



Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

www.em-consulte.com



PROTOCOLES EN COURS : SÉRIE EFR - MUCOVISCIDOSE

Nouveaux développements dans le domaine de l'auscultation

New developments in the field of human auscultation

E. Andrès^{a,*,d}, C. Brandt^{b,d}, R. Gass^{c,d}, S. Reichert^{c,d}

^a Service de médecine interne, diabète et maladies métaboliques, clinique médicale B, CHRU de Strasbourg, hôpital Civil, hôpitaux universitaires de Strasbourg, 1, porte de l'Hôpital, 67091 Strasbourg cedex, France

^b Centre d'investigation clinique, Inserm, Pôle médico-chirurgicale cardiovasculaire, CHRU de Strasbourg, Strasbourg, France

^c Chief Technical Office, Alcatel-Lucent, Illkirch, France

^d École de l'auscultation, faculté de Strasbourg, Strasbourg, France

Introduction

La sémiologie reste un des socles de la pratique médicale et le stéthoscope un des éléments majeurs de « l'art médical » aux yeux des patients [1]. L'interniste en est pleinement conscient et voue souvent un culte sans limite à ce fidèle et indémodable « compagnon d'arme ». Or, depuis l'invention du stéthoscope par le Docteur Laennec en 1816 à Paris et la description de la sémiologie auscultatoire pulmonaire, l'acte auscultatoire et l'auscultation ont peu évolué (*Traité de l'auscultation médiate* ; Paris 1819). La caractérisation physique des sons humains physiologiques et pathologiques est encore grandement balbutiante et n'a dans tous les cas pas abouti à une documentation robuste, en particulier dans le domaine pulmonaire [2]. Toutefois, savoir distinguer les sons (bruits) pulmonaires ou cardiaques normaux et anormaux (murmure, sibilants, crépitants, souffles cardiaques...) reste capital en pratique pour le diagnostic et le raisonnement médical. La majorité des progrès résulte avant tout du perfectionnement des outils d'écoute, à savoir le stéthoscope, le mode d'exploitation, l'analyse et la caractérisation des sons étant partiellement négligés par les praticiens [1].

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : emmanuel.andres@chru-strasbourg.fr (E. Andrès).

Progrès dans le domaine de la caractérisation des sons

Alors que l'auscultation conventionnelle est subjective et difficilement partageable, la caractérisation et l'identification physique des sons à travers des systèmes d'enregistrement et d'analyse innovants devraient apporter une aide au diagnostic objectif et précoce avec une meilleure sensibilité et reproductibilité des résultats [1,2]. Face à la variabilité, l'hétérogénéité et la complexité des sons, la majorité des praticiens ne sont armés que de leur perception auditive et de leur mémoire de sons pathologiques, critères nécessairement subjectifs. Leurs diagnostics sont uniquement basés sur l'expérience accumulée et relèvent d'avantage de l'intuition que d'une classification rigoureuse et systématique. Divers travaux ont tenté de qualifier plus précisément ces sons, en essayant de mieux préciser et définir leurs caractéristiques physiques de façon à faire entrer l'auscultation pulmonaire dans l'ère de la médecine factuelle (*evidence-based medicine*) [3–5]. C'est en effet une étape préalable indispensable à la mise en œuvre d'une analyse objective et qualitative de ces sons. Sur le plan cardiologique, il faut rappeler que des données plus précises, robustes et scientifiquement valides existent reposant sur celles issues de la phonocardiographie [6].

