Sounds Conference, Chicago (USA) 1988,sept.3-5. (Abstract)
- [22] POSTIAUX G., LENS E., CHAPELLE P. Chest physiotherapy guided by lung sounds. Abstract, 10th International Conference on Lung Sounds, Tokyo, 18/21 sept.1985. Revue SEKRCV 1985; 4:90.
- [23] Postiaux G, Lens E, Lahaye JM. Objectivation stéthacoustique de la toilette bronchique distale par comptage et analyse des craquements pulmonaires. Ann Kinésithér 1989;16:377-85. Proc. 13th International Lung Sounds Conference, Chicago (USA) 1988,sept.3-5. (Abstract)
- [24] Postiaux G, Ladha K, Gillard C, et al. La kinésithérapie respiratoire du tout-petit (<24 mois) guidée par l'auscultation pulmonaire. Rev Fr Allergol 1997;37:206-22.

-
- [25] LENS E., POSTIAUX G., CHAPELLE P. Application in bedside medicine of automated spectral analysis of breath sounds, wheezes, and crackles. Proc. 12th International Conference on Lung Sounds, C.N.R.S, Paris 16-18 sept 1987.
- [26] LENS E. Snoring or bubbling. Classification of snoring presented at the 13th International Lung Sounds Conference (Lens, Postiaux Chicago 1988). Eur. Respir. J. 1989; 2:693.
- [27] Adachi S, Nakano H, Odajima H, et al. Lung sounds in children before and after respiratory physical therapy for right middle lobe atelectasis. PLoS ONE 11(9):e0162538. Doi:10.1371/journal.pone.0162538
- [28] Herrero-Cortina B, Oliveira A, Polverino E. et al. Feasibility of Computerized Adventitious Respiratory Sounds to Assess the Effects of Airway Clearance Techniques in Patients with Bronchiectasis. Physiother Theory Pract 2019 Jan 23;1-11. doi: 10.1080/09593985.2019.1566945.
- [29] Laennec TH. De l'auscultation médiate ou traité du diagnostic des maladies des poumons et du cœur. Ed Brosson et Chaudé. 1819 ; tome 1 page 154.
- [30] Postiaux G. Traiter sans prescription. Kine Varia News 2018 ;422:10-1.
- [31] Lens E. (†) Prolégomènes pour une épistémologie de l'acte médical. La logique diagnostique. Louvain Méd 1978.97:405-413.
- [32] Flietstra B, Markuzon N, Vyshedskiy A. Automated analysis of crackles in patients with interstitial pulmonary fibrosis. Pulm Med 2011;Article ID 590506.
- [33] Murphy RL, Vyshedskiy A, Power-Charnitsky VA, et al. Automated lung sound analysis in Patients with Pneumonia. Respir Care 2004;49:1490-7.
- [34] McKiernan S, Chiarelli P, Warren-Forward F. A survey of diagnostic ultrasound within the physiotherapy profession for the design of future training tools. Radiography 2011 ;17(2):121-25.
- [35] Leech M, Bisset B, Kot M, et al. Lung ultrasound for critical care physiotherapists : a narrative review. Physiother Res Int 2015 ;20:69-76.
- [36] Le Neindre A, Mongodi S, Philippart F, et al. Thoracic ultrasound: potential new tool for physiotherapists in respiratory management: A narrative review. J Crit Care 2016;31:101-9.
- [37] Basile V, Di Mauro A, Scalini E, et al. Lung ultrasound: a useful tool in diagnosis and management of bronchiolitis. BMC Pediatr. 2015 May 21;15:63.
- [38] Postiaux G. La kinésithérapie du poumon profond. Bases mécaniques d'un nouveau paradigme. Rev Mal Respir 2014 ;31:552-67.
- [39] Le Neindre A. Le poumon profond : définitions radiologiques, échographique et perspectives de traitement en kinésithérapie respiratoire. Kinésithér Scientifique 2018 ;597 :31-5.
- [40] Soni NJ, Franco R, Velez M, et al. Ultrasound in the diagnosis and management of pleural effusions. J Hosp Med 2015 ;10(12):811-6.
- [41] Dos Santos ED, da Silva JS, de Assis Filho MT, et al. Adding positive airway pressure to mobilization and respiratory techniques hastens pleural drainage: a randomized trial. J Physiother 2020 ;66(1):19-26.
