

MÉDECINE

À PROPOS DE QUELQUES BRUITS CORPORELS INTERNES

Michèle BOIRON*

RÉSUMÉ : Les bruits normaux de la respiration et du cœur sont présentés pour mieux comprendre leurs variations en cas de pathologie, car le diagnostic ne peut être établi qu'en connaissant au mieux l'origine des bruits. Les recherches sur les bruits de déglutition ont été développées par notre équipe pluridisciplinaire *Acoustique et motricité digestive* pour mettre au point une technique non invasive d'exploration de l'œsophage. Les analyses acoustico-radiologiques de ces bruits dans le reflux gastro-œsophagien et dans les cancers pharyngo-laryngés ont permis de mieux comprendre l'origine de ces bruits.

SUMMARY: Normal respiratory and cardiac sounds are presented in order to understand the influence of pathological events. To obtain a diagnosis, it is necessary to clearly define the origin of the sounds. The research on the sounds of swallowing has been assessed by our pluridisciplinary *Acoustic and digestive motility* team to develop a non invasive technique for esophageal exploration. The acoustico-radiological analysis of these sounds in patients with gastroesophageal reflux and pharyngo-laryngeal cancer leads to a better knowledge of the origin of these sounds.

L'auscultation, avec l'inspection, la palpation et la percussion, fait partie de l'examen clinique indispensable pour établir un diagnostic. Si nous prêtons une oreille attentive aux côtés d'un sujet sain au repos, nous n'entendons pratiquement rien. Pourtant le fonctionnement des organes n'est pas

* Maître de conférences honoraire en physiologie à la faculté de médecine de l'université de Tours.

silencieux, l'enveloppe corporelle fait écran aux bruits corporels internes. En plaquant l'oreille sur l'abdomen ou le thorax, nous percevons des gargouillements, des bruits rythmés : bruits du cœur, de la respiration, des intestins... Ces bruits se modifient en cas de pathologie.

Pour que ces bruits aient une valeur diagnostique, il faut connaître précisément leurs caractéristiques et leur origine. Nous nous attachons, ici, à montrer que les mécanismes de base pour ces origines diffèrent selon l'organe qui les produit. Nous présentons plus particulièrement les recherches menées à la Faculté de médecine de l'Université de Tours par l'équipe *Acoustique et motricité digestive* (1996-2013) sur les bruits de déglutition, pour développer une technique d'exploration acoustique non invasive de l'œsophage.

L'AUSCULTATION

Qui dit auscultation dit stéthoscope, une invention de René Laennec (1781-1826) à visée diagnostique. Le cylindre, ainsi que l'a dénommé son inventeur dès 1816, permet d'explorer les organes à distance en écoutant les bruits générés par leur fonctionnement, c'est l'auscultation médiate (Voisin, 2013). Laennec écrit :

Je fus consulté en 1816 pour une jeune personne qui présentait des symptômes généraux de maladie du cœur et chez laquelle l'application de la main et la percussion donnaient peu de résultats en raison de l'embonpoint... Je vins à me rappeler un phénomène d'acoustique fort connu ; si l'on applique l'oreille à l'extrémité d'une poutre, on entend très distinctement un coup d'épingle donné à l'autre bout (Laennec, 1819, t. 1, p. 7).

Il se fait apporter trois feuilles de papier qu'il enroule, forme un tube, pose l'une des extrémités sur le thorax et l'autre, à son oreille : il capte les bruits. Il perfectionne son *cylindre*, présente sa technique à l'Académie des Sciences le 23 février 1818. «De l'auscultation médiate ou traité du diagnostic des maladies des poumons et du cœur fondé principalement sur ce nouveau moyen d'exploration» paraît en 1819.

Laennec guide ses confrères, les incite même à perfectionner sa méthode, à tenir compte de la physiologie des organes et pas seulement des

résultats anatomo-pathologiques : «le médecin qui n'unirait point la physiologie à l'anatomie... n'aurait qu'une pratique chancelante et incertaine» (Laennec, t. 1, p. XIX).

Mais, si les bruits permettent d'établir un diagnostic, il faut pouvoir les reconnaître. C'est une préoccupation de chaque instant :

Ils [les bruits] sont extrêmement variés, ils ont, pour la plupart, des caractères extrêmement frappants, et les mots me manqueront souvent pour les exprimer ou du moins il me sera difficile de les décrire d'une manière assez exacte pour en donner une idée juste à celui qui ne les aurait jamais entendus. Les sensations simples ne peuvent se peindre que par des comparaisons... (Laennec, t. 2, p. 1-2).

Laennec compare les bruits à des sons familiers : «roucoulement d'une tourterelle», «deux plaques de marbre enduites d'huile que l'on sépare brusquement». Il transcrit même certains bruits sur une partition. Mais rien ne vaut l'entraînement : plus on écoute, plus on découvre.

Cette nouvelle technique d'exploration se développe et se perfectionne jusqu'aux stéthoscopes numériques actuels qui permettent de visualiser les bruits sur des écrans de smartphones. Néanmoins, sans aller jusqu'à ce matériel «clé en mains» ultra perfectionné, le stéthoscope du médecin, dans son cabinet ou à l'hôpital, reste un outil fondamental pour l'examen clinique : tout bruit anormal le mettra en alerte pour établir un pré-diagnostic¹.

