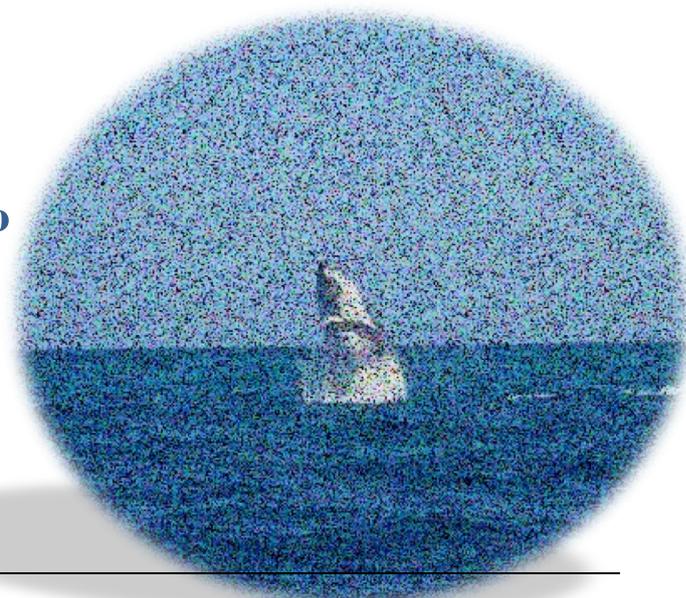


COMMENT ÉCOUTER UNE BALEINE À BOSSE ?

ALINE PÉNITOT
OLIVIER ADAM



PREMIER ACTE : ALINE PÉNITOT

La pratique de la musique concrète débute par l'écoute d'un son enregistré. Est-ce qu'il possède intrinsèquement des qualités singulières ? Est-ce qu'il peut, à la manière de la palette d'un peintre, être associé à d'autres sons pour entrer dans un processus de composition ? Nous oublions les notes, les partitions, les mélodies, l'harmonie, le rythme. Nous sommes au niveau même du son. Nous l'isolons, nous l'analysons. Et même, en le renommant selon des critères typologiques et morphologiques, nous coupons toute relation avec l'objet qui l'a généré (une tige, un ressort, un élastique dans un piano, du cristal, etc...). Nous suivons la démarche phénoménologique initiée par Pierre Henry (1927-2017) et Pierre Schaeffer (1910-1995) inventeur de la musique concrète et électroacoustique imaginée depuis les studios de la RTF dans les années 40 et 50. Pierre Schaeffer nous invite pleinement à une démarche musique-science : « Remarquons à tout le moins qu'un vide existe entre l'acoustique et la musique proprement dite, et qu'il faut le remplir par une science décrivant les sons, jointe à un art de les entendre et que cette discipline hybride fonde évidemment la musique des œuvres » (Traité des Objets musicaux, p 30-31).

A l'automne 2012, me voilà en train de faire des recherches dans la bibliothèque du centre culturel inuit de Paris, pour une pièce radiophonique commandée par France Culture et la RTBF. Je travaille sur un récit sonore de voyage à la voile dans l'océan glacial arctique sur un bateau nommé *Baloum Gween* ou baleine blanche en Breton. Olivier Adam, Professeur au CNRS, bio-acousticien, donne là une conférence sur les chants des cétacés. Les sons qu'ils proposent à l'écoute me semblent extraordinairement familiers. Nous commençons à discuter et il m'envoie ensuite par la poste sur un CD, une somme d'enregistrements baleiniers.

Au-delà de la charge émotive, me voilà bien embêtée par un des sons.

Ce son qui surgit dans mes enceintes provient d'un enregistrement fait à Madagascar sur hydrophones, sur microphones marins.

Et il s'agit d'une baleine à bosse.

Et il possède d'emblée des qualités musicales extraordinaires mais très trompeuses pour l'oreille. Des fondamentales (des notes), une durée dans les phrasées et des leitmotifs si proches de ce que les humains ont formalisé siècle après siècle à travers la notation en musique classique.

Cela en est troublant à tel point que certains scientifiques s'attardent à transposer leur écoute sur une portée. Je n'en comprends pas l'intérêt qui réduit les possibles de l'écouter. Par ailleurs notre portée (occidentale) ne comprend pas les quarts de tons (orientaux) que les fondamentales baleinières charrient et même des intervalles microtonales.

Quelques semaines plus tard, je me rends à un concert et Brice Martin, bassoniste, surgit alors sur scène. Alors même que je suis en train de travailler l'écoute des sons de baleines à bosse, je suis stupéfaite par le timbre du basson. A l'écoute de l'enregistrement des baleines à bosse, Brice Martin dira : « mais pourquoi ces baleines jouent du basson » ? Pour déceler ce qu'il le joue en profondeur une écoute électroacousticienne, un bassoniste et un enregistrement de baleine à bosse, il me faudra plusieurs années. Pour le moment, repartir dans la science et cet article audacieux qui fait la une de Science en août 1971 écrit par Roger S. Payne et Scott McVay. Un article intitulé : les chants des baleines à bosse ! Que les musiciens aient qualifié depuis longtemps de chant les sons émis par les oiseaux, c'est une chose. Mais c'en est une autre que des scientifiques, « durs », convoquent à ce point la « beauté » et la « variété de séries de sons qui se répètent avec une incroyable précision » et qu'ils affirment : « Nous appellerons une telle performance « chanter » et chaque série de sons un « chant » ».