Il est généralement admis que la fréquence des sons pulmonaires se situe dans la plage de 50 à 2500 Hz. Le spectre des sons cardiaques est quant à lui compris entre 20 et 100 Hz pour les signaux de base, et des fréquences plus élevées de 500 Hz et au-delà pour les souffles [2]. De nos jours, seuls quelques sons pulmonaires sont toutefois bien identifiés ou qualifiés sur le plan physique parmi lesquels les sibilants et crépitants [3,5]. Du point de vue clinique, les crépitants sont des sons pathologiques, discontinus, explosifs, apparaissant généralement dans la phase d'inspiration [2,3]. L'apparition de crépitants est habituellement liée à des pathologies du parenchyme pulmonaire. Il est admis que la durée des crépitants est inférieure à 20 ms et que leur fréquence est comprise entre 100 et 200 Hz [5,7]. Sur le plan physique, les crépitants correspondent à une onde caractéristique dont l'aspect est indiqué sur la Fig. 1 [2]. Le sibilant correspond à un son pathologique, continu, ayant un caractère musical. Acoustiquement, il est caractérisé par une forme d'onde avec une fréquence dominante généralement supérieure à 100 Hz et une durée supérieure à 100 ms [2,5]. Les sibilants sont généralement associés à l'obstruction des voies aériennes, typiquement comme dans l'asthme. Du point de vue physique, les sibilants sont des sons d'une durée supérieure à 50 ou à 100 ms et inférieure à 250 ms [5,8]. Le spectre des sibilants est compris entre 100 et 2500 Hz avec un pic de fréquence fondamentale entre 100 ou 400 Hz et 1000 ou 1600 Hz selon les auteurs [2,5,8].

Innovation dans le domaine de la représentation des sons

La détermination de ces caractéristiques physiques et la mise à disposition de nouvelles représentations de ces sons, sous forme de phonopneumo- ou phonocardiogramme ou spectrogramme, ouvrent également des perspectives

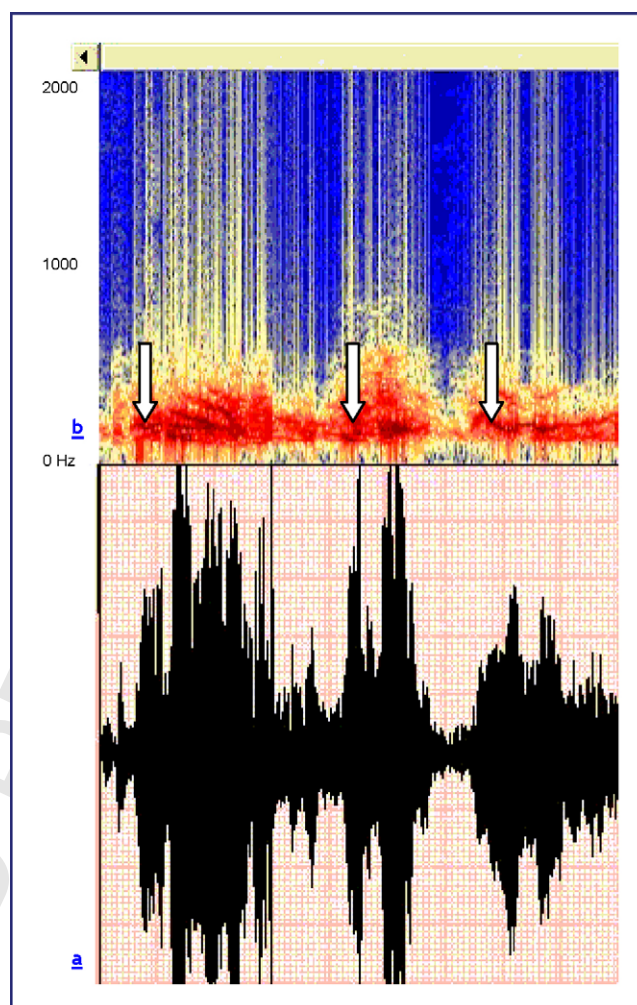


Figure 1. Représentation d'un cycle respiratoire chez un sujet ayant une BPCO avec phases d'inspiration, d'expiration et de repos sous forme d'un phonopneumogramme (a) et d'un spectrogramme (b). Présence de nombreux gros crépitants surtout visibles sur le spectrogramme (b) (indiqués par les flèches blanches). (Données personnelles issues des programmes de recherche Stetau et Asap).

