

Les stéthoscopes électroniques en 2016. Quel outil pour l'Angiologue ?

Titre anglais ?

Par Emmanuel Andrès (1,2), Raymond Gass (3), Christian Brandt (4)

Liens d'intérêt : aucun.

Résumé

Depuis l'invention du stéthoscope et la description de la sémilogie auscultatoire par le Docteur Laennec, ces derniers ont peu évolué. Toutefois, des progrès ont été réalisés ces dernières années tant dans le perfectionnement des outils d'écoute, avec la mise à disposition de stéthoscopes électroniques, que dans l'analyse et la description des signaux auscultatoires, faisant espérer un regain d'intérêt pour la sémilogie auscultatoire. Depuis quelques années, la sémilogie auscultatoire et le stéthoscope sont ainsi entrés dans le XXI^e siècle avec la mise au point de stéthoscopes électroniques communicants et « intelligents ». Dans ce cadre, il nous a donc paru intéressant de réaliser un état de l'art sur cette thématique, avec une analyse des données de la littérature et d'Internet.

Mots-clés : *Stéthoscope, Auscultation, Stéthoscope électronique, Stéthoscope communicant, Stéthoscope intelligent.*

Abstract

Invention of stethoscope and description of its sounds by Doctor René Laennec was a giant step for Medicine, but since evolution is not so important. However, many progress were made these last years concerning both improvement of the tools of listening and analysis of description of signals. This fact induces a great hope for a renewed interest for auscultation. So, since a few part of this 21th century, examination of patients involves this so communicating and "intelligent" electronic stethoscope. In this new context, considering possibility of gain for the singular colloquium between doctor and his patient, it seemed to us necessary to make an analysis of such phenomenon.

Keywords: *Stethoscope, Auscultation, Electronic stethoscope, Communicating stethoscope, Intelligent stethoscope.*

(1) Service de Médecine Interne, Diabète et Maladies métaboliques, Clinique Médicale B, CHRU de Strasbourg, Strasbourg

(2) Laboratoire de Recherche en Pédagogie des Sciences de la Santé, Faculté de Médecine, Université de Strasbourg (UdS), Strasbourg

(3) Chercheur indépendant, membre distingué de l'Académie Technique Alcatel Lucent, Bolsenheim

(4) Service de Cardiologie, CIC, CHRU de Strasbourg, Strasbourg

Correspondant :

Pr E. Andrès, Service de Médecine Interne, Diabète et Maladies Métaboliques, Clinique Médicale B, CHRU de Strasbourg, 1 porte de l'Hôpital, 67091 Strasbourg Cedex, France. Tel : 3-33-88-11-50-66. Fax : 3-33-88-11-62-62. E-mail : emmanuel.andres@chru-strasbourg.fr

Introduction

Ces dernières années, la Médecine a considérablement changé et « l'art médical » a laissé la place à la « médecine factuelle » ou *evidence-based medicine*, tout comme le diagnostic médical tend à délaisser les données de l'examen clinique au profit de celles issues des examens complémentaires. Le fait d'examiner un patient, d'utiliser un stéthoscope, apparaît ainsi pour nombre de patients, voire de Praticiens, comme dépassé voire obsolète... [1]. Savoir distinguer les sons ou bruits normaux et anormaux (murmure vésiculaire, crépitant, souffle cardiaque...) reste néanmoins capital en pratique du quotidien pour le diagnostic médical, en particulier pour l'Angiologue qui est amené à prendre en charge des patients vasculaires et cardiaques !

Depuis l'invention du stéthoscope et la description de la sémiologie auscultatoire par le Docteur Laennec (figure 1) [2], ces derniers ont peu évolué [3]. Toutefois, des progrès ont été réalisés ces dernières années tant dans le perfectionnement des outils d'écoute, avec la mise à disposition de stéthoscopes électroniques, que dans l'analyse et la description des signaux auscultatoires, faisant espérer un regain d'intérêt pour l'auscultation [4].

Dans ce cadre, il nous a donc paru intéressant de réaliser un état de l'art les stéthoscopes électroniques actuellement disponibles, cet outil étant indispensable en Angiologie.

Stéthoscopes électroniques de première génération

Les stéthoscopes électroniques actuellement disponibles sont susceptibles de communiquer et d'interagir avec leur environnement électronique : ordinateurs, *Smartphone*..., via la technologie *Bluetooth* voire *Wifi* (stéthoscope communicant) [6]. Pour les plus avancés, ils bénéficient en outre de systèmes d'analyse mathématique et informatique et de description des sons auscultatoires, permettant la visualisation de ces derniers, et une aide au diagnostic (stéthoscopes intelligents). Les caractéristiques principales et données utiles pour le Praticien seront présentées dans la suite de cet article par ordre alphabétique, en tenant compte du nom du fabricant.

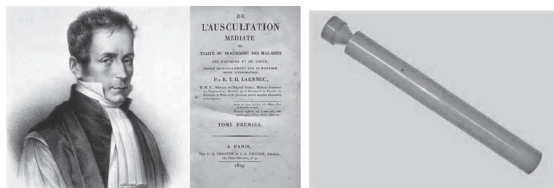


Figure 1 : Portrait de René Laennec. Traité de l'auscultation médiate, Paris 1819 [2]. Modèle de stéthoscope proposé par Laennec. C'est un exemplaire de la version originale.

Adscope

Le stéthoscope électronique *Adscope* propose une amplification acoustique sans bruits parasites avec 3 modes de fréquence (Cloche [15-200 Hz] : pour les sons cardiaques ; Diaphragme [100-500 Hz] : pour les sons pulmonaires ; et Large Bande [15-4000 Hz]) et 8 niveaux de volume (figure 2) [6]. Il permet une amélioration des caractéristiques de transmission des sons à hautes et basses fréquences, grâce à l'utilisation d'un film piézo polymère breveté sur le microphone. Il est disponible au prix de 180 €.



Figure 2 : Stéthoscope *Adscope* [6].

Andromed [AND1

En 2002, la Société *Andromed* a mis sur le marché l'*Androscope i-stethosMC*, un stéthoscope électronique qui permet l'auscultation à distance du cœur et des poumons [7]. Ce dernier peut être raccordé au module d'enseignement *Androscope* pour l'écoute simultanée de sons biologiques (figure 3). *Andromed* a également développé un capteur complémentaire : *Androsonix*.