Prenons acte de l'ampleur de l'extension de la notion même de musique au fil du XXe siècle. Mais est-ce une nouvelle irruption ou un come-back des bruits de la nature dans l'art musical ? Il est vrai que les grecs utilisaient déjà dans les chœurs des théâtres des techniques vocales pour invoquer des éléments naturels, des oiseaux, le tonnerre, le vent... Plus tard le bourdon des musiques anciennes n'est pas sans traduire les « bruits de fonds » de l'environnement. De nombreux instruments sont inventés pour « bruite » la nature : des appeaux, la machine à

vent, nombre de percussions. Jusqu'au XXe siècle, une foule de compositrices et de compositeurs s'attardent sur les relations entre la musique et la nature. Mais au fil des siècles, l'émotion musicale s'attache à esthétiser la nature et s'en distancie à grand renfort d'instruments acoustiques, d'impressions mélodiques, rythmiques, harmoniques, polyphoniques, tonales, modales... jusqu'à en formater très fortement notre écoute. Le philosophe Daniel Parrochia soutient fermement que : « L'art occidental a longtemps établi un fossé entre la nature et la culture que la musique a sans conteste contribué à creuser. » Et ce jusqu'à Debussy (1862-1918) qui se « fait une religion des mystères de la nature » et nous laisse *La Mer*. Il faut en effet attendre Bela Bartok (1881-1945) avec *Mikrokosmos* ou *Journal d'une mouche pour piano* et Igor Stravinsky (1882-1971) avec *L'Oiseau de Feu* ou *le Rossignol*, pour que s'amorcent sans conteste un tournant. Par leur ingéniosité, ils introduisent des sons inouïs dans leurs compositions. Ils ouvrent ainsi la voix à la radicalité du compositeur Luigi Russolo et son manifeste futuriste : *l'Art des bruits* publié en 1913. Il affirme que l'oreille n'est pas seulement familiarisée avec la musique dans son acception classique, mais aussi avec tous les bruits du quotidien (nature, ville, monde du travail...). Il est temps de « substituer le nombre limité de sons que possède l'orchestre aujourd'hui par l'infinie variété de sons contenue dans les bruits, reproduits à l'aide de mécanismes appropriés ». Il invente une foule d'instruments et tente de ranger les sons-bruits dans six grandes familles (Grondements, sifflements, murmures...).

Le grand come-back des sons-bruits va bouleverser l'écriture musicale. La musique n'est plus celle que l'on reçoit dans le monde privilégié des concerts. Pendant qu'Olivier Messiaen (1908-1992) va jusqu'à dire qu'il réapprend la musique à partir des chants des oiseaux, François Bernard Mâche (1935-) convertit le modèle sonore brut d'origine naturel en modèle musical grâce à des enregistrements sonores. La lutherie analogique puis numérique, la recherche en informatique musicale, l'invention de synthétiseurs, de sampleurs, d'interfaces renouvellent la musique à jamais. Luc Ferrari (1929-2005) va jouer un rôle considérable dans l'utilisation de sons enregistrés de la nature dans la composition. La nature ou la ville ne sont plus évoquées, elles sont matériaux de composition. Il parle alors de *musique anecdotique*, non sans provocation. *Presque Rien n°1*, composé exclusivement à partir de sons d'un micro posé au bord de fenêtre ouverte sur l'adriatique, est un des chefs d'œuvres de la musique du XXe siècle. Et nous sommes aujourd'hui attentifs à ce que le musicologue Pierre-Yves Macé appelle des « régimes de l'écoute » bien différents allant de sons bruts reconnaissables et qui nous incite à *tendre l'oreille* à un discours musical plus abstrait. Quelque chose de considérable s'est donc passé

entre *la Mer* de Debussy et *Presque Rien n°1* que Luc Ferrari composé a achevé en 1971, date à laquelle Payne et McVay publient leur article sur les chants de baleines à bosse.

La musique concrète a également débordé sur la pratique instrumentale acoustique. L'épais cursus de Brice Martin l'a mené à fréquenter au Conservatoire supérieur de Paris, la classe d'Alain Savouret en improvisation générative, basée justement sur des principes d'écoute de sons et d'invention musicale instantanée. Il a également suivi la classe de Pascal Gallois, bassoniste très créatif. Le basson est un instrument de la famille des bois formé d'un long tuyau en trois parties. Le bassoniste envoie de l'air dans un tube métallique à l'aide d'une hanche double qui consiste en deux lamelles de roseau ligaturées et vibrantes l'une contre l'autre.