intéressantes dans le cadre de l'enseignement et de la pédagogie [2]. Ces derniers reposent sur la représentation simultanée dans le temps des phases de la respiration ou du cycle cardiaque et du signal auscultatoire pour les phonopneumo- ou phonocardiogramme (Fig. 1a et 2a) et la représentation du temps en abscisse, de la fréquence en ordonnée et de l'intensité du signal représentée par une palette de couleurs pour le spectrogramme (Fig. 1b et 2b). Ces « outils » permettent en effet d'envisager la description et la mise à disposition d'une « nouvelle » sémologie auscultatoire, s'appuyant sur des systèmes robustes d'analyse du signal et sur un visuel, en plus du signal sonore habituellement capté par le praticien [9].

En offrant une perception visuelle des sons via diverses représentations temps-fréquences, les sciences et technologie de l'information et de la communication (STIC) apportent aux médecins une nouvelle source d'information qu'il est possible de recouper avec l'information auditive. Ainsi certains stéthoscopes actuels sont déjà accompagnés

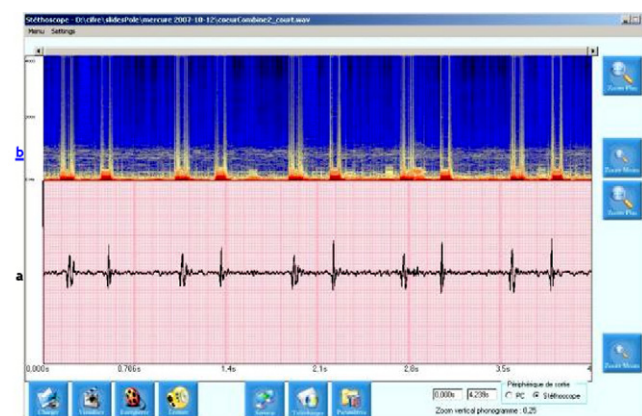


Figure 2. Représentation de l'enregistrement d'une auscultation cardiaque chez un individu sain sous forme d'un phonocardiogramme (a) et d'un spectrogramme (b). (Données personnelles issues des programmes de recherche Stetau, Asap et PRI).

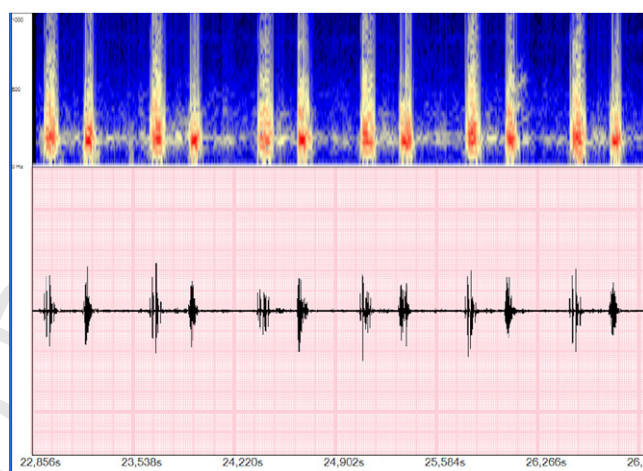
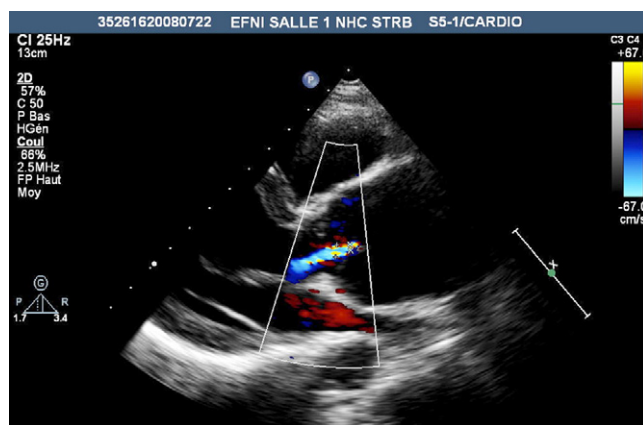