LES BRUITS DE LA RESPIRATION

Quand Laennec a posé son cylindre sur le thorax, il n'a vraisemblablement pas entendu tout à fait les mêmes sons que ceux que nous percevons aujourd'hui. Le fonctionnement des poumons n'a pas changé, mais les connaissances et le matériel utilisé ont bien évolué.

1. Nous avons eu, ici, le même souci que Laennec pour présenter les bruits sur le papier que nous avons visualisés (pneumo- et cardio-phonogrammes) avec un logiciel spécifique.

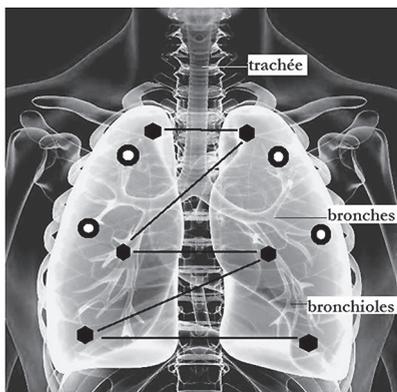
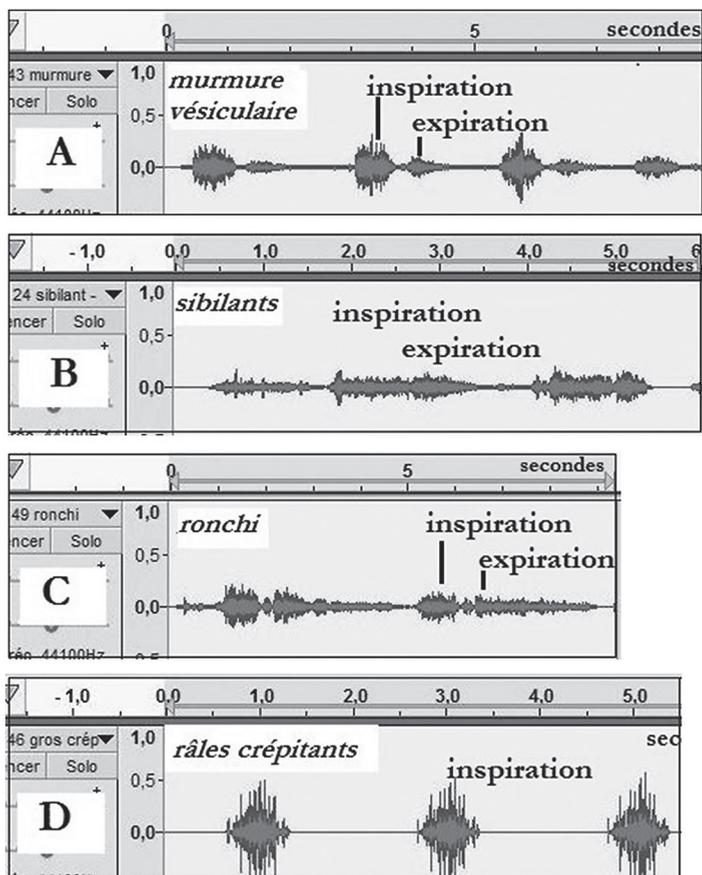


Fig. 1 : Foyers d'auscultation pulmonaire et pneumophonogrammes : normal (A) et pathologiques (B-C-D).



Les bruits normaux de la respiration

La respiration est une suite d'inspirations et d'expirations (12-15 battements/minute). L'air pénètre passivement dans les poumons grâce à l'augmentation du volume de la cage thoracique. Il atteint les alvéoles via la trachée, puis les bronches qui se ramifient et diminuent progressivement de calibre pour arriver à la partie fonctionnelle du poumon, les alvéoles. L'exploration de la ventilation s'effectue sur toute l'étendue des plages pulmonaires aux foyers d'auscultation principaux (Fig. 1).

Les bruits normaux sont audibles à la fois à l'inspiration et à l'expiration : les bruits trachéo-bronchiques de forte intensité s'atténuent au fur et à mesure des ramifications pour devenir le «murmure vésiculaire» (Fig. 1A). Ces bruits, comme le «vent qui souffle dans les feuillages», deviennent familiers pour le médecin après un long apprentissage au lit du malade. L'origine des bruits en ventilation normale est due à la turbulence du flux d'air dans ces conduits, turbulence qui varie selon leur calibre.

Si, physiologiquement, l'air traverse aisément ces conduits, tout obstacle qui entrave son écoulement va modifier les bruits qui deviendront des râles. Quelques exemples pris dans le vaste domaine de la pathologie cardio-pulmonaire vont illustrer ces propos.

Les bruits anormaux de la respiration

La terminologie des bruits respiratoires est empruntée, ici, au référentiel de sémiologie respiratoire (Bohadana et Racineux, 2009) :

1. Les *râles sibilants* sont entendus en cas de rétrécissement bronchique : la respiration devient sifflante, comme le «sifflement de l'air sous une porte» ou le «gazouillement des petits oiseaux» et produit des sons aigus, musicaux, le plus souvent continus (Fig. 1B). Ils sont caractéristiques de l'asthme et des pneumo-bronchopathies chroniques obstructives. L'origine des sibilants correspond à la vibration conjointe des parois bronchiques et de l'air intra-bronchique.
2. Les *ronchi* sont des râles générés lorsque la couche protectrice des bronches est détériorée : des sons graves, musicaux (Fig. 1C). Les bruits ressemblent à un «ronflement», ou au bruit qui se produit «en soufflant

avec un chalumeau dans de l'eau de savon». Les voies aériennes sont fragilisées, dans des bronchites chroniques, par exemple. Les *ronchi* résultent des vibrations conjointes des parois associées à la rupture du film liquide et à la turbulence de l'air.