Brice Martin s'amuse, imite ou interroge les sons concrets que je lui donne à entendre. Il n'hésite pas à changer rapidement de hanche, mettre un bout de plastique dans une clé ou démonter son instrument. Nous ne sommes jamais dans la note ou le rythme, mais dans le son pour lui-même. Un vocabulaire commun s'en dégage rapidement : sons fantômes, sons sur l'erre, sons multiphoniques, bruits de clés, sons itératifs, sons clairs, sons sombres, etc... sans oublier les sons pulsés.

Il développe également la technique du souffle circulaire bien connue des joueurs de didgeridoo de tout temps. Pour Pascal Gallois, elle « consiste à gonfler les joues pendant le jeu, puis à fermer le palais avec le fond de la langue. La pression d'air des joues alterne avec celle du diaphragme. Pendant l'utilisation de la pression des joues, le bassoniste inspire par le nez ». Il s'agit d'une cornemuse joufflue, dans laquelle le bassoniste peut puiser afin que son jeu soit déconnecté de sa respiration et s'il le veut dans un très long jeu sans attaque. A ce moment-là, en 2012, je ne connais encore rien de l'évolution de la recherche acoustique sur les chants de baleines depuis Payne et McVay.

Forts de toutes ces trouvailles, nous nous lançons dans un premier travail électroacoustique, dans une imitation. L'enregistrement des baleines est diffusé à Brice Martin via un casque audio, il s'attache à imiter un seul type de son que j'enregistre derrière la vitre du studio en re-recording multipiste. Ce qui signifie un enregistrement par dessus l'autre dans des pistes différentes. Nous choisissons alors cinq types de sons définis selon leur typologie et de leur morphologie. Une autre trouvaille nous saute aux oreilles : des « sons pulsés » que nous qualifions tel quel. Et enfin l'utilisation du souffle circulaire vient relier à l'écoute toutes les pistes. Brice Martin insiste pour jouer aussi les bruits de fond de l'océan grâce à « des sons salivés ».

Fidèle à la démarche du passage par l'écoute réduite, je renomme alors tous les sons de basson ou de baleines de sorte de ne pas voir dans mon logiciel de composition la source des sons mais de pouvoir les retrouver dans la sonothèque. Je fais alors une brève composition de ces sons-baleines-basson et des sons-baleines-réelles. Ni Brice Martin, ni Olivier Adam, ni moi ne savons distinguer ce qui survient du basson ou de la baleine.¹

Quelques années passent avant de discuter de nouveau avec Olivier Adam à l'occasion d'une invitation commune du Muséum National d'Histoire Naturelle en 2016. Je prends la mesure de l'état de la recherche en bioacoustique et comment elle résonne incroyablement avec nos trouvailles. Première chose, les baleines à bosse possèdent des cartilages vibrateurs au niveau de la trachée (les aryténoïdes) recouverts d'un membre qu'elles ouvrent et ferment pour générer des sons. A la manière des cordes vocales sans en être pour autant, à la manière aussi du jeu sur la double hanche du basson. L'ouverture et la fermeture ou le jeu sur le larynx est largement développé par Pascal Gallois. J'apprends également que les aryténoïdes et leur membrane se terminent par des lèvres plus molles (Corniculate flaps) possiblement à l'origine de... sons pulsés !

Seconde chose, la baleine chante en apnée sous l'eau et pendant une période très longue. Elle fonctionne avec un système alors totalement clos. Résonne déjà très fortement notre histoire de souffle circulaire du joueur de basson. Et troisième chose, les baleines possèdent un sac laryngé pour faire circuler l'air, au-delà de leurs poumons. Autrement dit... la cornemuse joufflue du bassoniste.

Dans la foulée, une somme d'idées surviennent pour composer la pièce pour le Muséum National d'Histoire Naturelle. Elle deviendra : *la Réponse de la baleine à bosse, tentative de dialogue n°1*. Une première partie issue de sons réels de glace de mer pris en arctique pour ouvrir directement sur un monde environnemental sans aucune ambiguïté. Brice Martin s'amuse ensuite à produire des sons étranges et une grande ambiguïté se développe. C'est alors que surviennent justement les chants de baleines réels et rapidement l'écoute se perd entre le basson et les baleines. Le temps d'ouvrir les sons sur une diffusion en 9 haut-parleurs au milieu duquel le public est immergé et le voilà en train d'écouter Brice Martin qui attaque la *Litany for the Whale* de John Cage, à moins que ce ne soit les sons de baleines transformés qui lui répondent. Truquement amusant, les baleines transposées jouent

¹ Ce bref montage est diffusé en clôture du Congrès mondial des Baleines à bosse à la Réunion début juillet 2017, aucun des scientifiques présents avec qui j'en ai discuté, n'a imaginé qu'il ne s'agissait pas de baleines à bosse.

alors une composition humaine. Et de finir dans une grande plongée en apnée microtonale et pour une écoute subtile des abysses. Le basson joue en soufflé circulaire entremêlé aux sons de 9 haut-parleurs, à moins que ce ne soit que la réverbération qui se promène au delà de son jeu direct.