Figure 3. Insuffisance aortique non entendue au stéthoscope traditionnel mais visualisée à l'aide de notre prototype de stéthoscope intelligent et confirmée par échocardiographie.

de logiciels offrant au médecin une vision des sons sous forme d'images, perception qui constitue en quelque sorte un second canal d'observation permettant au praticien de resserrer ses conclusions. Il s'agit d'une première étape vers un outil à même d'homogénéiser l'ensemble des activités de la communauté médicale dans ce domaine et de faciliter le travail et la formation des praticiens. La Fig. 3 illustre ces propos en fournissant une représentation sous forme de phonocardiogramme associée en parallèle à des données échographiques d'un souffle d'insuffisance aortique (inaudible avec un stéthoscope traditionnel).

Une étude préliminaire auprès d'étudiants de deuxième et troisième cycles a ainsi permis d'objectiver un meilleur rendement diagnostique que dans le cadre de pathologies cardiaques et pulmonaires : moins de 50 % de diagnostics exacts avec le stéthoscope traditionnel versus plus de 80 % avec ces nouveaux outils, dont le support visuel (communication personnelle). L'étude de Sestini et al. va dans le même sens en montrant qu'une association entre le signal acoustique et l'image est utile pour l'apprentissage et la compréhension des sons pulmonaires par les étudiants en médecine [10].

Progrès dans le domaine de l'enregistrement et de l'analyse des sons

Inventées en 1816 par René Laennec, les premières versions du stéthoscope mono-auriculaire ont succédé à l'auscultation immédiate, c'est-à-dire au son entendu par l'application directe de l'oreille du médecin sur la paroi du thorax. Ces stéthoscopes ont évolué pendant le XIX^e, puis le XX^e siècle, en devenant un instrument biauriculaire avec une transmission des sons par une membrane appliquée sur le corps de la personne examinée, celle-ci les transmettant vers une chambre dont la forme conditionne pour une part le recueil du son : cloche ou diaphragme pour obtenir des sons de fréquence plus basse ou plus élevée. Le développement plus récent des stéthoscopes électroniques utilise un microphone placé dans le système transformant le son en signal électrique afin de le filtrer et/ou de l'amplifier et le

présenter à l'oreille. Ce type de stéthoscope amplifie également les bruits parasites, il peut occulter certains sons, voire discriminer la capacité du médecin à détecter les éléments cliniquement significatifs. La transmission est filaire. Dans les stéthoscopes actuels, on trouve généralement trois modes de fonctionnement en fréquence : le mode cloche permettant de sélectionner une bande fréquentielle située entre 20 et 200 Hz, le mode membrane situé dans la bande 200–2000 Hz et enfin le mode étendu entre 20 et 2000 Hz. Certains modèles proposent également des fonctionnalités d'enregistrement, de stockage et d'envoi des sons respiratoires, montrant l'intérêt des acteurs de ce domaine pour une interaction entre spécialistes et une volonté de se diriger vers une expertise des sons respiratoires commune et normalisée [1].

À ce jour, les efforts de recherche en matière de systèmes automatiques d'auscultation sont peu nombreux et triviaux du point de vue du traitement du signal (détection de pics fréquentiels, mesure de la durée des sons...). Peu de recherches ont été effectuées dans le but de rendre le stéthoscope « intelligent » en lui permettant de fournir une aide avancée au diagnostic. On notera celles de Myint et Dillard [11] qui ont développé un stéthoscope capable de diagnostiquer les bruits liés à la systole ou la diastole, bruits présents entre les battements définissant le rythme du cœur