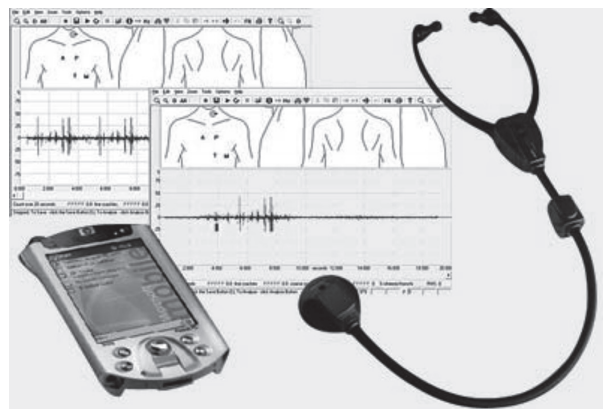


Figure 3 : Stéthoscope électronique *Androscope i-stethosMC* et module d'enseignement *Androscope* [7,8].

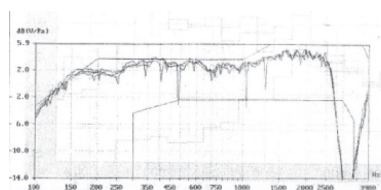


Figure 4 : Analyse de la courbe de réponse d'un stéthoscope *Androscope i-stethosMC* (données de M. R. Gass issues de la nouvelle baie de télé phonométrie d'*Alcatel-Lucent* à Illkirch, France).

Compatible avec l'*Androscope i-stethosMC*, le capteur *Androsonix* permet : la mesure des fonctions pulmonaires et du rythme respiratoire en continu à travers *Androflo* ; et une estimation de la pression artérielle pulmonaire de façon non-invasive via *Androgram*. Le module *Androlink* permet une surveillance en continu de ces différents paramètres et offre ainsi un premier système multiparamétrique de télésanté à domicile [7, 8].

La figure 4 représente la courbe de réponse de l'*Androscope i-stethosMC*. Elle a été mesurée à l'aide de la baie de mesure de télé phonométrie du Laboratoire d'*Alcatel-Lucent* à Illkirch (France).

L'analyse de la courbe de réponse de l'*Androscope i-stethosMC* montre que cette dernière est acceptable avec un aspect relativement plat entre 150 et 2500 Hz [9]. C'est bien meilleur et moins aléatoire que le *JABES* que l'on verra plus loin, mais ça ne semble pas optimal pour un équipement d'analyse automatique. En effet, si l'on souhaite restituer les sons de la manière la plus fidèle possible, et si l'on souhaite faire une analyse automatique de signaux (pour une aide au diagnostic), il est utile d'avoir une courbe de réponse plate dans la plage de fréquence qui nous concerne, à savoir à partir d'une vingtaine de Hz (en-dessous, les microphones sont très onéreux !) pour la fréquence basse. La fréquence haute de 4000 Hz est un bon compromis, dans la mesure où les signaux que nous avons pu observer ont très peu d'énergie au-delà de 4 kHz.

Biosignetics [BIO]

Stricto sensu *Biosignetics* ne commercialise pas de stéthoscope mais des outils logiciels utiles dans le domaine de l'auscultation. Les logiciels *Biosignetics* sont basés sur le logiciel *Bsignal* qui est capable de lire les signaux acoustiques : sons et vibrations ou toutes autres données dynamiques telles que celles issues de : l'ECG, l'EEG... mais également d'autres signaux biologiques [10]. Ce dernier est capable de traiter et d'évaluer les caractéristiques de la signature acoustique temps et fréquence [10]. Un outil de type cardio-phonographe permet de visualiser les sons

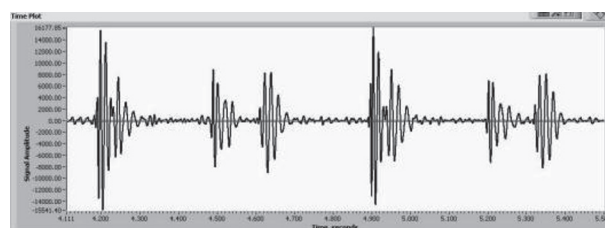


Figure 5 : Cardio-phonogramme obtenu à l'aide d'un stéthoscope *Welch Allyn* et du système *Biosignetics*. Il permet de visualiser dans le temps les différents sons captés, B1, B2 et souffles cardiaques dans le cadre d'une auscultation cardiaque [10].

cardiaques, de les enregistrer en temps réel et de les écouter en utilisant le système acoustique de l'ordinateur et des écouteurs (figure 5). Il permet de présenter des sons cardiaques, le niveau du souffle, l'intensité et la hauteur. Ce système semble destiné aux Médecins Généralistes et étudiants en Médecine.

Le système de visualisation de la signature énergétique cardiaque présente la façon la plus complète d'analyser la mécanique énergétique des sons cardiaques, sous forme de cardio-spectrogramme (figure 6) [9]. Cela permet la détection instantanée des anomalies et le détail de la force et de la hauteur des variations pour chaque composante du son et du souffle.

Le système proposé par *Biosignetics* est un système non-invasif conçu pour : la visualisation, la mémorisation, l'écoute et l'impression des données sonores cardiaques (à travers le logiciel *Word*) [10]. Il faut souligner que les logiciels *Biosignetics* ne sont pour l'instant que disponibles sur PC.

Les sons cardiaques peuvent être enregistrés en temps réel à travers la carte son de l'ordinateur ou une carte son externe. Ils peuvent être annotés (format. *txt*). Ils peuvent

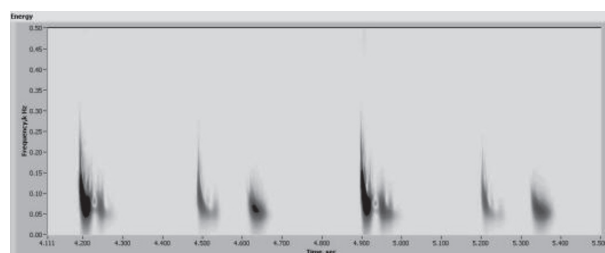


Figure 6 : Cardio-spectrogramme obtenu à l'aide d'un stéthoscope *Welch Allyn* et du système *Biosignetics*. Il permet de mettre en évidence l'énergie liée aux différents sons captés, ici B1 et B2 dans le cadre d'une auscultation cardiaque [10].