La Litany for the Whale de John Cage (2012-1992) est une pièce vocale singulière qui peut être entendue comme une traduction musicale de l'article de *Science*. Composée en 1980, John Cage utilise une portée mais il ré-invente une notation : cinq « notes » W_H_A_L_E sont placées sur une portée et seules ces cinq notes seront jouées par une récitation (WHALE répétée) et une série de réponses (WHALE déclinée). Elle est prévue initialement pour deux chanteurs « de timbre équivalent » de sorte qu'à l'enregistrement, on ne sache plus qui questionne et qui répond. Et ce pendant environ 25 minutes. La répétition de cinq notes presque sans intention nous incite à une écoute fine du timbre. Elle laisse un sentiment de musique archaïque, très ancienne.

La Réponse de la baleine à bosse passe par une écoute des bruits pour traverser une pièce témoin de la musique du XXe pour finir par une synthèse apnéiste. Mais voilà, nous ne sommes plus au temps de Payne et McVay, de John Cage et Luc Ferrari. Nous sommes début du XXIe siècle. La lutherie numérique et l'informatique musicale ont bien évolué et elles permettent aujourd'hui d'imaginer aller beaucoup plus loin qu'un travail de déclinaison esthétique d'une écoute. Et d'imaginer ce qui me trotte dans la tête depuis le début : et si nous considérions vraiment les baleines comme des instrumentistes/compositrices avec lesquelles jouer ? Comme si elles venaient d'un autre pays où les sons émis auraient des fonctions culturelles, sociales et musicales inconnues pour nous. Il sera alors possible d'aller jouer dans l'océan, à partir d'une interface musicale aquatique longuement réfléchi.

Il ne s'agirait pas de jouer des propositions musicales dans l'océan et d'enregistrer les réponses des baleines en constatant que leur chant varie. Nous savons que cela va être le cas et cela a déjà été fait. Il s'agira d'abord de leur *signifier une écoute*, c'est à dire de d'abord capter un chant, de faire en sorte qu'il transforme notre proposition par différents paramètres décidés humainement par l'intermédiaire d'une interface, murement développée. Et de proposer cette écoute aux baleines. Et ainsi de suite dans une circularité sans fin. Il s'agirait alors d'achever le projet de Pierre Henry : « *Il faut prendre immédiatement une direction qui mène à l'organique pur. A ce point de vue, la musique a été beaucoup moins loin que la poésie ou la peinture. Elle n'a pas encore osé se détruire elle-même pour vivre. Pour vivre plus fort comme le fait tout*

phénomène vraiment vivant. » A suivre... pour la Réponse de la baleine à bosse, tentative de dialogue n°2.

BIBLIOGRAPHIE

- Schaeffer Pierre, *Traité des objets Musicaux, essai transdisciplinaire*, nouvelle édition. Ed. du Seuil, 1977.
- Parrochia Daniel, *Philosophie et musique contemporaine, ou le nouvel esprit musical*, Ed. Champ Vallon, Coll. Du milieu. 2006.
- Chion Michel, *La musique électroacoustique*, Ed. Puf., Coll. Que Sais-je, 1982
- Galois Pascal, *la technique du basson, Traité à l'usage des compositeurs*, Ed. Bärenreiter, 2012.
- Henry Pierre, *Le journal de mes sons*, Ed. Le Seuil, 2004.
- Macé Pierre-Yves, *Musique et document sonore*, Ed. Les presses du réel, 2013.
- Bériachvili Georges, *L'œuvre de François Bernard Mâche : la nature en surface et en profondeur ; communication présentée au colloque Musique et écologies du son*, Université Paris 8, mai 2013.
- Bosseur Jean-Yves, *Musique et environnement*, Ed. Minerve, 2016.
- Adam Olivier, Cazau Dorian, *Cétacés, nouvelles connaissances issue de la recherche française*, Ed. Dirac, 2017.

ICONOGRAPHIE : *Baleine hors de l'eau* © Apolline Debono, Hervey Bay, Australia , 2017.

SECOND ACTE : OLIVIER ADAM

Les baleines à bosse (fig. 1) sont étudiées par les scientifiques, pour plusieurs raisons, notamment pour leurs routes migratoires exceptionnelles entre les zones d'alimentation et de reproduction qui peuvent faire plus de 6000 km aller, et pour les chants complexes que les males entonnent lors des saisons de reproduction.