par une simple analyse temps-fréquence des zones temporelles d'intérêt. Une équipe a également travaillé sur un stéthoscope capable de diagnostics avec visualisation sur un PDA, ouvrant la voie au diagnostic à distance [12]. À noter les travaux de Murphy qui a beaucoup œuvré à la mise au point d'un stéthoscope « intelligent » et dont les solutions technologiques proposées sont intéressantes et innovantes [2]. On peut enfin citer le projet européen Corsa, qui s'est déroulé entre 1990 et 2000, avec pour objectif un état des lieux de l'avancement des techniques en analyse des sons respiratoires utilisant des outils de traitement du signal [13]. Différents travaux ont également permis une mise au point sur la sémantique à adopter dans ce domaine [3,14], les différentes techniques de capture et de numérisation des sons respiratoires [15,16] ainsi qu'une vue générale des méthodes d'analyse utilisées [17,18]. Un récapitulatif des techniques et des caractéristiques des méthodes à privilégier pour chaque type de son respiratoire est donné dans la référence [2]. Une revue de la littérature synthétisant les différentes données actuelles dans ce domaine a récemment été publiée [9].

Apports des équipes strasbourgeoises et création d'une école de l'auscultation

Le développement de nouveaux stéthoscopes s'appuyant sur les progrès des technologies du traitement du signal, de l'informatique et de la téléphonie ouvre également de nombreuses perspectives [1,2]. Il risque bientôt de rendre obsolète l'un des plus anciens instruments médicaux. À l'heure d'Internet et des dossiers de santé numérisés, le stéthoscope va devenir à son tour électronique et surtout « intelligent ». Ce concept est l'objet de plusieurs projets de recherche :

- Stetau (système et technologies d'enregistrement et de traitement des sons d'auscultation, direction générale des entreprises) ;
- Analyse des sons auscultatoires et pathologiques¹ (Asap), Agence nationale pour la recherche technologie ;
- PRI (perspectives et apports du développement d'un stéthoscope communiquant à l'ère de la télé-médecine, CHRU de Strasbourg) auquel contribuent Alcatel-Lucent, l'Ircad et le CHRU de Strasbourg et l'université Louis-Pasteur [19].

Ici, le stéthoscope ne s'entend plus uniquement comme un outil de capture du son ou comme le prolongement de l'oreille du praticien, voire comme un amplificateur, mais également comme un enregistreur et un transmetteur des sons auscultatoires. Il dispose en effet d'une connectivité Bluetooth qui lui permet de transférer les sons cardiaques ou pulmonaires captés vers un ordinateur ou un dispositif mobile de type PDA. L'intérêt direct d'un tel système est d'autoriser la transmission et le partage de l'information. Outre sa connectivité, le stéthoscope électronique s'accompagnera d'une solution logicielle permettant la conversion des signaux sonores en une représentation

visuelle sous forme de diagramme. Cette « photographie » du signal pourra être affichée directement sur l'écran du dispositif mobile ou du système informatique utilisé. L'utilisateur pourra ainsi passer à un résultat d'examen mêlant du son et de l'image « normalisés » par l'appareil. Un moyen d'établir plus aisément des comparaisons sur la base de diagnostics antérieurs. La possibilité de stocker ces informations et de les catégoriser en fonction des différentes pathologies observées est bien sûr envisagée. À terme, il est possible qu'une base de données de référence regroupant ces sons auscultatoires soit créée, pour ainsi contribuer à l'établissement de diagnostics plus fiables.

C'est dans ce contexte que s'inscrit une étude ambitieuse qui vient d'être initiée autour du projet Asap (convention ANR n° 2006 TLOG 21 04 ; coordinateur professeur Emmanuel Andrès) par une équipe pluridisciplinaire composée des équipes médicales du CHRU, de la faculté de médecine de Strasbourg, du laboratoire LSIIT du professeur Christophe Collet de l'université de Strasbourg (ULP) et de l'Ircad (professeur Jacques Marescaux), avec le support des équipes de recherche en acoustique et en traitement de signal d'Alcatel-Lucent (Fig. 4) [20]. Le projet Asap a pour ambition de faire évoluer les techniques d'auscultation par :

- le développement d'outils d'analyse objective des sons auscultatoires, avec pour support des stéthoscopes électroniques couplés à des unités de traitement des sons ;
- la constitution d'une base de données de sons auscultatoires, pour comparer les sons entre eux et identifier des signatures acoustiques et visuelles de pathologies cibles ;
- la capitalisation de ces nouvelles techniques d'auscultation autour de la création d'une unité d'enseignement : l'école de l'auscultation, destinée à la formation initiale et à la formation continue des professionnels de la santé.