être stockés via un logiciel *Excel*. Ils sont sauvegardés au format *wav* pour une écoute ultérieure et peuvent également, à travers ce format, être échangés pour des avis extérieurs. Ces sons cardiaques ou des segments de ces derniers peuvent être entendus au travers du système audio de l'ordinateur. Les logiciels *Biosignetics* permettent surtout une détection et une visualisation de B1, B2, des souffles cardiaques et des marqueurs B3 et B4 [10]. Ils permettent une suppression des bruits parasites.

Les sons cardiaques peuvent être collectés en utilisant un stéthoscope électronique ou des sons cardiaques disponibles dans des bases de données. Ce système a ainsi été testé avec les stéthoscopes suivants: *Welch-Allyn (Meditron)*, *ThinkLabsmedical ds32a*, *Andromed (Philips)*, *Littmann 3M E4000*, *Cardionics E-scope*.

Cardionics [CAR1] [CAR2]

La Société *Cardionics* dispose d'un système d'auscultation avec un stéthoscope électronique, utilisable pour de la télémédecine *SimulScope* [11]. Le système principal est composé d'un stéthoscope électronique dont les informations sont transmises en infrarouge. La personne désirant écouter les sons utilise un casque infrarouge *HeartMan*. Le système dispose de 8 filtres qui permettent l'atténuation ou l'augmentation de 8 différentes bandes de fréquences (comme par exemple accentuer le murmure) [11]. Par ailleurs, *Cardionics* dispose également d'un autre système qui met en plus à disposition des praticiens un ECG.

Mise à jour 2013, le site de *Cardionics* propose : le stéthoscope *E-Scope modèle médical* à 335 \$ (figure X) et un *modèle EMS* avec casque pour 575 \$ (figure 7) [10]. Ce dernier a été développé pour une utilisation en environnement bruité, tel que les ambulances et autres véhicules d'intervention.

La notice du stéthoscope développé par *Cardionics* indique une amplification dans la plage entre 100 et 200 Hz. Nous avons pu constater lors de nos études dans le cadre des projets *ICARE*, *STETAU* et *ASAP* que cette plage était insuffisante pour caractériser un son auscultatoire [11].



Figure 7 : Stéthoscope électronique *Cardionics* modèle *EMS* avec casque *HeartMan* [11].

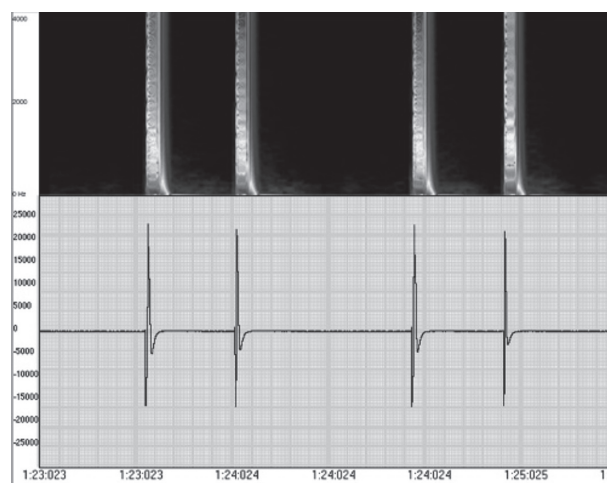


Figure 8 : Cardio-phonogramme et spectrogramme issus d'un signal cardiaque prélevé par un stéthoscope *Cardionics*, à l'aide d'un logiciel développé par *Alcatel* (démontré à *Med-e-tel 2007*). La courbe du haut est le spectrogramme du signal, et le courbe du bas le cardio-phonogramme.

Toutefois, ces produits qui reproduisent le comportement des stéthoscopes acoustiques, sont tout à fait adaptés à une utilisation par un professionnel de santé. Néanmoins, ils ne conviennent pas au déploiement d'outils de prélèvement à des fins de télémédecine ou de constitution de bases de données pour l'analyse automatique des signaux. La figure 8 illustre le comportement des filtres proposés par ce stéthoscope. Pour sûr, le signal est propre... mais difficile à interpréter. On a supprimé le bruit, pour sûr, mais aussi les bruits et souffles éventuels !

CADIscope

Le stéthoscope électronique *CADIscope* permet une auscultation selon les modes : cœur, poumons ou entéro. Il est couplé à un ECG dont les 3 bornes sont sur le pavillon du stéthoscope. Il permet la visualisation des bruits du cœur (cardiogramme) et de l'ECG (figure 9) [12]. Il est disponible au prix de 510 \$.

CareTone

Le *CareTone* est commercialisé par *American Telecare Inc.*, dans le Minnesota comme produit homologué dans le domaine de la télésanté [13]. La communication avec un équipement de stockage et ou de traitement se fait au moyen d'une liaison série ou RJ-45 pour la transmission sur les réseaux de données (*LAN* et *Internet*). Comme la plupart des équipements classiques, le stéthoscope offre un mode cloche (20-250 Hz) et un mode diaphragme



Figure 9 : Stéthoscope électronique CADIscope [12].

(20-500 Hz) (figure 10) [13]. Le constructeur insiste sur la compression qui est faite sur les signaux auscultatoires, pour ne consommer que 9 600 bits/s sur le réseau. C'est une solution propriétaire et un peu obsolète ! La solution complète s'appuie sur un émetteur, un récepteur, un adaptateur réseau et un serveur, le tout accessible à 2 695 \$.



Figure 10 : Système de collecte des sons développés par CareTone.

JABES Electronic Stethoscope, RDSM

JABES Life Sound System est un système auscultatoire utilisant le stéthoscope électronique *JABES Electronic Stethoscope* et logiciel *JABES Life Sound Analyzer* [14, 15]. Il permet d'amplifier les sons corporels jusqu'à 20 fois. Une telle amplification permet d'entendre des signaux, qui sont normalement non perçus pour un stéthoscope acoustique, comme les pulsations cardiaques d'un fœtus de 5 mois. Le *JABES Life Sound System* est a priori suffisamment sensible pour que les patients n'aient pas à enlever leurs vêtements. Les bruits parasites induits par le tremblement des mains et le son ambiant sont supprimés. Le stéthoscope *JABES Electronic Stethoscope* offre différents modes d'auscultation : Cloche (Bell), Diaphragme (Diaphragm) ou Large Bande (Wideband) [14, 15]. Il a 7 niveaux de volume. Les réglages se font à l'aide de boutons-poussoirs sur le manche du pavillon. Le *JABES Electronic Stethoscope* a été développé dans le but d'imiter le poids et l'aspect d'un stéthoscope conventionnel comme l'illustre la figure 11.