Figure 1 : saut d'une baleine à bosse (crédits : Cetamada)



Ces émissions sonores sont décrites pour la première fois en 1971, par un article devenu une référence internationale, écrit par 2 scientifiques Payne et McVay dans la revue scientifique américaine *Science* (Payne and McVay, 1971). Ils notent que ces chants sont organisés en sons isolés ; ils définissent alors le concept d'unités sonores, concept qui

est toujours utilisé de nos jours. Une unité est un élément sonore limité dans le temps, bordée par 2 silences.

A partir de là, il est possible de s'intéresser pour les bio-acousticiens à différents paramètres, comme la durée, la forme, la fréquence fondamentale et son évolution temporelle, et la présence ou non d'harmoniques. Il s'agit en fait d'une démarche andocentrique classique lorsqu'il s'agit d'étudier des sons issus des activités naturelles (géophonie), animales (biophonie) ou humaines (anthropophonie).

La caractérisation de ces unités sonores montre que les baleines à bosse sont capables de produire des sons complexes, facilement identifiables, et donc qu'il est possible d'envisager un classement de ces unités sonores. Les auteurs remarquent alors que ces unités ne sont pas émises aléatoirement, mais dans un ordre spécifique formant des séquences. Mais cela ne s'arrête pas là, car ces séquences sont elles-mêmes organisées entre elles. Payne et McVay les nomment alors des sous-phrases, et leur succession, des phrases. Ces phrases forment le leitmotiv du chant des males. Ces leitmotifs sont mis en évidence par les spectrogrammes (représentation temps-fréquence) des unités (fig. 2)

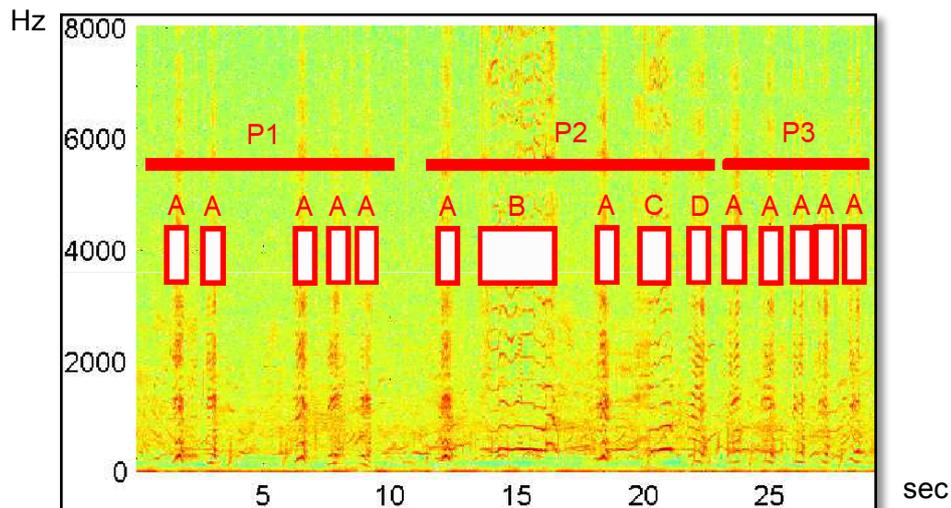


Figure 2 : Extrait d'un chant composé d'unités sonores (A, B, C, D) et de sous-phrases (P1, P2, P3)

En 2016, David Rothenberg, musicien et Professeur de Philosophie à l'Institut Technologique du New Jersey (USA) et Mike Deal, acoustic designer, en donneront une version plus moderne, à partir de pictogrammes, nettement plus facile à lire (Rothenberg and Deal, 2016). On s'aperçoit que les chants sont plus ou moins complexes d'un océan à l'autre et d'une saison à l'autre.

La classification des unités sonores s'avèrera, finalement par la suite, un challenge délicat pour au moins 4 raisons : la première est que, même si les chants sont partagés, il y a des variations inter-individuelles notables. La 2^e difficulté est basée sur les variations temporelle et spatiale des chants : - au cours d'une même saison de reproduction et d'une saison à l'autre et d'un océan à l'autre. Le 3^e problème réside dans le fait que les critères de classification n'ont pas été clairement établis, laissant les scientifiques à les définir par eux-mêmes en fonction de leurs enregistrements et de leur propre appréciation, rendant la définition des classes, leur nombre et aussi finalement les classifications elles-mêmes subjectives.

Enfin, la qualité des enregistrements dépend également des conditions météorologiques, de la bathymétrie, des courants et du matériel utilisé, ce qui contribue à modifier les caractéristiques intrinsèques des unités sonores et impacte directement sur leur classification.