3. Les *râles sous-crépitants* traduisent l'encombrement des voies respiratoires par d'abondantes sécrétions et/ou des replis muqueux (œdème pulmonaire, bronchite chronique par ex.). Les bruits sont discontinus, de forte amplitude et de courte durée (Fig. 1D). Laennec les comparait au «bruit du sel qui crépite dans une bassine sur un feu doux» et les praticiens d'aujourd'hui, à la «séparation d'un ruban auto-adhésif». L'origine des sous-crépitants est à rechercher dans l'ouverture et à la fermeture, par intermittence, des voies aériennes encombrées.

Ainsi, ces bruits pulmonaires ne sont rien d'autre que les bruits de l'air qui traverse des conduits normaux ou plus ou moins encombrés, rétrécis, abîmés dans les situations pathologiques. Pour les bruits du cœur, l'origine est tout autre, car elle met en jeu des éléments structuraux plus ou moins mobiles.

LES BRUITS DU CŒUR

Laennec a entendu les battements rythmés du cœur qu'il a attribués aux «contractions des chambres musculaires». Cette explication ne sera démentie qu'en 1832 lorsque Joseph Rouanet attribuera une origine valvulaire à l'un des deux bruits (Lellouch et Rullière, 1982).

Les bruits normaux du cœur

À l'auscultation, deux bruits sont perçus : «toum» (B1) et «ta» (B2) (70 battements/min). Deux ensembles séparés fonctionnent simultanément : le cœur droit et le cœur gauche, composés chacun d'une oreillette et d'un ventricule qui communiquent par une valvule auriculo-ventriculaire formée de feuillets souples et élastiques (Fig. 2). Elles s'ouvrent (pendant la diastole) et se ferment (pendant la systole) passivement sous l'effet des variations de pressions intra-ventriculaires. Ces valvules empêchent le reflux du sang dans

les oreillettes au cours de la systole. Le bruit B1 est de basse tonalité et légèrement prolongé (Fig. 2A). L'origine de B1 correspond à la fermeture quasi simultanée des valvules auriculo-ventriculaires.

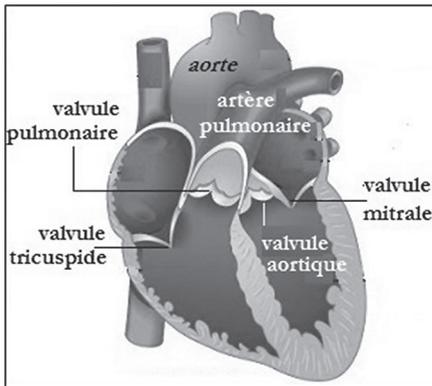
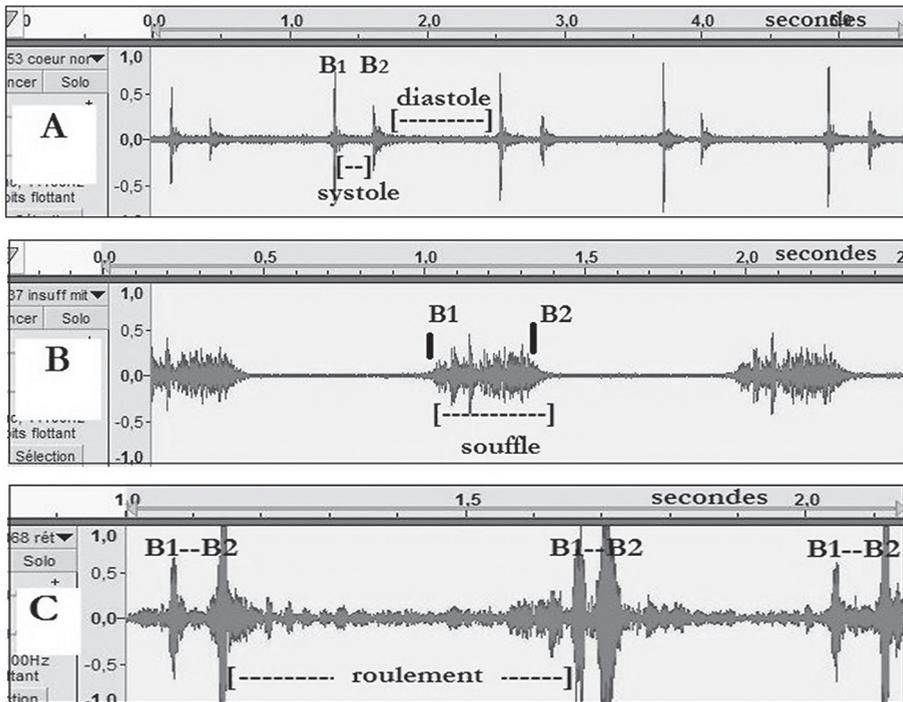


Fig. 2 : Anatomie du cœur et cardio-phonogrammes : normal (A) et pathologiques (B-C).