- [42] Valenza-Demet G, Valenza MC, Cabrera-Martos I, et al. Th effects of a physiotherapy program on patients with a pleural effusion: a randomized controlled trial. Clin Rehab 2014 ;28(11):1087-95.
- [43] Wormser L, Le Bret M, Le Neindre A. L'échographie du diaphragme : principes et intérêts pour le kinésithérapeute. Kinesither Rev 2017 ;17(182).
- [44] Hayward SA, Janssen J. Use of thoracic ultrasound by physiotherapists: a scoping review of the literature. Physiotherapy 2018 ;104:367-75.
- [45] Volpicelli G1, Elbarbary M, Blaivas M, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. Intensive Care Med 2012 ;38:577-91.

-
- [46] Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, et al. Statement on competence in critical care ultrasonography. American College of Chest Physicians/La Société de Réanimation de Langue Française. *Chest* 2009 ;135:1050-60.
- [47] Volpicelli G1, Elbarbary M, Blaivas M, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 2012;38:577-91.
- [48] Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, et al. Statement on competence in critical care ultrasonography. American College of Chest Physicians/La Société de Réanimation de Langue Française. *Chest* 2009;135:1050-60.
- [49] Lazzeri M, Clini AM, Repossini E, Corrado A. Esame clinico e valutazione in riabilitazione Respiratoria. Edra Masson Milan 2014;p336.
- [50]
<https://catalogue.physio.umontreal.ca/Web/MyCatalog/ViewP?pid=6OFjtPv7eC1am8hkBvJnqQ%3d%3d&id=b70%2fgHV%2bsjnBQFXU6NgIhQ%3d%3d>
- [51] American College of Emergency Physicians (ACEP) Ultrasound Guidelines: Emergency, Point-of-Care and Clinical Ultrasound Guidelines in Medicine. *Ann Emerg Med* 2017;69(5):e27-e54.
- [52] Arntfield RT, Millington SJ, Ainsworth CD, Arora RC, Boyd J, Finlayson G, et al. Canadian recommendations for critical care ultrasound training and competency for the Canadian Critical Care Society. *Can Respir J* 2014;21(6):341-5.
- [53] Cook DA, Dupras DM. A practical guide to developing effective web-based learning. *J Gen Intern Med* 2004;19(6):698-707.
- [54] Lichtenstein DA, Goldstein I, Mourgeon E, et al. Comparative diagnostic performances of auscultation, chest radiography, and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anesthesiology* 2004;100:9-45.
- [55] Lichtenstein DA. Lung ultrasound in the critically ill. *Ann Intensive care* 2014;4;1.
- [56] Leech M, Bisset B, Kot M, et al. Lung ultrasound for critical care physiotherapists : a narrative review. *Physiother Res Int* 2015;20:69-76.
- [57] Aweida D, Kelsey CJ. Accuracy and reliability of physical therapists in auscultating tape-recorded lung sounds. *Physiother Can* 1990;42:279-82.
- [58] Brooks D, Wilson L, Kelsey C. Accuracy and reliability of "specialized" physical therapists in auscultating tape-recorded lung sounds. *Physiother Can* 1993;45:21-4.
- [59] Allingame S, Williams T, Jenkins S, et al. Accuracy and reliability of physiotherapist in the interpretation of tape-recorded lung sounds. *Aust J Physiother* 1995;41:179-84.
- [60] Brooks D, Thomas J. Interrater reliability of auscultation of breath sounds among physical therapists. *Phys Ther* 1995;75:1082-8.
- [61] Pasterkamp H, Montgomery M, Wiebicke W. Nomenclature used by health care professionals to describe breath sounds in asthma. *Chest* 1987;92(2):346-52.
- [62] Wilkins RL, Dexter JR, Murphy RL, et al. Lung sound nomenclature survey. *Chest* 1990;98:885-9.
- [63] Wilkins RL, Dexter JR. Comparing RCPs to physicians for the description of lung sounds are we accurate and can we communicate. *Respir Care* 1990;35:969-76
- [64] Elphick HE, Lancaster GA, Solis A, et al. Validity and reliability of acoustic analysis of respiratory sounds in infants. *Arch Dis Child* 2004;89:1059-63.