En étudiant ces diversités acoustiques, nous avons proposé, comme motivation pour les chanteurs, le modèle 4L (Adam et al., 2013) : - *low* : le chanteur aura tendance à émettre un son avec une fréquence fondamentale la plus basse possible témoignant de sa taille, et parce que les basses fréquences se propagent sur une

distance plus grande, - *loud* : en émettant des unités sonores puissantes, le chanteur va s'imposer en masquant les unités des autres chanteurs aux alentours. D'autre part, son chant va s'entendre plus loin et donc susceptible d'attirer l'attention des femelles sur une plus grande zone géographique. - *long* : avec des unités sonores de plus grande durée, le chanteur montre ses capacités respiratoires et donc, de façon direct, sa bonne santé. Il donne aussi plus de temps aux autres individus (femelles et males) de le localiser. - *loquacious* : les chanteurs ont la réelle volonté d'occuper la place acoustiquement. Leurs chants sont longs et peuvent durer plus d'une journée, sans pratiquement s'arrêter, avec des respirations à la surface particulièrement rapides et furtives.

Mais comment font ces baleines pour produire physiquement ces chants mélodieux ? Cette question est fondamentale, mais elle nécessite de s'intéresser à l'anatomie de ces cétacés, avec l'objectif d'identifier le ou les vibrateurs et comment ils sont mis en œuvre. Étonnamment aucuns travaux scientifiques n'avaient été réalisés pour décrire leur générateur acoustique. De plus, l'idée commune, partagée par les scientifiques et présentée au grand public, était que les cétacés n'avaient pas de cordes vocales.

Il faudra attendre la publication d'un article sur l'anatomie comparée des systèmes respiratoires des mammifères marins, écrit par Joy Reidenberg et Jeffrey Laitman, tout deux spécialistes ORL au Mount Sinai Hospital (New York, USA) en 2007. Ils suggèrent l'existence potentielle d'un vibrateur au niveau de la trachée. Pour en savoir davantage, j'ai initié une collaboration scientifique avec eux afin de mieux décrire la fonctionnalité acoustique de ce système respiratoire exceptionnel, et notamment par l'identification des différents éléments qui le composent (fig. 3) :

- Deux poumons qui peuvent accueillir quelques 1000 litres d'air
- Une trachée, de 1m20 de long
- Un sac laryngé, connecté à la trachée et positionné sous celle-ci.
- Deux cartilages parallèles d'une 30° de cm, appelés corniculate, à la jonction entre la trachée et le sac laryngé
- Deux conduits nasaux parallèles, de 1m50 à 1m70 de long, terminés par des évents à la surface de la tête.

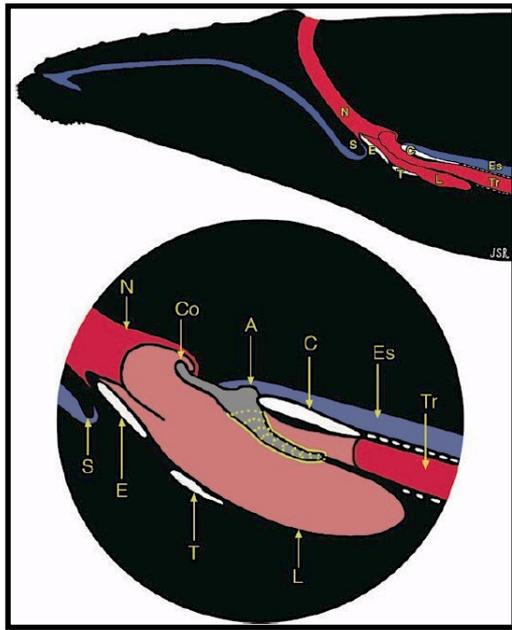


Figure 3 : anatomie du système respiratoire (en rouge) d'une grande baleine (extrait de Reidenberg and Laitman, 2007). A : cartilage arytenoïde, C : cartilage cricoïde, Co: cartilage corniculé, E : épiglotte, Es: œsophage, L : sac laryngé, N : cavités nasales, S : palais, T : thyroïde, Tr: trachée. En bleu, le système d'alimentation totalement déconnecté du système respiratoire

Tout est surdimensionné chez ces grandes baleines. Pour mettre le tout en vibration, la baleine fait circuler l'air des poumons vers le sac laryngé. Au niveau de la trachée, le flux d'air passe en faisant vibrer les membranes qui recouvrent les cornicules.

La baleine peut alors souffler plus ou moins longtemps pour adapter la durée des unités sonores (de moins d'une seconde à plus de 5 secondes), plus ou moins fort pour jouer sur la modulation d'amplitude (entre 120dB jusqu'à 180dB à 1m re 1µPa), en ouvrant plus ou moins l'espace entre les 2 cornicules pour moduler la fréquence fondamentale (entre 60Hz jusqu'à 500Hz), et en ouvrant plus ou moins l'épiglottis pour mettre en vibration les conduits nasaux et créer des harmoniques (jusqu'à 10kHz).