L'artère pulmonaire et l'aorte ont aussi un système anti-reflux assuré par les valvules ventriculo-artérielles qui se ferment en fin d'éjection pour empêcher le retour du sang dans les ventricules. Le bruit B2 est de tonalité aiguë, plus bref que B1 (Fig. 2A). L'origine de B2 découle de la fermeture quasi simultanée des valvules pulmonaire et aortique.

Des valvules étanches, des mouvements parfaitement synchronisés, c'est le fonctionnement normal du cœur. Mais des modifications anatomiques, des dérèglements fonctionnels vont changer les bruits que le médecin saura capter pour identifier les pathologies.

Les bruits anormaux du cœur

À propos de l'hypertrophie ventriculaire, Laennec écrit :

La contraction du ventricule gauche... donne une impulsion très forte et un bruit plus sourd que dans l'état naturel... La contraction de l'oreillette est très brève, peu sonore.

Ces bruits complexes sont maintenant mieux situés dans le temps grâce à la visualisation sur le phono-cardiogramme, et encore décrits par Laennec comme «le crissement du cuir neuf», «le froissement de la soie» ou «la neige écrasée sous le pas».

Pour mieux comprendre l'interprétation des bruits, nous donnons ici l'exemple du dysfonctionnement de la valvule mitrale (Granel et Disdier, 2013) :

1. Dans l'insuffisance mitrale aux causes anatomo-physiologiques multiples, rhumatismale, congénitale par ex., la fonction anti-reflux de la valvule n'est plus assurée. De ce fait, pendant la systole, une partie du sang sous pression dans le ventricule reflue vers l'oreillette. Le souffle entendu, doux, en «jet de vapeur» varie légèrement selon le degré d'ouverture (Fig. 2B). L'origine du souffle mitral se situe dans la turbulence du sang entre les feuillets incomplètement plaqués l'un contre l'autre.
2. Dans le rétrécissement mitral, le remplissage du ventricule est perturbé. Dès l'ouverture de la valvule qui a perdu de sa souplesse, un «claquement» est entendu suivi d'un bruit de «roulement» qui se renforce avant

la fermeture de ladite valvule, c'est-à-dire juste avant le B1 suivant (Fig. 2C). À l'origine du roulement mitral se trouve la turbulence du sang dans ce rétrécissement où les feuillets de la valvule ont changé d'élasticité.

Au total, les bruits cardiaques normaux ou pathologiques résultent du bon fonctionnement ou non des quatre valvules assimilables à des soupapes qui s'ouvrent et se ferment passivement sous l'effet des variations de pression intra-cavitaires. Dans le thorax, outre les bruits rythmés pulmonaires et cardiaques, nous percevons des bruits digestifs liés à la déglutition. Les recherches de l'équipe «Acoustique et Motricité digestive» ont permis de mieux comprendre leur origine et leur modification en cas de pathologies digestives.

LES BRUITS DE DÉGLUTITION

À la différence du cœur et des poumons qui fonctionnent en continu, le tube digestif, avec ses quelque cinq mètres de long, a des moments de repos qui alternent avec des périodes d'intense activité après la prise d'aliments. Intéressons-nous aux trente premiers centimètres, c'est-à-dire à l'œsophage.

Samuel Meltzer (1851-1920), médecin et physiologiste, signale, dès 1883, qu'il entend chez ses patients un «squeezing murmur» à la jonction œso-gastrique (*cardia*) environ 7 secondes après qu'ils ont avalé. Spécialiste du tube digestif, il postule que ce bruit correspond à la compression du bol alimentaire et au *cardia* lui-même (Meltzer, 1897). Depuis, aucune étude n'avait été entreprise sur ce murmure. Quelque cent ans après, notre équipe de recherche «Acoustique et Motricité digestive» étudie ce qu'elle appelle «bruit xiphoidien» pour développer une exploration fonctionnelle acoustique non invasive et atraumatique de la jonction œso-gastrique.

Les mécanismes de la déglutition

La déglutition est le passage du bol alimentaire de la cavité buccale jusqu'à l'estomac (Fig. 3). Avalé, le bol arrive dans le pharynx, carrefour des voies respiratoire et digestive. À cet instant, la glotte ferme les voies