La constitution d'une base mondiale de sons est un atout indispensable pour capitaliser ces nouvelles techniques autour d'une base de connaissances pertinente et exhaustive. L'objectif de ce projet de recherche tout à fait innovant est de faire entrer l'auscultation dans l'ère de la médecine factuelle en « redécouvrant » la sémiologie et en s'appuyant sur les outils de notre temps, avec une électronique de pointe et une informatique miniaturisée (portables, PDA, Ipod...) et des moyens modernes de communication (GSM, Bluetooth...). Ce projet a également pour objectif la découverte de nouveaux marqueurs auscultatoires pathologiques dans le cadre de l'asthme (lors de tests à la méthacholine) et des bronchopneumopathies chroniques obstructives (suivi d'une cohorte de BPCO au long cours). Parmi les retombées du projet, on notera la création d'une école de l'auscultation à la faculté de médecine de Strasbourg accessible sur le web dans le cadre de l'e-auscultation [21]. Le projet Asap est en effet complémentaire à d'autres travaux menés localement dans le cadre de la sémiologie cardiaque et de la réanimation. Les étudiants en médecine seront ainsi formés dès leurs premières années de faculté, à pratiquer l'auscultation à l'aide de ces nouveaux outils, de supports visuels et sonores « intelligents » [9,19]. Par ailleurs, ce projet pourra servir de base au développement de l'e-auscultation dans le cadre de la télé-médecine.

¹ Grant : projet Asap (convention ANR n° 2006 TLOG 21 04), région Alsace.

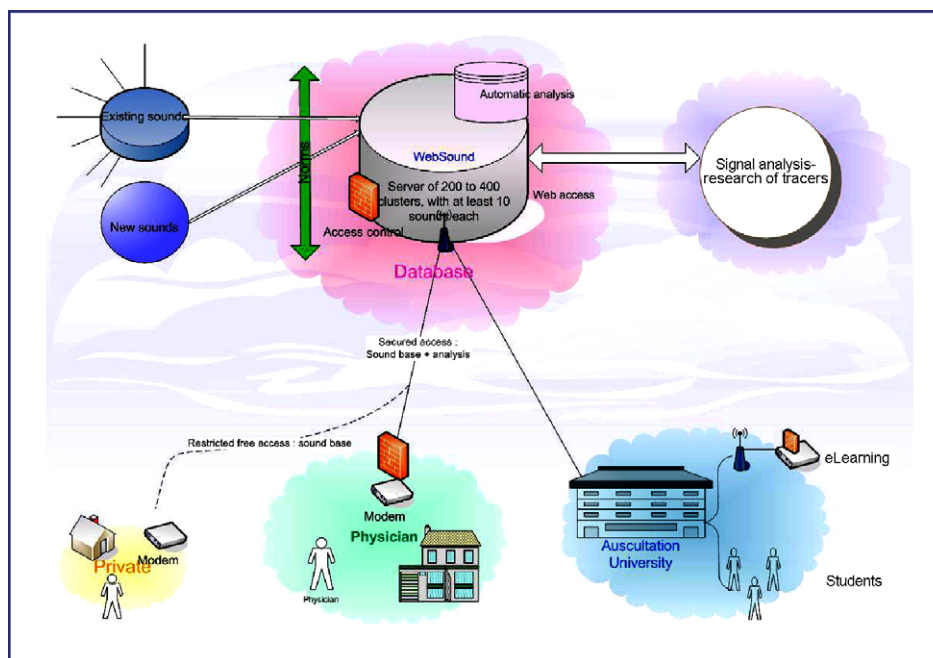


Figure 4. Projet Asap : « analyse des sons auscultatoires et pathologiques » (convention ANR n° 2006 TLOG 21 04).