De plus, parmi ces vocalises harmonieuses, nous pouvons distinguer des sons pulsés, propres à tous les mysticètes. A ce jour, nous hésitons dans l'origine de ces sons particuliers. Ils peuvent soit être émis à partir de l'extrémité des cartilages corniculés qui présentent une surface de membrane nettement plus souple leur permettant de se frapper l'une contre l'autre. Ces sons pourraient également être générés en réduisant significativement la vitesse de circulation de l'air des poumons vers le sac laryngé, laissant ainsi les cornicules ouverts revenir à leur position fermée de repos pendant un temps court mais suffisant, créant ainsi ces pulses (cette technique de production vocale est appelée « vocal fry » chez les hommes).

Nous avons alors fait le lien entre l'anatomie fonctionnelle et les caractéristiques acoustiques des unités sonores, notamment en définissant 3 modes d'utilisation (fig. 4). La baleine passe d'un mode à l'autre de façon intentionnelle pour façonner son chant (Cazau et al., 2013).

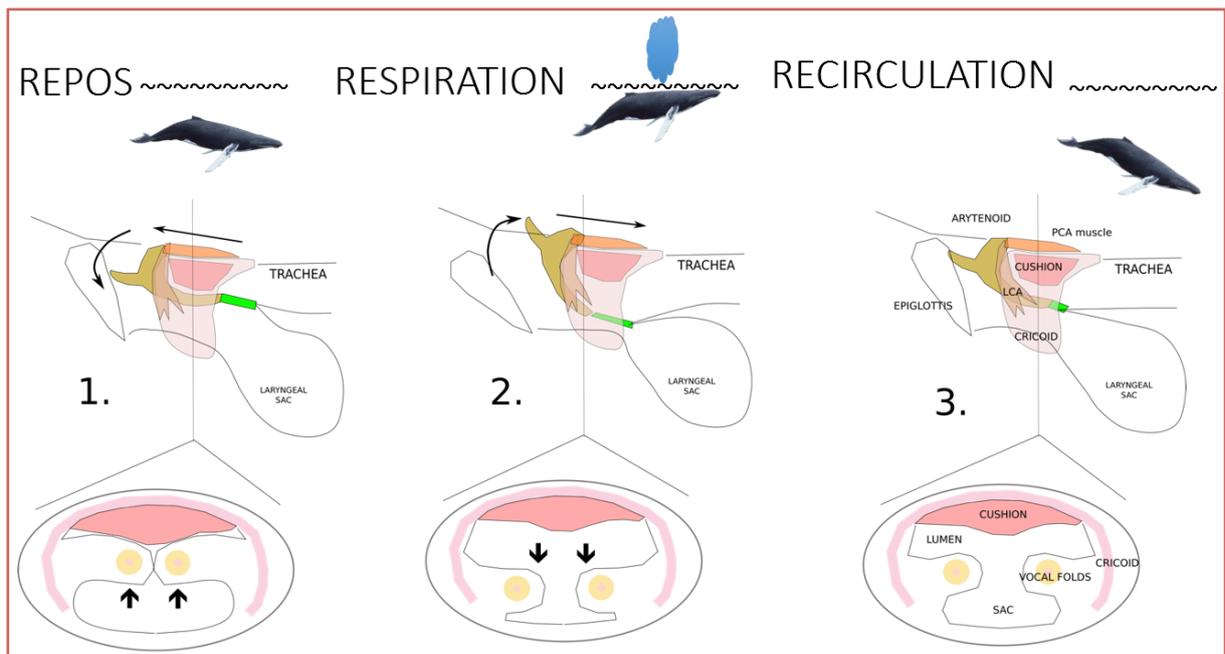


Figure 4 : Configuration des corniculates dans 3 cas (d'après Damien et al., 2017)

- Repos : le système est fermé, les muscles sont relâchés
- Respiration : le système est totalement ouvert, aryténoïdes et trachée sont ouverts au maximum
- Recirculation : la baleine envoie son air des poumons vers le sac laryngé pour augmenter la durée de son apnée. Elle peut alors générer des unités sonores en ouvrant plus ou moins ses aryténoïdes.

Récemment, nous avons noté, dans nos enregistrements, que certains chanteurs produisaient des unités sonores présentant quelques particularités inattendues, comme des sauts de fréquence (la fréquence fondamentale n'est pas maintenue) ou la présence d'un chuintement au sein même de l'unité sonore (bruit qui évoque le décrochage des aryténoïdes dans les vibrations). Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer la présence de ces non-linéarités. Elles peuvent simplement être dues à un problème anatomique ; par exemple, une grosseur ou une tumeur sur les corniculates ou dans la trachée qui viendrait altérer la mise en vibration du système. Il pourrait également s'agir d'une phase d'apprentissage ou d'un manque d'entraînement ; par exemple chez les juvéniles qui commenceraient à chanter.

Ceci étant dit, ces non-linéarités pourraient aussi être produites intentionnellement, à la façon d'ornements musicaux, pour permettre au chanteur de se distinguer des autres présents dans la même zone, et donc de mieux attirer l'attention sur lui (Cazau et al., 2016). Cela renforce les hypothèses sur les rôles sociaux de ces chants émis en période de reproduction, entre mâles et femelles et entre mâles et mâles.