Figure 11 : Aspect du stéthoscope électronique *JABES Electronic Stethoscope* [14, 15].

Le logiciel *JABES Life Sound System* permet au médecin d'enregistrer les sons corporels des patients directement sur son PC pour la consultation du cardio- ou pneumophonogramme [14, 15]. De plus, les sons du cœur, des poumons et la pulsation cardiaque peuvent être visualisés en temps réel, comme l'illustre la figure 12. Les sons corporels captés en analogique peuvent être enregistrés sur un PC, via la liaison micro et la carte son du PC, en format MP3, directement stockés ou enregistrés sur CD. Une ana-



Figure 12 : Capture d'écran d'un cardio-phonogramme issu du *JABES Life Sound System*.

lyse ultérieure est possible. Les sons peuvent être envoyés sur *internet* pour une deuxième opinion ou dans le cadre d'une étude clinique. *JABES Life Sound System* inclut une base de données de sons auscultatoires.

La figure 13 représente les courbes de réponse d'un stéthoscope *JABES* dans ses 3 modes (*données personnelles de M. R. Gass*). On constate que les modes diaphragme et large bande ont une courbe de réponse à peu près plate entre 450 et 2000 Hz, puis les courbes d'effondrent d'environ 20 dB. La courbe de réponse du mode cloche est correcte entre 150 et 300 Hz et en tout cas, elle est très atténuée par rapport aux 2 autres. Ainsi, ce genre d'équipement peut être satisfaisant pour une utilisation individuelle (médecin dans son cabinet), mais pas pour une opération de collecte, comparaison, et d'analyse des sons (recherche clinique). En effet, il est impossible de connaître l'état du programmeur de mode, et donc la courbe de réponse du stéthoscope au moment de l'enregistrement. Il n'est pas non plus possible de connaître le réglage du volume de l'ampli. En outre, les courbes de réponse ne sont pas identiques entre 2 équipements différents. Il est donc illusoire d'imaginer pouvoir corriger le signal enregistré pour aligner les différents enregistrements sur une même référence.

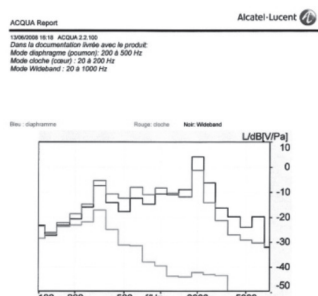


Figure 13 : Analyse de la courbe de réponse d'un stéthoscope *JABES*, suivant ses 3 modes de collecte des sons auscultatoires (*données de M. R. Gass* issues de la nouvelle baie de télé phonométrie d'*Alcatel-Lucent* à Illkirch, France).

Par ailleurs, ce stéthoscope fournit des sons analogiques [14, 15]. Il convient donc de connaître également les caractéristiques de l'équipement de numérisation. En effet, la numérisation par certains équipements de type PC introduit un bruit non négligeable et qui lui est propre. Enfin la connexion entre le stéthoscope et l'équipement de type PC est filaire. Il est à noter que ce système, fabriqué par le Coréen *GS TECHNOLOGY CO., LTD.* est accessible au prix de 299 à 389 \$.

3M Littmann

La société *3M Littmann*, qui est un acteur leader dans le domaine des stéthoscopes médicaux, propose un stéthoscope électronique le *3M Littmann Electronic Stethoscope Model 4100WS* (figure 14) qui est commercialisé au prix de 465 à 674 \$ [16]. Ce dernier propose une amplification de 18 fois le signal capté, ainsi qu'une solution brevetée par *3M* pour supprimer le bruit du pavillon. On y retrouve les possibilités d'imiter le fonctionnement des stéthoscopes acoustiques, avec des filtres *Bell* (20-200 Hz), *Diaphragm* (100-500 Hz), and *Extended Range* (20-1 000 Hz).

Le 4100 permet bien sûr d'enregistrer et de stocker jusqu'à 6 signaux, puis de les transmettre en infrarouge vers un autre stéthoscope 4100 (éducation, diagnostic partagé) [16]. La visualisation, l'écoute et le partage des sons peuvent se faire par la suite, une fois que les sons auront été transmis vers un équipement de type PC. Cela signifie que l'aide indéniable qu'apporte la « visualisation » des sons ne semble pas être possible pendant l'ausculta-

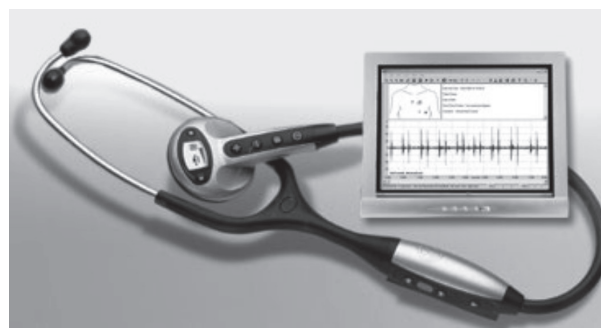


Figure 14 : Stéthoscope électronique *3M Littmann Electronic Stethoscope Model 4100WS*, avec visualisation du signal acoustique sous forme de cardio-phonogramme, dans un 2^e temps, après transmission à un PC [16].

tion.

RDSM I-Scope 200

L'*I-Scope 200* de *RDSM* est un stéthoscope électronique classique, dans ce sens qu'il amplifie le signal (x 20), et le



Figure 15 : Stéthoscope électronique *RDSM I-scope 200* [17].

filtre dans 3 modes, cloche (20-500 Hz), ou diaphragme (100-1 500 Hz) ou étendu (20-1 500 H), pour ausculter le cœur, les poumons, et l'abdomen (figure 15) [17]. Le fabricant est le coréen *Dongjin Medical Co., Ltd*. Le stéthoscope est disponible au prix d'environ 200 \$.

Stethoflux

Stethoflux est un produit couplant stéthoscope acoustique et doppler intégré à émission continue [18]. Il possède 2 modes d'utilisation. En mode stéthoscopique, il permet une écoute acoustique de qualité. En mode doppler, il offre la possibilité à partir d'un doppler continu avec sonde intégrée et une écoute du signal audible aux oreillettes.