Conflit d'intérêt

Aucun.

Références

- [1] Gass V, Reichert S, Kehayoff Y, Gass R, Andrès E. Le stéthoscope à l'ère de la médecine factuelle. *Alsa Med* 2007;55:14-6.
- [2] Reichert S, Gass R, Andrès E. Analyse des sons auscultatoires pulmonaires. *ITBM-RBM* 2007;28:169-80.
- [3] Sovijarvi AR, Malmberg LP, Charbonneau G, Vanderschoot J. Characteristics of breath sounds and adventitious respiratory sounds. *Eur Respir Rev* 2000;10:591-6.
- [4] Earis JE, Cheetham BM. Future perspectives for respiratory sound research. *Techniques for respiratory sound analysis. Eur Respir Rev* 2000;10:636-40.
- [5] Reichert S, Gass R, Kehayoff Y, Brandt C, Andrès E. Analysis of respiratory sounds: State of the art. *Clin Med Circ Resp Pulm Med* 2008;2:45-58.
- [6] Brandt CM, Amathieu Y, Adda JL, Druil S, Fincker JL. Semi-automatic acquisition and processing of mechanocardiograms. *Ann Cardiol Angeiol (Paris)* 1984;33:163-8.
- [7] Kompis M, Pasterkamp H, Wodicka GR. Acoustic imaging of the human chest. *Chest* 2001;120:1309-21.
- [8] Elphick HE, Ritson S, Rodgers H, Everard ML. When a wheeze is not a wheeze: Acoustic analysis of breath sounds in infants. *Eur Respir J* 2000;16:593-7.
- [9] Reichert S, Gass R, Brandt C, Andrès E. L'auscultation pulmonaire à l'ère de la médecine factuelle. *Rev Mal Respir* 2008;25:674-82.
- [10] Sestini P, Renzoni E, Rossi M, Beltrami V, Vagliasindi M. Multimedia presentation of lung sounds as learning aid for medical students. *Eur Respir J* 1995;8:783-8.
- [11] Myint WW, Dillard B. An electronic stethoscope with diagnosis capability. *Proceedings of the 33rd Southeastern Symposium on System Theory* 2001. p. 133-137.
- [12] Hung K., Luk BL, Choy WH, Tsa BI, Tso SK. Multifunction stethoscope for telemedicine. *2nd IEEE/EMBS International Summer School on Medical Devices and Biosensors* 2004. p. 87-89.
- [13] Sovijarvi A, Vanderschoot J, Earis JE. Standardization of computerised respiratory sound analysis. *Eur Respir Rev* 2000;10:585-92.
- [14] Sovijarvi A, Dalmaso F, Vanderschoot J, et al. Definition of terms for applications of respiratory sounds. *Eur Respir Rev* 2000;7:597-610.
- [15] Cheetham B, Charbonneau G, Giordano A, Helisto P, Vanderschoot J. Digitization of data for respiratory sound recordings. *Eur Respir Rev* 2000;10:621-4.
- [16] Vannuccini L, Earis JE, Helistö P, et al. Capturing and preprocessing of respiratory sounds. *Eur Respir Rev* 2000;10:616-20.
- [17] Charbonneau G, Ademovic E, Cheetham B, Malmberg LP. Basic techniques for respiratory sound analysis. *Eur Respir Rev* 2000;10:625-35.
- [18] Earis JE, Cheetham B. Current method used for computerised respiratory sound analysis. *Eur Respir Rev* 2000;10:586-90.
- [19] <http://www.ftelemedecine-alsace.fr/accueil.php>, 2007.
- [20] Andrès E, Reichert S, Gass R, Brandt C. A French national research project to the creation of an auscultation's school: The ASAP project. *Eur J Intern Med* 2008; in press.
- [21] Andrès E, Brandt C, Gass R. De l'intérêt de caractériser les sons de l'auscultation pulmonaire à la création d'une école de l'auscultation. ... *Presse Med* 2008;37:925-7.