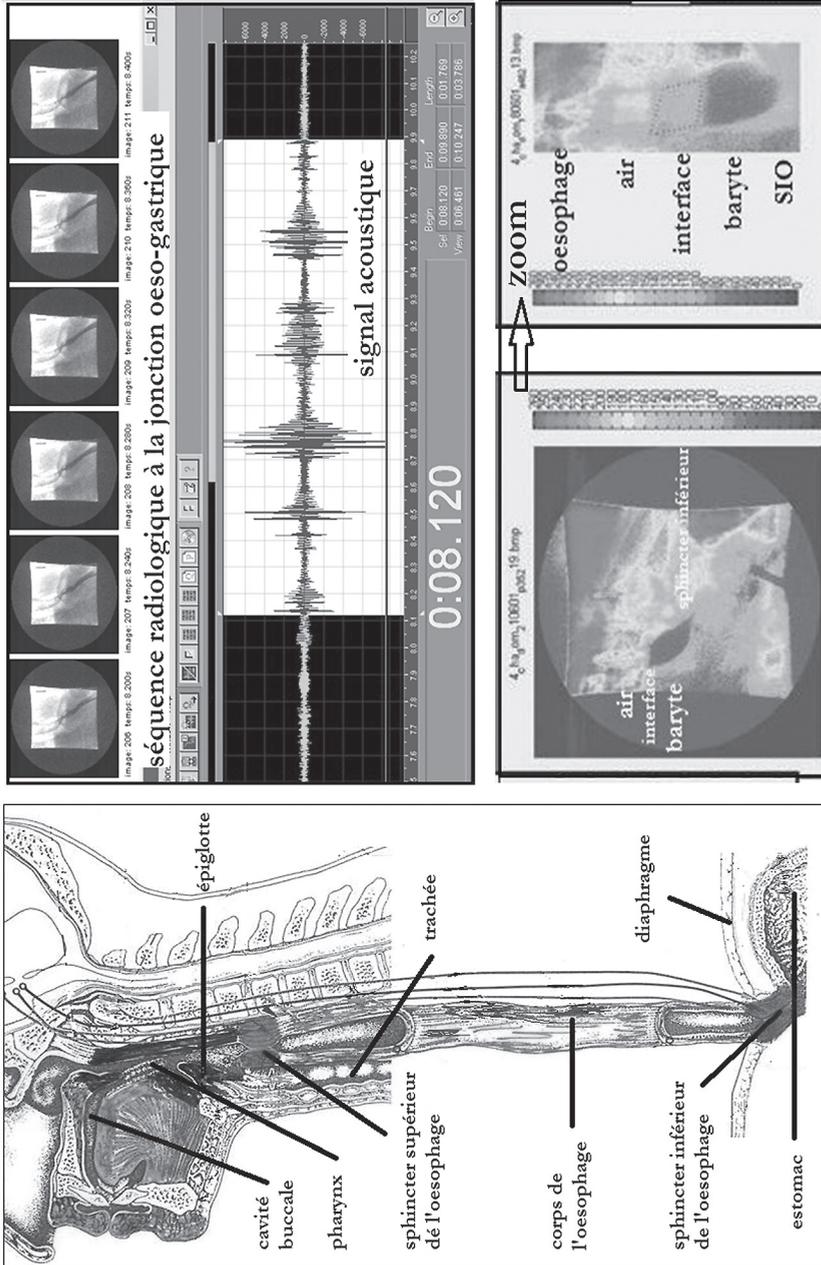


Fig. 3 : Éléments anatomiques de la déglutition (à gauche). Visualisation de l'acquisition acoustico-radiologique (en haut, à droite) et de l'analyse d'images du bol à la jonction oeso-gastrique (en bas, à droite).

respiratoires grâce, entre autres, à la bascule de l'épiglotte. Le bol peut alors traverser le sphincter supérieur de l'œsophage (SSO), puis être propulsé par la contraction de l'œsophage jusqu'au sphincter inférieur (SIO).

L'enchaînement de ces phénomènes moteurs est inéluctable, programmé par le réflexe de déglutition qui est déclenché dès que le bol est avalé. Pendant la déglutition, les deux sphincters se relâchent simultanément, moins d'une demi-seconde pour le premier et durant 5 à 6 secondes pour le second, temps nécessaire pour que le bol parcoure l'œsophage (temps de transit œsophagien). En dehors des déglutitions (au repos), les sphincters (épaississements musculaires) restent contractés : ces zones à haute pression exercent une fonction anti-reflux. Les bruits de déglutition que nous présentons, ici, proviennent de ces deux zones sphinctériennes.

Acquisition des données

Les enregistrements acoustiques sont réalisés avec deux microphones maintenus en place par des sangles : l'un placé sur le cou en regard du cartilage cricoïde, d'où l'appellation de « bruit cricoïdien » ; l'autre est intégré dans le pavillon du stéthoscope qui est, lui-même, plaqué sur le thorax sur l'appendice xiphoïde pour capter le « bruit xiphoïdien » (Boiron *et al.*, 1997).

Pour les enregistrements acoustico-radiologiques, la synchronisation des deux sources son et image a été primordiale (Dellandréa *et al.*, 2003). Les séquences d'une dizaine de secondes, dans le format classique de 24 images par seconde, ont pu être analysées avec une précision de 40 msec (Fig. 3). Le logiciel créé tout spécialement nous permettait de traiter et d'analyser les deux signaux simultanément ou séparément.

Le bruit xiphoïdien : description et origine

La technique acoustique utilisée seule nous a permis de sélectionner les bols à déglutir : eau, yaourt, purée pour la consistance et 3, 5, 10 ml pour les volumes (Boiron, Rouleau, Metman, 1997). Sur les enregistrements acoustiques, trois signaux sont à repérer : la commande verbale « avalez », le « bruit cricoïdien » et après 5 ou 6 secondes, le « bruit xiphoïdien » proprement dit.

Ce dernier est composé, pour 5 ml d'eau, de quatre groupes de vibrations espacés régulièrement (Fig. 4B).