Stethographics [STG]

Les travaux les plus pertinents sur le stéthoscope électronique ainsi que sur les outils de visualisation,



Figure 16 : Système de capture des sons, développé par *Stethographics*, sous forme de coussin équipé de microphones permettant de capter simultanément les sons pulmonaires ou cardiaques, en différents points sur la face postérieure du thorax [20].

d'éducation et d'aide au diagnostic ont été réalisés par le Dr R. Murphy, fondateur de la société *Stethographics*, basée à Boston [19]. La Société *Stethographics* proposait : un stéthoscope électronique, avec connexion via une prise jack à un équipement de type PDA ou PC; et un coussin équipé de microphones permettant de capter simultanément les sons pulmonaires ou cardiaques, en différents points sur la face postérieure du thorax (figure 16) [20]. Cette technologie permet de réaliser une cartographie 3D des poumons afin de localiser précisément les sources par exemple des crépitations [20]. Le produit n'est plus commercialisé par *Stethographics*, mais on peut encore trouver des équipements chez certains revendeurs.

Le logiciel développé par *Stethographics* permet de capturer, afficher, réentendre, et analyser des sons auscultatoires [20]. Il a été prouvé efficace dans l'évaluation de maladies cardiaques, pneumonies, asthmes, et BPCO [20]. Il fournit un résultat objectif en complément d'une auscultation classique avec : un affichage du signal temporel (cardio-phonogramme) (figure 17) et une automatisation du comptage des gros crépitations, des crépitations fins, des ronchi et des sibilants.

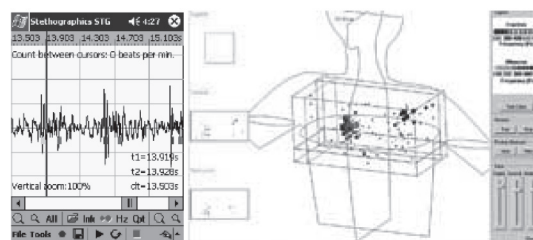


Figure 17 : Cardio-phonogramme issu du logiciel *Stethographics* et représentation en 3 dimensions de crépitations par le système *Stethographics*, ce qui permet de localiser un foyer de condensation, ici de pneumonie [20].

Au-delà des outils de visualisation, *Stethographics* propose sur son site web une large bibliothèque de sons et de représentations sous forme temporelle et sous forme de spectrogramme des signaux pulmonaires ou cardiaques [20]. *Stethographics* dispose également d'une base pédagogique avec notamment une représentation en 3 dimensions, ce qui permet de localiser les foyers de condensation, par exemple de pneumonie (figure 17).

Thinklabs

Le stéthoscope *Thinklabs Medical ds32* permettait une amplification de 50 fois du signal; les possibilités de filtrage sont encore faibles, mais *Thinklabs* propose depuis 2010 la possibilité de connecter le stéthoscope à un iPhone ou à un iPod (figure 18) [21]. Un logiciel permet la visua-



Figure 18 : Stéthoscope de chez *Thinklabs* avec son logiciel de visualisation [21].

lisation des représentations temporelles et spectrales du signal. Les applications visées par *Thinklabs* sont le stockage ou la transmission du signal, à des fins d'enseignement ou de télémedecine ; il n'y a pas pour l'instant d'aide au diagnostic [21]. Le stéthoscope est commercialisé au prix de 400 à 500 \$.

Une version plus aboutie du système complet *Thinklabs One* a été développée et est disponible depuis peu [22], permettant la connexion avec les *iPhone*, *iPAD* et autres *Smartphones* Androïde, avec une amplification potentielle du son jusqu'à 100x.

TR-1/EF

Le *TR-1/EF* de *RNK products, Inc.* est un stéthoscope électronique classique, avec des filtres permettant d'imiter : le mode cloche (20 Hz – 250 Hz) et le mode diaphragme (20 Hz – 1 400 Hz). Il n'y a pas de dispositif de réduction des bruits. La connexion avec un PC se fait par un câble USB (figure 19) [23].



Figure 19 : Stéthoscope *TR-1/EF* de *RNK products, Inc.* [23].

Au-delà du stéthoscope électronique, *RNK* propose une solution de télésanté qui permet de transporter les signaux auscultatoires sur le réseau téléphonique, des cliniciens qui surveillent la population de patients, des bases de données patients et un serveur de communication [23]. La solution prend également en compte la prise de poids, à l'aide d'un équipement dont une variante communique en *Bluetooth*.

Welch-Allyn

Welch-Allyn propose une gamme de produits d'auscultation, qui se compose : d'un stéthoscope l'*Elite™ Electronic Stethoscope* ; d'un stéthoscope équipé d'un adaptateur qui permet de connecter 5 casques ; et d'un outil informatique pour le stockage et la visualisation du cardio-phonogramme synchronisé avec un signal d'ECG (figure 20) [24].



Figure 20 : Stéthoscope l'*Elite™ Electronic Stethoscope* de *Welch Allyn* avec le logiciel de visualisation des sons sous forme de cardio-phonogramme, ce dernier étant synchronisé avec un signal ECG [24].

La gamme de fréquences prise en compte par le stéthoscope est de : 20 Hz à 20 kHz, avec les filtres classiques ; 20 à 420 Hz avec le mode cloche ; et 350 à 1900 Hz avec le mode diaphragme [24]. La grande particularité de ce stéthoscope est qu'il dispose, en plus, d'un ECG intégré. Cependant, aucun outil d'analyse, d'archivage ou d'affichage n'est fourni. Le matériel est accessible dans le commerce au prix de 225 à 340 \$.

Wise

Le *WISE LIFE W10* est fabriqué et distribué (240 \$) par *Sunmeditec Co., Ltd.* (4FI, *Business Incubator Cen-*



Figure 21 : Stéthoscope *WISE LIFE W10* [25].

ter, 1070, Vision College of Jeonju, Jeonju, 560-760, South Korea) (figure 21) [25]. Il propose 3 modes de fonctionnement, cloche (20-350 Hz), diaphragme (350-1 200 Hz), étendu (20-2 000 Hz). Il est équipé d'un dispositif d'atténuation du bruit, et d'une possibilité de communication sans fil (non *Bluetooth*) vers un récepteur, qui est lui raccordé au PC via *USB*, et d'un logiciel pour le stockage, la visualisation et l'analyse du signal [25]. Des photos d'écran sont disponibles sur le site du fabricant. On y retrouve la visualisation simultanée des représentations temporelles et spectrales du signal, avec une coloration particulière pour mettre en évidence les signaux pathologiques.