- [65] Koehler U, Hildebrandt O, Kerzel S, et al. Normal and adventitious breath sounds. *Pneumologie* 2016;70(6):397-404.
- [66] Gurung A, Scrafford CG, Tielsch JM, et al. Computerized lung sound analysis as diagnostic aid for the detection of abnormal lung sounds : a systematic review and meta-analysis. *Respir Med* 201;105:1396-403.

-
- [67] Bohadana A, Azulai H, Jarjoui A. Influence of observer preferences and auscultatory skill on the choice of terms to describe lung sounds: a survey of staff physicians, residents and medical students. *BMJ Open Res* 2020;7:e000564,doi: 10.1136/bmjresp-2020-000564.
- [68] Postiaux G, Vilaro J, Charlier JL, et al. Craquements pulmonaires : que perçoit le clinicien ? *Rev Mal Respir*. 2015;32:728-36.
- [69] Padilla-Ortiz AL, Ibarra D. Lung and heart sounds analysis: State-of-the-Art and future trends. *Crit Rev Biomed Eng* 2018;46:33-52.
- [70] http://www.campanellaacoustics.com/faq.html#resource_groups
- [71] Murphy R, Holford S, Knowler W. Visual lung-sound characterization by time-expanded wave-form analysis. *N Engl J Med* 1977;296:968-71.
- [72] https://www.3mbelgique.be/3M/fr_BE/Littmann-BNL/products/?N=5932256+8711017+3293188392&rt=rud
- [73] Pasterkamp H1, Carson C, Daien D, Oh Y. Digital respirosography. New images of lung sounds. *Chest* 1989;96(6):1405-12. <http://www.rale.ca/default.htm>
- [74] <https://www.ekohealth.com/>
- [75] <https://www.thinklabs.com/wave-c1vu3>
- [76] <https://www.ers-education.org/e-learning/reference-database-of-respiratory-sounds.aspx>
- [77] Pasterkamp H, Brand PL, Everard M, et al. Towards the standardization of lung sound nomenclature. *Eur Respir J* 2016;47:724-32.
- [78] http://www.stethographics.com/main/physiology_ls_introduction.html
- [79] <https://www.deboecksuperieur.com/notes>
- [80] Postiaux G. Auscultation pulmonaire et kinésithérapie en pédiatrie. *Rev Mal Resp* 1999;16,suppl.3,3S206-7.
- [81] Ntoumenopoulos G, Glickman Y. Computerized lung sound monitoring to assess effectiveness of chest physiotherapy and secretion removal: a feasibility study. *Physiotherapy* 2012;98:250-5.
- [82] <https://www.offidocs.com/index.php/desktop-online-video-audio-apps-fr-fr/audacity-editeur-audio-en-ligne-fr-fr>
- [83] Reyes BA, Reljin N, Chon KH. Tracheal sounds acquisition using smartphones. *Sensors* 2014;14:138–41.
- [84] Sestini P, Renzoni E, Rossi M, et al. Multimedia presentation of lung sounds as a learning aid for medical students. *Eur Respir J* 1995;8:783-8.
- [85] Lens E, Postiaux G. Feasibility of simultaneous recording and analysis of nocturnal breath sounds (wheezing, snoring, apnea), esophageal pHmetry, ear oximetry. *Proc 13th International Conference on Lung Sounds, Chicago, 1988.*
- [86] Lenclud C, Cuttitta G, Van Gansbeke D, et al. Evaluation of nocturnal bronchoconstriction by all night tracheal sound monitoring. *Thorax* 1996;51:694-8.
- [87] Nonoyama ML, Kukreti V, Papaconstantinou E, et al. Assessing physical and respiratory distress in children with bronchiolitis admitted to a community hospital emergency department: a retrospective chart review. *Can J Respir Ther* 2019;55:16–20.
- [88] Rietveld S, Russenbeek-Nouwens LH. Diagnostics of spontaneous cough in childhood asthma: results of continuous tracheal sound recording in the homes of children. *Chest* 1998;113:50-4.
- [89] Hirai K, Nukaga M, Tabata H, et al. Objective measurement of nocturnal cough in infants with acute bronchiolitis. *Respir Investig* 2019;S2212-5345(19)30035-8.
- [90] Sahgal N. Monitoring and analysis of lung sounds remotely. *Int J COPD* 2011;6:407-12.