Pour appréhender l'origine du bruit xiphoïdien, des enregistrements acoustiques ont été réalisés au cours de la manométrie œsophagienne. Les résultats ont orienté nos recherches vers l'analyse de la cinétique du bol (Boiron *et al.*, 1999). Alors, le développement de la technique acoustico-radiologique nous a paru évident, à condition de l'appliquer à des modèles de pathologie pharyngo-œsophagienne : le reflux gastro-œsophagien et son traitement chirurgical pour l'étude du bruit xiphoïdien ; le cancer pharyngolaryngé et la laryngectomie pour le bruit cricoïdien.

Le reflux gastro-œsophagien (RGO)

Le sphincter inférieur de l'œsophage (SIO) contracté en permanence en dehors des déglutitions empêche le reflux du contenu gastrique vers l'œsophage. Cette fonction anti-reflux est renforcée par le muscle du diaphragme qui entoure ce sphincter (Fig. 4A). L'incompétence de cette zone aboutit au reflux gastro-œsophagien lorsque la pression de repos du SIO est basse. De plus, une hernie hiatale est fréquemment associée : le sphincter se désolidarise du diaphragme, devient intra-thoracique entraînant une partie de l'estomac (Fig. 4A). Le traitement chirurgical consiste à repositionner correctement l'estomac et à rétablir une zone sphinctérienne fonctionnelle en l'entourant avec de l'estomac proximal (Fig. 4E).

Organisation et déplacement du bol : analyse d'images

L'analyse image par image des séquences radiologiques a permis de mieux comprendre la cinétique du bol à la jonction œsogastrique. Une petite partie de l'air apportée par la respiration reste dans le pharynx et passe dans l'œsophage au cours de la déglutition : en conséquence, le bol dégluti contient un mélange d'air et de liquide.

Nous avons montré que, lorsque la pression du SIO est normale, les deux phases du bol qui atteint la jonction œsogastrique ont le temps de décanter : l'air surnage, l'interface air-baryte est réduite au minimum, la

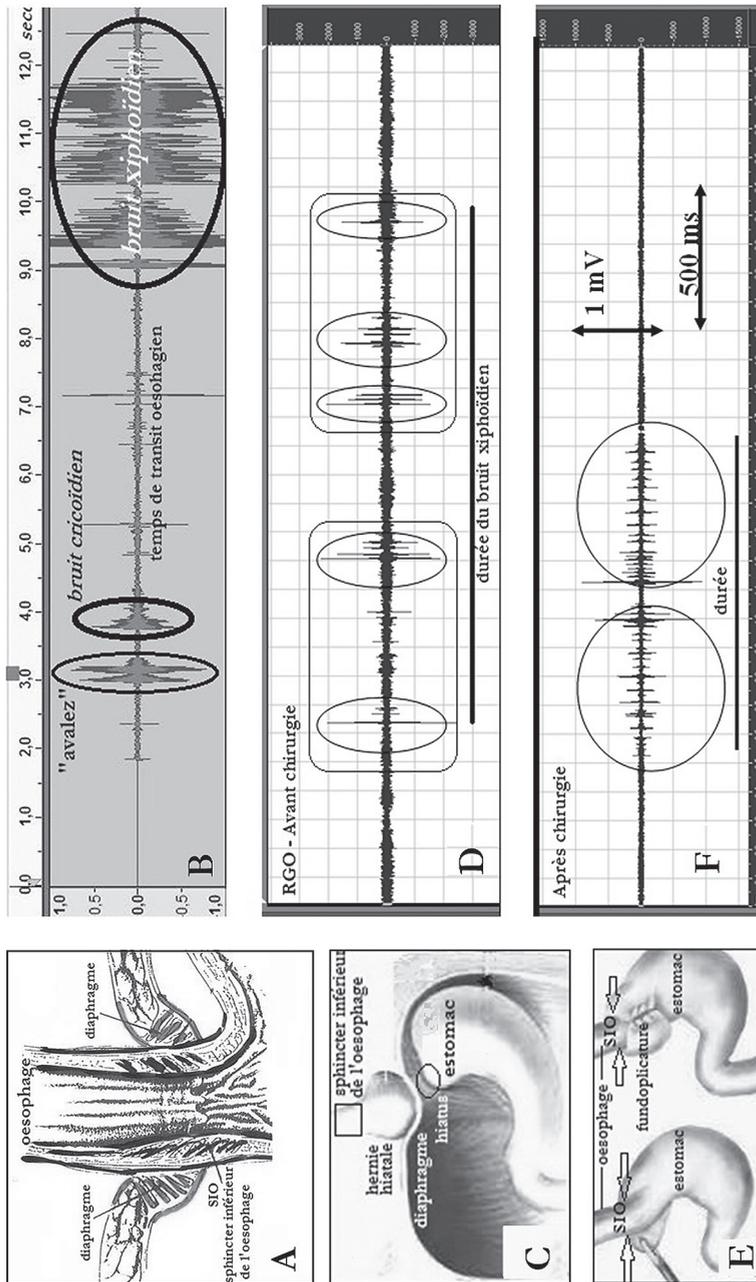


Fig. 4 : Anatomie et traces acoustiques de la jonction oeso-gastrique : normal (A-B), dans le RGO (C-D), après chirurgie (E-F).

suspension barytée est à l'entrée du sphincter. Au contraire, lorsque la pression du sphincter est faible, le bol s'engage, tel quel, sans décantation : l'interface air-baryte est d'autant plus importante que la pression est faible (Fig. 3) (Boiron *et al.*, 2009-1). Dans la genèse du bruit xiphoïdien, nous devons tenir compte de ces trois phases et des trois densités qui en découlent.