Les chants des baleines à bosse ont des spécificités spatiales et temporelles. Il est possible de parler de dialectes régionaux, tant ils sont différents d'un océan à l'autre. Ceci étant dit, dans une même zone géographique, les males s'auto-influencent et partagent les unités sonores et le leitmotiv du chant.

Au niveau temporel, on note alors des variations au cours de la saison, avec l'apparition et la disparition de certaines unités sonores, et d'une saison à l'autre. Et cette évolution pluriannuelle se fait progressivement et non de façon désordonnée. Cela signifie que les baleines qui reviennent sur une même zone géographique l'année suivante commencent leur chant avec un leitmotiv quasiment identique à celui de l'année précédente. En s'intéressant aux variations sur plusieurs années, Garland et al. (2009) a montré qu'il y a une réelle transmission culturelle entre adultes chanteurs au niveau d'un bassin océanique, avec l'idée d'un chant qui pourrait être constant sur plusieurs années successives, à l'image des chants ancestraux.

Et parce que les chants des males sont constants tout au long de la période de reproduction, l'apprentissage se fait dès la naissance (et probablement avant pendant la gestation) : les baleineaux, males et femelles, naissent en entendant ces vocalises, et vont être exposés à ces sons pendant les premières semaines voire les premiers mois de leur vie. Les baleineaux restent dépendants de leur mère pendant 1 année. Ils vont donc faire, avec elle, le long trajet vers une zone d'alimentation et le retour vers une zone de reproduction. Ils retrouveront alors ces chants pour une année, et ainsi de suite. A ce jour, il semble que cette apprentissage soit passif, dans la mesure où la mère ne chante pas (elle émet des sons mais ils n'ont pas les caractéristiques des chants) et qu'il n'a jamais été observé des sessions de cours de chant entre un adulte et un ou plusieurs juvéniles !

Pour conclure en ce qui concerne l'étude de ces chants, plusieurs nouvelles questions peuvent être posées. Ainsi, est-ce que ces chants ne devaient pas être appréhendés dans leur continuité plutôt que par une décomposition note par note ? L'idée serait de s'intéresser davantage à l'organisation complète des leitmotifs, notamment en tenant compte des intonations et des ornements. Et si ces unités sonores étaient produites également en fonction de l'acoustique du lieu, comme le suggère Mercado (2017) avec son idée de « drone unit » ? Ces « drone unit » qui sont, en fait, des unités sonores plus propices à la réverbération, et qui seraient le support des autres unités sonores successives. Autrement dit, la durée et le contenu de la sous-phrase émise par la baleine pourraient être guidés par la propagation acoustique, et donc renseigner sur le lieu.

Jusqu'à ce jour, identifier un chanteur uniquement à partir de ces vocalisations reste un challenge scientifique. Seules les observations visuelles permettent d'affirmer l'identité d'une baleine. Pourquoi cela n'est-il pas possible à partir des sons ? Est-ce que ces nouvelles connaissances issues de l'anatomie et de la modélisation acoustique vont nous permettre finalement d'identifier ces chanteurs ? En protégeant ces baleines et leur environnement, nous contribuons à la conservation des océans, et nous nous assurons de pouvoir continuer à être émerveillé par ces chants.

BIBLIOGRAPHIE :

- Adam, O., Cazau, D., Gandilhon, N., Fabre, B., Laitman, J. T., and Reidenberg, J. S. (2013). New acoustic model for humpback whale sound production, *Applied Acoustics*, 74(10): 1182-1190
- Cazau, D., Adam, O., Laitman, J. T., and Reidenberg, J. S. (2013). Understanding the intentional acoustic behavior of humpback whales: a production-based approach, *Journal of the Acoustical Society of America (JASA)*, 143(3): 2268-2273
- Cazau, D., Adam, O., Aubin, T., Laitman, J. T., and Reidenberg, J. S. (2016). A study of vocal nonlinearities in humpback whale songs: from production mechanisms to acoustic analysis, *Scientific Reports*, 6:31660, DOI: 10.1038/srep31660
- Mercado, E. III (2016). Acoustic signaling by singing humpback whales (*Megaptera novaeangliae*): what role does reverberation play?, *Plos One*, 11(12): e0167277. doi: 10.1371/journal.pone.0167277
- Payne, R., and McVay, S. (1971). Songs of humpback whales, *Science*, 173: 585-597.
- Reidenberg, J. S., and Laitman, J. T. (2007). Discovery of a low frequency sound source in Mysticeti (baleen whales): Anatomical Establishment of a Vocal Fold Homolog," *Anat. Rec.*, 290: 745-759.
- Rothenberg, D., and Deal, M. (2016). New Songs of the Humpback Whale, <https://www.youtube.com/watch?v=NXaxWKzTaRc>

ICONOGRAPHIE : Crédits auteur ou comme spécifiés dans les légendes.