-
- [91] Aviles-Solis JC, Vanbelle S, Halvorsen PA, et al. International perception of lung sounds: a comparison of classification across some European borders. *BMJ Open Respir Rev* 2017;18;4(1):e000250. .
- [92] Postiaux G. Il y a EBM et EBM. *Kine Varia News* 2014;406:1-6.
- [93] <https://books.google.be/books?hl=fr&lr=&id=fvDLCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Head-Related+Transfer+Function&ots=ASg3gS4f8z&sig=AEXIANUqnku1idKPw1pVXfoxXPc#v=onepage&q=Head-Related%20Transfer%20Function&f=false>
- [94] <http://www.bili-project.org/lecoute-binaurale/>
- [95] Brian F, Katz G. Boundary element method calculation of individual head-related transfer function. I. Rigid model calculation. *J Acoust Soc Am* 2001;110:2440. <https://doi.org/10.1121/1.1412440>
- [96] Jeannin L. L'auscultation pulmonaire revisitée ? *Rev Mal Respir* 1999;16:1051-2. Editorial.
- [97] Malmberg LP, Sovijärvi A, Paaanen E, et al. Changes in frequency spectra of breath sounds during histamine challenge test in adult asthmatics and healthy control subjects. *Chest* 1994 ;105:122-32.
- [98] Laennec TH. De l'auscultation médiate ou traité du diagnostic des maladies des poumons et du cœur. Ed Brosson et Chaudé. 1819; tome premier:160-9.
- [99] Selot P, Carballal DF, Bonarek M et al. A propos d'un cas de pneumopathie, l'échographie pulmonaire comme aide au diagnostic et au contrôle de la réponse à la kinésithérapie. *Kinesither Rev* 2017 ;17(183):9-15.
- [100] Gilbert VE. Detection of pneumonia by auscultation of the lungs in the lateral decubitus positions. *Am Rev Respir Dis* 1989 ;140:1012-26.
- [101] 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-ILSA. Stresa sept 30th, oct 1, 2, 1991. (Abstract)
- [102] Yasuda N, Gotoh K, Yagi Y, et al. Mechanism of posturally induced crackles as predictor of latent congestive heart failure. *Respiration* 1997 ;64:336-41.
- [103] Baughman RP, Loudon RG. Quantitation of wheezing in acute asthma. *Chest* 1984 ; 86:718-22.
- [104] Wang E, Ruth A, Milner A. Observer agreement for respiratory signs and oximetry in infants hospitalized with lower respiratory infections. *Am Rev Resp Dis* 1992 ;45:106-9.
- [105] Postiaux G, Zwaenepoel B, Louis J. Chest physical therapy in acute viral bronchiolitis: an updated review. *Respir Care* 2013 ;58:1541-5.
- [106] Justicia-Grande AJ, Pardo-Seco J, Cebey-López M, et al. (2016) Development and validation of a new clinical scale for infants with acute respiratory infection: the ReSVinet scale. *PLoS ONE* 11(6): e0157665. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157665>
- [107] Earis JE, Marsh K, Pearson MG, et al. The inspiratory "squawk" in extrinsic allergic alveolitis and other pulmonary fibroses. *Thorax* 1982 ;37:923-26.
- [108] Pasterkamp H. The history and physical examination. In: Cherniac & Boazt. Ed W.B. Saunders Company. Sixth edition. 1997;85-106.
- [109] Lester B, Boukidis C, Coll C, et al. Acoustic cry characteristics, maternal perception of cry, and temperament. *Infant Beh Dev* 1992;15:15-26.
- [110] Rice DA, Rice JC, Ricard MC, et al. On the diagnosis utility of babies' cries. Proc ILSA Meeting New Orleans 1999. (abstract).
- [111] Meissner HC. Viral bronchiolitis in children. *N Engl J Med* 2016;374:62-72.
- [112] Orso D, Ban A, Guglielmo N. Lung ultrasound in diagnosing pneumonia in childhood: a systematic review and meta-analysis. *J Ultrasound*. 2018;21:183-95.
- [113] Wilkins RL. Is the stethoscope on the verge of becoming obsolete ? *Respiratory Care* 2004;49(12):1488-9.

[114] Hayward S. Making waves : lung ultrasound and physiotherapy practice. *Physiotherapy Practice and Research* 2017;38:71-72.