Le bruit xiphoïdien dans le reflux gastro-oesophagien et après traitement chirurgical

En cas de reflux, nous avons montré que la durée et le nombre de groupes de vibrations dépendaient de la pression et du déplacement intra-thoracique du sphincter : plus la pression est basse, plus la durée du bruit augmente et plus la hernie hiatale est importante, plus les groupes de vibrations sont nombreux. Après chirurgie, le bruit xiphoïdien tend à se normaliser (Boiron *et al.*, 2009-2). Par exemple : avant l'intervention (pression du SIO faible = 8 mmHg – distance SIO-diaphragme = 2 cm), le bruit xiphoïdien est composé de cinq groupes de vibrations (Fig. 4D). En post-opératoire, le bruit est réduit à deux groupes sur une durée diminuée de moitié (Fig. 4F).

Origine du bruit xiphoïdien : analyse acoustico-radiologique

Les temps qui encadrent, d'une part, le *bruit xiphoïdien* et ses groupes de vibrations et, d'autre part, les trois composantes du bol ingéré ont été comparés (Fig. 3). L'analyse a montré qu'aucun bruit n'était présent lorsque la suspension barytée (forte densité) s'engageait dans le SIO. Pour une pression quasi-normale du SIO, dans 85 % des cas, le bruit était produit par la phase gazeuse. L'origine du bruit xiphoïdien normal est liée aux vibrations de l'air qui s'engage dans le sphincter.

Dans le reflux gastro-oesophagien, au bruit engendré par l'air s'ajoute celui de l'interface air-liquide selon sa densité : plus l'interface est importante, plus la durée et le nombre de vibrations augmentent. L'origine du bruit xiphoïdien est double : vibrations de l'air et vibrations de l'interface. L'interface air-liquide devient alors un marqueur important dans cette pathologie œsophagienne.

Ainsi, l'étude du bruit xiphoidien nous a permis d'aborder des origines encore bien différentes : le bol ingéré doit être propulsé dans un conduit musculéux relâché qui se laisse distendre, situation complexe qui nécessite un ajustement moteur parfait. Le « bruit cricoïdien » a été étudié selon le même protocole et avec la même technique acoustico-radiologique pour des bruits aux origines encore nouvelles.

Le bruit cricoïdien normal : description et origine

Enregistré avec un microphone posé sur le cou, ce bruit cricoïdien peut parfois être entendu sans intermédiaire, dans un environnement calme, notamment lors de l'ingestion de liquide. La priorité dans le carrefour pharyngolaryngé est la protection des voies aériennes lorsqu'on avale : l'épiglotte se rabat pour fermer le larynx et les structures environnantes étirées vers le haut exercent une compression (Fig. 3).

Les analyses acoustico-radiologiques ont mis en évidence trois composantes et leurs origines pour ce bruit qui dure moins d'une demi-seconde : la première composante correspond à la montée de l'os hyoïde alors que le bol se trouve dans le pharynx ; la deuxième est due au passage du bol dans le sphincter supérieur ; la troisième, la seule audible, survient à la libération des voies respiratoires par l'épiglotte qui se relève en claquant (Morinière *et al.*, 2008 ; Hammoudi *et al.*, 2014) (Fig. 5). Les origines de ce bruit cricoïdien sont à rechercher dans le frottement des structures en mouvement, aux vibrations du bol au passage du SSO, au soulèvement d'un clapet.

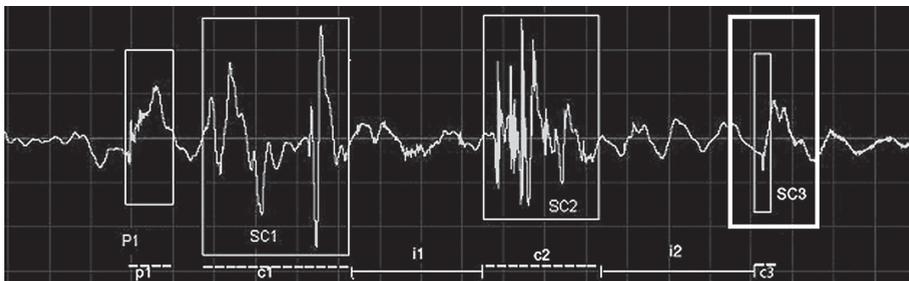


Fig. 5 : Le bruit cricoïdien normal et ses trois composantes principales (SC1 – SC2 –SC3). Après laryngectomie totale, la troisième composante SC3 disparaît (encadré blanc).

Comme pour le bruit xiphoïdien, pour approfondir l'étude, nous avons eu recours à un modèle pathologique : le cancer pharyngolaryngé et son traitement par laryngectomie.