Zargis Acoustics Cardioscan

Zargis Acoustics Cardioscan est un stéthoscope « intelligent », qui enregistre et analyse les sons cardiaques [26]. Il repose sur un stéthoscope électronique connecté à un PC, avec une possibilité de visualisation des sons cardiaques sous forme notamment de cardio-phonogramme et cardio-spectrogramme (figure 22).

Cardioscan est un outil d'auscultation électronique, fournissant au médecin une évaluation des sons cardiaques de ces patients. L'identification des sons inclue la détection de B1, B2 et des bruits cardiaques ajoutés (souffles...). Les résultats de la validation clinique ont démontré que *Cardioscan* possède une sensibilité de 91,8 % et une spécificité de 68,0 % dans la détection des souffles cardiaques [26].

Cardioscan tutor est un système d'éducation non invasif qui analyse les enregistrements de sons cardiaques pour détecter la présence d'un murmure suspect. Le système utilise des algorithmes propriétaires pour identifier B1, B2, et les souffles cardiaques. Une interface graphique permet une représentation conviviale des résultats [26].

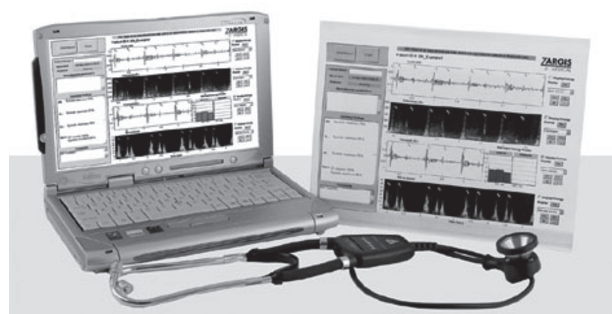


Figure 22 : Système *Zargis Acoustics Cardioscan* avec la visualisation du signal sous forme de cardio-phonogramme et cardio-spectrogramme [26].

Les stéthoscopes de seconde génération

Prototypes d'Alcatel-Lucent

Au cours du salon *Medetel 2007* [27], nous avons présenté un prototype *Alcatel-Lucent* de stéthoscope électronique communicant et « intelligent ». Le prototype d'*Alcatel-Lucent* offre 4 avantages essentiels par rapport aux stéthoscopes de 1^{re} génération et aux autres de seconde génération actuellement disponible :

- utilisation de la technologie *Bluetooth* pour la transmission en temps réel des signaux auscultatoires ;
- visualisation pendant l'auscultation du cardio- ou pneumo- phonogramme et du spectrogramme du signal auscultatoire ;
- possibilité de documenter l'enregistrement (informations relatives au patient, au médecin, à l'endroit où le son a été prélevé) ;
- compatibilité des signaux avec les réseaux téléphoniques.

Une partie de ces prototype a été développée dans le cadre de projets de recherche collaboratifs entre *Alcatel-Lucent* et diverses institutions à travers les projets que nous avons menés dans cette thématique (*STETAU* – DGE 2004 ; *ASAP* – ANR Technologie 2006 ; *ICARE* – Europe 2002 ; *PRI* – CHRU 2009 ; *MARS 500* – CNES 2010), autour d'*Alcatel-Lucent*, le CHRU, la Faculté de Médecine et l'Université de Strasbourg [5,28-30]

Les 1^{ers} prototypes qui ont été développés (figure 23) s'appuyaient sur les combinés *Bluetooth* développés par la société *Alcatel-Lucent*.



Figure 23 : Prototypes de stéthoscopes électroniques développés par la Société *Alcatel-Lucent* (données de M. R. Gass) [5].

L'électronique des combinés *Bluetooth* a été modifiée de façon à permettre une meilleure prise en compte des signaux basse fréquence, ainsi qu'on peut le voir sur la partie gauche de la courbe de réponse issue de la nouvelle baie de télé phonométrie d'*Alcatel-Lucent* à Illkirch (figure 24) [5].

Les stéthoscopes électroniques ont une courbe de réponse quasiment plate de quelques dizaines de Hertz à 4000 Hz. Ils transmettent en temps réel les signaux en *Bluetooth* vers un équipement de traitement de type PC,

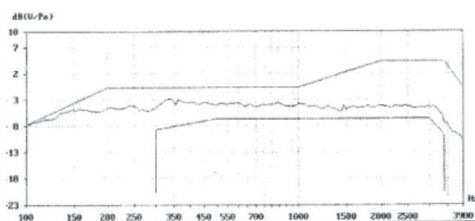


Figure 24 : Courbe de réponse des prototypes de stéthoscope électronique développés par Alcatel-Lucent (données de M. R. Gass issues de la nouvelle baie de téléphonométrie d'Alcatel-Lucent à Illkirch, France).

