

# Le monde acoustique des chauves-souris

## Yves Tupinier

### Yves Tupinier,

Docteur de l'Université Claude Bernard  
5B, rue Claude Baudrand  
69300 Caluire  
Tél.: 04 72 10 60 99  
E-mail : yves.tupinier@wanadoo.fr

### Résumé

Les émissions sonores constituent, pour beaucoup d'animaux, un moyen pour communiquer entre individus d'une même espèce ou transmettre des informations qui peuvent être comprises par d'autres espèces. Dans cette fonction de communication un signal, c'est-à-dire un bruit portant une information, est émis par un animal et reçu par un autre. Ce sont par exemple les cris de parades nuptiales, de marquage de territoire ou de détresse des jeunes. Avec les chauves-souris, nous sommes en présence d'un autre usage des sons, à savoir la localisation acoustique. Dans cette situation, une chauve-souris émet un cri renvoyé par le milieu et les sons qui reviennent sont comparés avec les émissions. De cette analyse, l'animal extrait les informations qui lui sont utiles pour guider son comportement. Dans cette fonction, l'animal agit pour lui seul. Nous ne sommes donc plus dans de la communication, nous avons un véritable sonar biologique. L'univers sonore est vaste et très imbriqué. Ainsi la localisation acoustique peut aussi être passive. Une chouette possède une paire d'oreilles gauche et droite ce qui permet de localiser horizontalement une source sonore. De plus celles-ci ne sont pas au même niveau. Cela améliore la directivité verticale. Un tel prédateur peut donc localiser sa proie avec son aide. Dans ce cas, les émissions sonores de la proie sont des indices.

### Historique

Le vol silencieux des chauves-souris dans l'obscurité la plus totale est resté une question sans réponse jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle. Alors que Buffon écrivait que les chauves-souris sont des êtres monstrueux incapables de prétendre contrôler le vol, Lazzaro Spallanzani s'intéresse à l'habileté du vol dans l'obscurité par ces mêmes animaux. Expérimentateur habile et méticuleux, il place un capuchon sur la tête d'une chauve-souris. Il constate que l'animal est perturbé et en déduit que sa vision dans l'obscurité n'est pas la même que la nôtre. Pour s'en assurer, il colle des disques opaques sur les yeux et la chauve-souris vole normalement. Il place un capuchon en tissus transparents et le vol est à nouveau perturbé. Afin de peaufiner son expérience, il sacrifie une chauve-souris, lui enlève ses globes oculaires et la libère. Bien qu'aveugle, elle vole normalement. Il pense en observant les aveugles compenser la perte de la vision par le toucher, que ce dernier sens est utilisé. Mais en couvrant le corps de l'animal avec du vernis, le comportement n'est pas affecté. En 1794, Spallanzani envoie un compte rendu de ses expériences pour le présenter devant la Société d'histoire naturelle de Genève. Ce texte intéresse Louis Jurine qui étudie le rôle de l'oreille. Avec une obstruction des conduits auditifs, les animaux sont perturbés. Spallanzani reprend ses expérimentations et arrive à la conclusion que le museau et les oreilles sont nécessaires pour expliquer l'habileté des chauves-souris dans l'obscurité absolue. Mais il ne peut aller plus loin, le domaine ultrasonore n'étant découvert qu'un siècle plus tard.



Grand Murin © Christian Maliverney

En 1805, dans sa XIV<sup>e</sup> leçon d'anatomie, G. Cuvier écrit : «Spallanzani en conclut que les chauves-souris ont un sixième sens dont nous n'avons aucune idée. Le citoyen Jurine a fait des expériences, qui tendent à prouver que c'est par l'ouïe qu'elles se dirigent ; mais il nous paraît que les opérations qu'il a fait subir aux individus qu'il a privés de la faculté de se diriger, ont été trop cruelles, et qu'elles ont fait plus que de les empêcher d'entendre. Il nous semble qu'il suffit de leur organe du toucher pour expliquer tous les phénomènes que les chauves-souris présentent.

[...] Il est probable que dans l'action du vol, l'air frappé par l'aile ou par cette main si subtile, imprime à cet organe une sensation de chaleur, de froid, de mobilité, de résistance, qui indique à l'animal les obstacles et la facilité qu'il rencontre sur sa route...»

Cuvier donne son point de vue sur les expériences de Spallanzani et de Jurine par les mots «il nous paraît», «il nous semble», «il est probable». L'explication de l'habileté des chauves-souris dans l'obscurité est donnée avec autorité. Pendant tout le XIX<sup>e</sup> siècle, il n'y aura aucune recherche dans ce domaine biologique. En 1900, Rollinat et Trouessart publient leurs travaux destinés à reprendre les expériences de Spallanzani «afin de préciser le siège du tact si particulier qui permet à ces animaux de se diriger dans l'obscurité». Ils concluent que l'ouïe joue un rôle important devant le toucher. Les chauves-souris utiliseraient leurs oreilles pour palper les parois des cavernes. Le sifflet à ultrasons fut inventé par Francis Galton en 1883 et permet d'émettre des sons audibles pour un chien et inaudibles pour l'homme. Les frères Pierre et Jacques Curie découvrent l'effet piézoélectrique permettant la production de sons de fréquences élevées. L'hypothèse de l'utilisation de ces sons par les chauves-souris n'est pas envisagée.