Le bruit cricoïdien après laryngectomie

Lorsque le diagnostic de cancer est posé, selon l'importance de la zone atteinte, le chirurgien procède à la laryngectomie totale ou à l'ablation partielle supra-cricoïdienne qui préserve l'épiglotte (Morinière *et al.*, 2011). Dans le groupe des patients qui ont eu une laryngectomie partielle, les trois composantes restaient présentes avec quelques modifications dans leur durée par rapport au sujet sain. Mais, après laryngectomie totale, la troisième composante disparaît (Fig. 5). L'origine de cette troisième composante est ainsi confirmée : le claquement correspond bien au soulèvement de ce clapet stratégique.

Les recherches s'orientent actuellement vers la compréhension des dysphagies très fréquentes dans les pathologies de la sphère ORL : maladies neuro-dégénératives, maladie d'Alzheimer, cancers laryngés, etc. La détection automatique des signaux de déglutition est en cours pour objectiver l'ingestion d'un repas standard. Cette méthode non invasive d'exploration des dysfonctionnements est prometteuse (Rayneau *et al.*, 2021).

CONCLUSION

Les bruits générés par les organes sont des marqueurs de leur bon fonctionnement à condition de les avoir interprétés correctement. Ce fonctionnement est réglé à distance par le jeu de commandes nerveuses ou dans les organes eux-mêmes par le biais de structures autonomes. Mais, dès que la machine s'enraie, les bruits se modifient et deviennent des aides précieuses pour orienter le diagnostic.

Le médecin, après un long apprentissage, sait détecter le moindre bruit anormal, qu'il provienne de la « tuyauterie » de la ventilation ou des « soupapes » du cœur. Les recherches actuelles à Tours ont ciblé les bruits de déglutition, grâce à une équipe pluridisciplinaire qui a mis au point cette méthode d'exploration non invasive. L'origine de ces bruits part du simple

mouvement d'un « clapet » à la mise en jeu plus complexe de la musculature pour déplacer le bol.

De tout temps, les progrès techniques ont contribué à améliorer les connaissances physio-pathologiques. Ils facilitent aujourd'hui les explorations par des analyses automatiques plus objectives et moins chronophages. Néanmoins, l'intervention du clinicien est toujours nécessaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOHADANA (Abraham), RACINEUX (Jean-Louis) (2009), *Auscultation pulmonaire*.
www.cep-pneumo.org.
- BOIRON (Michèle), ROULEAU (Philippe), METMAN (Étienne) (1997), "Exploration of pharyngeal swallowing by audiosignal recording", *Dysphagia*, vol. 12, p. 86-92.
- BOIRON (Michèle), ROULEAU (Philippe), METMAN (Étienne) (1999), "Esophageal swallowing phase assessed by audiosignal recording: Relationship with manometry in gastroesophageal reflux disease", *Digestive Disease and Sciences*, vol. 44, p. 529-553.
- BOIRON (Michèle) *et al.* (2009), "Impaired air-liquid settling during swallowing in gastroesophageal reflux disease. A digital videofluoroscopic study", *Disease of the Esophagus*, vol. 22, p. 68-73.
- BOIRON (Michèle), BENCHELLAL (Zine), HUTEN (Noël) (2007), "Study of swallowing sound at the esophagogastric junction before and after fundoplication", *Journal of Gastrointestinal Surgery*, vol. 13, p. 1570-1576.
- DELLANDRÉA (Emmanuel), MAKRIS (Pascal), BOIRON (Michèle), VINCENT (Nicole) (2003), "Multiresolution for the detection of xiphoid sounds in noisy medical audio signal", *4th Conference focused on Video/Image, Zagreb*, p. 619-624.
- GRANEL (Brigitte), DISDIER (Patrick) (2013), *Cardiologie*, UNF3S, Université numérique médicale francophone.
- HAMMOUDI (Karim), BOIRON (Michèle), MORINIÈRE (Sylvain) (2014), "Acoustic Study of Pharyngeal Swallowing as a Function of the Volume and Consistency of the Bolus", *Dysphagia*, vol. 29, p. 468-474.
- LAENNEC (René) (1819), *De l'auscultation médiate*, Brosson et Chaudé, Paris.
- LELLOUCH (Alain), RULLIÈRE (Roger) (1982), « Un livre méconnu de cardiologie : le traité des maladies du cœur et des gros vaisseaux (1824) », *Société française d'histoire de la médecine*, vol. 17, p. 65-70.

- MELTZER (Samuel) (1897), “A further experimental contribution to the mechanism of deglutition”, *The Journal of Experimental Medicine*, vol. 6, p. 453-464.
- MORINIÈRE (Sylvain), BOIRON (Michèle), BEUTTER (Patrice) (2008), “Swallowing sound signal: description in normal and laryngectomized subjects”, *Annales d’Otolaryngologie et de Chirurgie cervico-faciale*, vol. 125, p. 1-10.
- MORINIÈRE (Sylvain), BOIRON (Michèle) *et al.* (2011), “Pharyngeal swallowing sound profile assessed after partial and total laryngectomy”, *Dysphagia*, vol. 26, p. 366-373.
- RAYNEAU (Pierre), MORINIÈRE (Sylvain) *et al.* (2021), “Automatic detection and analysis of swallowing sounds in healthy subjects and in patients with pharyngolaryngeal cancer”, *Dysphagia*, vol. 36, p. 984–992.
- VOISIN (Michel) (2013), « Tradition et modernité chez Laennec », *Académie des Sciences et Lettres de Montpellier*, p. 67-78.