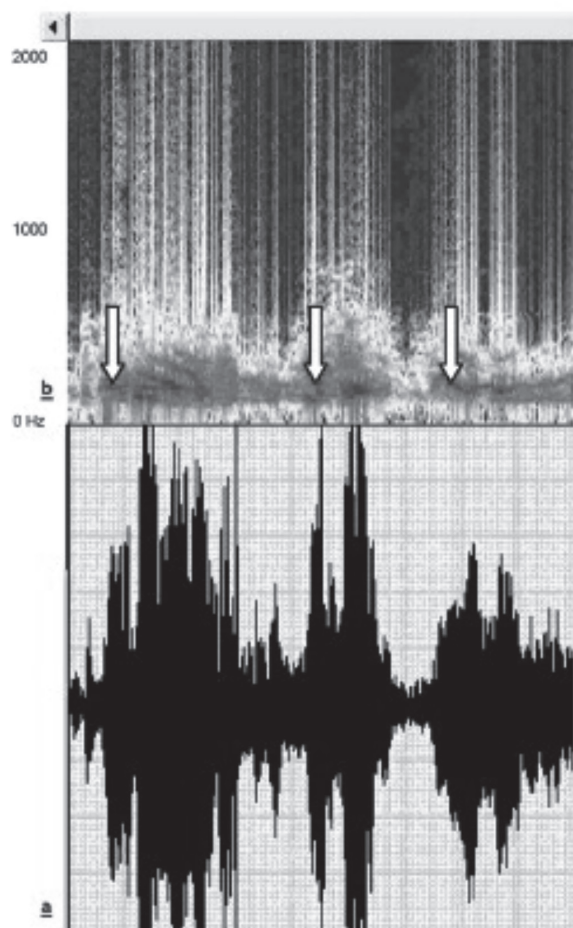


Figure 25 : Représentation d'un cycle respiratoire chez un sujet ayant une bronchopneumopathie chronique obstructive avec des phases d'inspiration, d'expiration et de repos sous forme d'un pneumo-phonogramme (2a) et d'un spectrogramme (2b). Présence de nombreux gros crépitants surtout visible sur le spectrogramme (2b) (indiqués par les flèches blanches) (figure issue du projet de recherche ASAP [équipes du Professeur E. Andrès pour le CHRU de Strasbourg et de R. Gass pour Alcatel-Lucent], convention ANR n° 2006 TLOG 21 04).

tablette, PDA, Smartphone, téléphone sur IP. L'ensemble de ces données montrent l'importance du choix du capteur (microphone) et de sa courbe de réponse qui doit être « plate » entre 10 et 4000 Hz pour capter l'ensemble du spectre des bruits cardiaques et pulmonaires humaines, ce que montre la figure 25.

La figure 25 illustre l'apport des outils de visualisation du signal sur un cycle respiratoire.

L'outil informatique permettant de visualiser en temps réel la représentation temporelle et la représentation spectrale du signal a fait preuve de son intérêt dans une démarche pédagogique [28-31]. Trente étudiants inscrits en 2^e cycle des études de médecine, à la *Faculté de Médecine de Strasbourg* (Université de Strasbourg), ont été soumis à 10 sons pathologiques respiratoires et cardiaques (issus du projet ASAP [ANR Technologie 2006]), sans et avec l'apport des phono- et spectrogramme. Les étudiants sont évalués pour les bons diagnostics par questionnaire à J0 (uniquement sur les données acoustiques) et J28 (à l'aide des données acoustiques et visuelles) [31]. A J0, on observe 45 % de bons diagnostics pour la totalité des étudiants. Pour les sons respiratoires et cardiaques, on observe respectivement 51 % et 40 % de diagnostics exactes. A J28, 80 % de bons diagnostics sont rapportés pour la totalité des étudiants ($p < 0,01$ par rapport à J0), avec 70 % de diagnostics exactes pour les sons respiratoires ($p = 0,058$) et 89 % pour les sons cardiaques ($p < 0,009$) [31].

Par la suite, divers travaux académiques ont été menés pour permettre une analyse automatisée des sons respiratoires et cardiaques, permettant par là-même une reconnaissance des bruits normaux (bruits du cœur B1, B2...) et de certains sons pathologiques (crépitants, sibilants...) et de rendre le stéthoscope relativement « intelligent » [5,28-34].



Figure 26 : Prototypes de stéthoscope électronique développés dans le cadre de projets collaboratifs incluant Alcatel-Lucent par la Société *US Battelle*.

Ce produit couvert par de nombreux brevets a été démontré dans de nombreux salons en Europe, au Canada, en Australie. Il a fait l'objet d'un projet de collaboration avec l'Université de Pittsburg aux USA (UPMC, University of Pittsburgh Medical Center). La Société US Battelle également membre de ce projet collaboratif a développé la maquette représentée sur la figure 26 [5].

3M Littmann 3200

Le 3M Littmann 3200 reprend la technologie brevetée 3M de suppression de bruit, qui permet une amplification 24x de signaux débarrassés des bruits parasites [35]. Il est équipé d'une batterie qui permet un fonctionnement continu de 60 heures. Le Littmann 3200 possède toutes les fonctionnalités du Littman 3100, mais il a toutefois une fonctionnalité supplémentaire qui est sa capacité à enregistrer des sons, les partager et les analyser [35]. L'auscultation peut simplement être enregistrée pour être réécoutée plus tard en toute tranquillité. A l'aide de la connexion Bluetooth, ces sons enregistrés peuvent être envoyés vers un PC.

Zargis Medical fournit un logiciel qui permet une première analyse rapide. Ensuite, il est possible de partager les bruits avec des collègues qui peuvent procéder à une analyse plus poussée et donner leur diagnostic. Le logiciel se compose de deux parties. La première partie permet de visualiser le signal audio et peut être très pratique pour un réglage fin. La seconde partie aide le médecin à identifier des souffles soupçonnés et à les classifier.

Avec le logiciel développé par Zargis Cardioscan, qui est fourni gratuitement avec le stéthoscope, le 3M Littmann 3200 offre donc les mêmes fonctionnalités que celles qui avaient été démontrées par Alcatel-Lucent, à savoir : la connexion Bluetooth, la visualisation des représentations temporelles (phonogramme) et spectrales (spectrogramme) du signal, la possibilité d'enregistrer un signal, l'affichage du rythme cardiaque, l'enregistrement de paramètres supplémentaires relatifs au patient et à l'auscultation, permettant de classer les signaux, le *playback* et le *playback* ralenti dans les 3 modes (Bell [20 – 200 Hz], Diaphragm [100 – 500 Hz], Extended [20 – 1 000 Hz]) (figure 27) [35]).



Figure 27 : Stéthoscope électronique 3M Littmann 3200.

Le stéthoscope Littmann offre en plus d'*Ambient Noise Reduction (ANR)*, également *Frictional Noise Reduction (FNR)*, le tout faisant appel à un traitement du signal à l'aide de méthodes d'ondelettes sophistiquées [35]. L'ANR amélioré diminue les bruits ambiants dans une ambiance bruyante, une ambulance ou une salle d'opération. Le FNR fait en sorte d'atténuer les bruits qui résultent de l'utilisation du stéthoscope (à la suite de frictions).

Par ailleurs, le logiciel développé par Zargis Cardioscan permet de mettre en évidence certaines pathologies cardiaques. Il fournit un nouveau système de détection de souffle cardiaque et des marqueurs B3/B4 d'intensité, de fréquence et de temps, développé des scientifiques Biosignetics.