Après la catastrophe du Titanic, Maxim, un ingénieur américain, reprend une hypothèse d'un correspondant de Spallanzani. A savoir : le battement des ailes, environ 20 par seconde, envoie des ondes qui se réfléchissent sur les obstacles et qui sont ensuite perçues par l'animal. La réalisation pratique se révéla peu efficace, les très basses fréquences étant peu directives. Après le développement de la détection des sous-marins pendant la Première Guerre mondiale, ce n'est qu'en 1920 qu'un physiologiste anglais, Hardridge, propose l'hypothèse que les chauves-souris émettent des sons inaudibles pour l'homme pour palper leur environnement.

En 1938, nous entrons dans la période moderne. Aux Etats Unis d'Amérique, un étudiant en biologie du Harvard College,

Donald R. Griffin, s'intéresse aux déplacements des chauves-souris dans l'obscurité en reprenant les expériences de Spallanzani. Il entre en relation avec G.W. Pierce, un physicien qui s'intéresse aux émissions «supersoniques» des insectes. Ils visualisent et mesurent les fréquences des cris des chauves-souris lors de leur vol dans l'obscurité en présence d'obstacles. Notons que dans ces mêmes années le mot «supersonique» est attribué à des vitesses supérieures à la célérité du son tandis que les fréquences inaudibles à nos oreilles d'humains sont qualifiées de «ultrasoniques».

Avant et pendant la Seconde Guerre mondiale, les systèmes radar se sont développés de façon empirique. Ensuite des études théoriques sont venues. De ces travaux des corrélations sont établies entre la structure des cris sonar des chauves-souris et leurs propriétés physiques en matière de détection, à savoir : précision des évaluations des distances, directivité, résolution angulaire, vitesse relative.. Si le vol des chauves-souris a inspiré la technique, ce fut l'inverse pour le sonar. La technique a permis de comprendre le comportement sonore de l'animal.

### Principe général de la localisation acoustique

Une chauve-souris vole dans un espace aérien où se trouvent des obstacles fixes ou mobiles. Pour «palper» ce qui l'entoure, elle émet des cris brefs. Ils sont produits par les organes de phonations. Au cours de la propagation, ils sont atténués par la distance parcourue et les propriétés acoustiques de l'air. Le signal sonore atteint la cible. Ce terme regroupe les objets ou proies présentant de l'intérêt. Au contact de la cible, le signal est renvoyé.



Le Grand Murin (Breté) © Christian Maliverney. Galerie : <http://album.oiseau-libre.net/albums/photographes/christian-maliverney.html>

Le phénomène est complexe. À côté d'une simple réflexion, qui peut être modifiée par la structure de la cible, lisse ou velue, s'ajoutent des ondes rampantes qui contournent les objets avant d'être réémises. Lorsque la cible est un insecte en vol, les échos dus au corps de l'insecte diffèrent de ceux des ailes par effet Doppler, les ailes ayant un mouvement relatif par rapport au corps. Tout cela fait que l'écho principal est accompagné d'un nuage d'échos. La comparaison de l'écho avec le signal émis apporte de l'information à l'animal. Chacun de ces éléments considérés individuellement ne peut porter une information à l'animal.

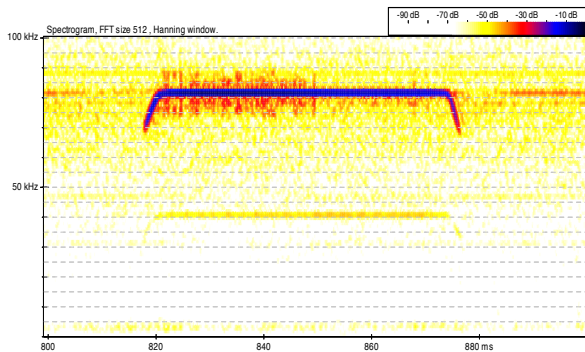


Fig 1 : Cri de Grand rhinolophe : émission essentiellement en fréquence constante adaptée à la détection avec l'effet Doppler.