Le Littmann 3200 est associé à un outil éducatif, combinant la perception audio et l'affichage et met à disposition une base de données de sons cardiaques normaux et pathologiques. La représentation graphique peut être imprimée et mémorisée automatiquement au format MS Excel [35]. Le rapport automatique des caractéristiques de travail avec MS Word améliore l'utilisation du stéthoscope électronique. Ce stéthoscope est disponible au prix de 379 à 500 \$.

Conclusions

Comme nous venons de le voir à travers cette revue de la littérature, des progrès considérables ont été réalisés ces dernières années tant dans le perfectionnement des outils d'écoute, avec la mise à disposition de stéthoscopes électroniques, que dans l'analyse et la description des signaux auscultatoires. Ces progrès ont abouti à la mise à disposition des Praticiens de stéthoscopes communicants et intelligents, faisant entrer, la sémiologie auscultatoire et le stéthoscope dans le XXI^e siècle. C'est d'autant plus vrai qu'actuellement, ces outils sont couplés avec d'autres apportant des informations utiles au Praticien, à l'analyse des signaux auscultatoires et de la situation clinique comme l'ECG et l'échographie doppler. A notre sentiment ces innovations remettent la Clinique au centre des préoccupations médicales et confortent plus que jamais les Internistes dans leur combat pour une Médecine Clinique, dont le diagnostic repose sur la sémiologie, le raisonnement et l'expérience, comme la pratiquaient nos illustres et Grands Maîtres : Laennec, Osler, Trousseau... Siguier, Godeau !

Références

- [1] Andrès E, Gass R, Brandt C, Reichert S, Collet C, Nguyen G, Baldassari C. De nouveaux outils au service de l'auscultation. *IRBM* 2008 ; 29 : 337-9.

- [2] Laennec R. Traité de l'auscultation médiate. Paris 1819.
- [3] Berche P. Un siècle d'innovations en médecine « et les vingt prochaines années ». XIIe Assises Hospitalo-Universitaires, Lyon 2-3 décembre 2010.
- [4] 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.
- [5] <http://www.telemedecine-alsace.fr/>, site consulté en mai 2015.
- [6] http://www.robe-materiel-medical.com/images/files/mode_emploi_stthoscopelectronique_adscope.pdf, site consulté en mai 2015.
- [7] http://www.stethographics.com/main/products_stetho_i.html, site consulté en mai 2015.
- [8] http://www.companylisting.ca/Andromed_inc/default.aspx, site consulté en mai 2015.
- [9] Andrès E, Brandt C, Gass R, Reichert S. Nouveaux développements dans le domaine de l'auscultation. *Rev Pneumol Clin* 2010 ; 66 : 209-13.
- [10] <http://bsignetics.com/>, site consulté en mai 2015.
- [11] <http://www.cardionics.com/>, site consulté en mai 2015.
- [12] http://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf/k990809.pdf, site consulté en mai 2015.
- [13] <http://www.horizonmedical.co.uk/steth.html>, site consulté en mai 2015.
- [14] <http://www.americantelecare.com/>, site consulté en mai 2015.
- [15] <https://www.youtube.com/watch?v=J5PCakA15Yg>, site consulté en mai 2015.
- [16] <http://multimedia.3m.com/mws/media/3694480/3mtm-littmannr-stethoscopes.pdf>, site consulté en mai 2015.
- [17] http://www.digital-stethoscope.com/eng/sub02/sub02_01.htm, site consulté en mai 2015.
- [18] <http://urlmetriques.co/www.stethoflux.com>, site consulté en mai 2015.
- [19] Murphy R, Vyshedskiy A, Power-Charnitsky VA, Bana DS, Marinelli PM, Wong-Tse A, Paciej A. Automated lung sound analysis in patients with pneumonia. *Respiratory Care* 2004 ; 49 : 89-102.
- [20] <http://www.stethographics.com/>, site consulté en mai 2015.
- [21] <http://www.thinklabs.com/#!ds32-digital-stethoscope/cr76>, site consulté en mai 2015.
- [22] <http://www.thinklabs.com/>, site consulté en mai 2015.
- [23] <http://www.telehealthtechnology.org/toolkits/electronic-stethoscopes/assessment-process/product-cut-sheets/tr-1ef-telehealth-technologies>, site consulté en mai 2015.
- [24] <http://intl.welchallyn.com/apps/products/product.jsp?region=uk&tid=11-ac-100-0000000001174>, site consulté en mai 2015.
- [25] <http://telehealthtechnology.org/toolkits/electronic-stethoscopes/assessment-process/product-cut-sheets/wise-life-w10>, site consulté en mai 2015.
- [26] <http://multimedia.3m.com/mws/media/5946540/zargis-cardioscan-user-manual.pdf>, site consulté en mai 2015.
- [27] <http://www.medetel.eu>, site consulté en mai 2015.
- [28] Andrès E, Gass R, Brandt C, Reichert S, Collet C, Nguyen G, Baldassari C. De nouveaux outils au service de l'auscultation. *IRBM* 2008 ; 29 : 337-9.
- [29] Reichert S, Gass R, Brandt C, Andrès E. Analysis of respiratory sounds : state of the art. *Clinical Medicine Circulatory Respiratory Pulmonary Medicine* 2008 ; 2 : 45-58.
- [30] Reichert S, Gass R, Hajjam A, Brandt C, Nguyen E, Baldassari K, Andrès E. The ASAP project: a first step to an auscultation's school creation. *Respiratory Medicine CME* 2009 ; 2 : 7-14.
- [31] Andrès E, Brandt C, Mecili M, Meyer N. Intérêt d'une démarche pédagogique structurée associée à de nouveaux outils de visualisation des signaux auscultatoires dans le cadre de l'apprentissage de la sémiologie auscultatoire: étude prospective auprès de 30 étudiants du deuxième cycle des études médicales. *Pédagogie Médicale* 2012 ; 13 : 39-50.
- [32] Reichert S, Gass R, Andrès E. Analyse des sons auscultatoires pulmonaires. *ITBM-RBM* 2007 ; 28 : 169-80.
- [33] Moukadem A, Dieterlen A, Brandt C. Automatic Heart Sound Analysis Module Based on Stockwell Transform. Applied on Auto-Diagnosis and Telemedicine Applications. *eTELEMED* 2013, 24-29 February, Nice, France.
- [34] Moukadem A, Dieterlen A, Hueber N, Brandt C. A robust heart sounds segmentation module based on S-transform, Biomedical Signal Processing and Control (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.bspc.2012.11.008>.