Dans une logique de communication, un signal est émis par un animal et perçu par un autre. Cela implique qu'émetteur et récepteur utilise un même code, un même langage pour qu'une information puisse être comprise. Cette situation se rencontre dans les cris marquant un territoire ou assurant la cohésion d'un groupe nomade. Il en est de même pour les cris de recherche d'un partenaire. Dans tous ces cas, la spécificité du cri est essentielle. Dans un système sonar, le récepteur n'est autre que l'émetteur. L'animal n'agit que pour lui-même et pour lui seul. Le caractère spécifique s'estompe devant les nécessités du système sonar qui s'adapte aux problèmes que se pose l'animal émetteur. La structure des cris est adaptée aux problèmes qui préoccupent l'animal. Cependant des contraintes existent. Les possibilités des chauves-souris ne sont pas toutes identiques. La taille fait que certaines espèces sont plus aptes à produire des hautes fréquences. Les petites espèces comme les petits Vespertillons ou les Pipistrelles émettent des cris plus aigus que les grandes comme les Grands murins ou les Noctules. La morphologie des ailes influe sur la vitesse ou la manœuvrabilité du vol. La physiologie joue également un rôle. Les Vespertilionidés émettent par la gueule tandis que les Rhinolophidés le font par le nez. Les premiers sont plus aptes pour des signaux en fréquences modulées et les seconds pour les fréquences constantes. La nature des signaux est le reflet d'une physiologie et d'une morphologie. De plus le comportement intervient. Selon que la chauve-souris vole en transit sur un itinéraire connu, dans un milieu encombré, en action de chasse ou en capturant des proies, les signaux sont différents. Ainsi ce qui précède montre qu'à travers les cris qui dépendent de la morphologie, de la physiologie, du comportement, on peut remonter à l'espèce dans la plupart des cas.

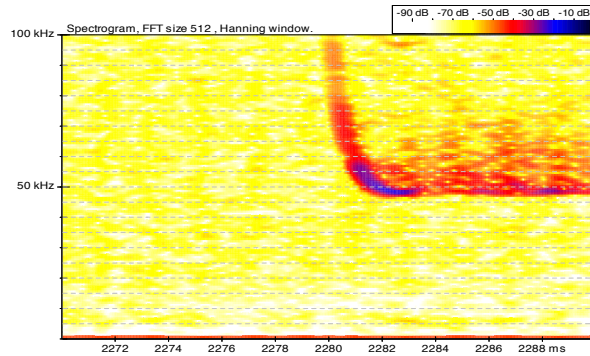


Fig.2 : Cri de pipistrelle commune : bref, quelques millisecondes en arc d'hyperbole, des adaptations à la détection des variations de distances

Les émissions utilisées par les chauves-souris pour leurs signaux de localisation acoustique se situent entre 10 et 150 kHz. 20 kHz est la limite que l'on donne pour entrer dans le domaine de l'ultrason. Il s'agit d'une notion anthropocentrique dont n'a que faire le monde animal. Par exemple, un chien entend au-delà de 40 kHz. Le sonar n'implique pas l'usage d'ultrasons. Dans nos régions des espèces comme la Noctule commune ou le Molosse de Cestoni émettent en dessous de 20 kHz. Des oiseaux, la Salangane d'Asie ou le Guacharo brésilien, possèdent un sonar plus rudimentaire qui utilise des fréquences qui nous sont audibles. Il en est de même pour un genre du sous-ordre des Mégachiroptères qui regroupe les grandes chauves-souris frugivores d'Afrique et d'Asie. Ces animaux possèdent une vision crépusculaire très développée. Le genre Roussettus dispose, dans l'obscurité des grottes, d'un sonar rudimentaire.

## Propriété des signaux

Les systèmes les plus sophistiqués se rencontrent dans le sous-ordre des Microchiroptères auquel appartiennent les chauves-souris de nos régions. Ces émissions, bien que donnant des résultats de grande précision, sont de structure relativement simple.

**Portée :** La portée dépend essentiellement de l'animal émetteur. Chaque espèce utilise une bande de fréquence où ses performances sont optimales. On ne doit pas confondre avec la distance à laquelle on peut entendre une chauve-souris car, dans ce cas, la sensibilité de l'oreille et du système d'écoute sont primordiaux. La portée intervient surtout quand une chauve-souris se situe dans un espace libre d'obstacle et qu'elle se déplace à vitesse élevée (jusqu'à 30 m/s). Dans ces circonstances, l'animal privilégie les fréquences basses de sa tessiture, diminue la modulation de fréquence, d'où une économie d'énergie, et augmente la durée du cri. Cette dernière action a pour effet d'augmenter l'énergie emportée par le signal. Certaines espèces comme La Noctule commune chasse des proies à plusieurs dizaines de mètres devant elle alors que d'autres plus murmurantes, comme les Oreillards, ne recherchent des proies guère plus loin que le bout de leur nez. Ce qui précède implique que lors d'une étude de biodiversité par acoustique les «grandes gueules» sont surestimées.

**Mesure de la distance :** La mesure de la distance est déterminée par le temps mis par le signal pour aller jusqu'à la cible et en revenir. L'hypothèse du filtrage adapté est la plus souvent admise pour estimer les performances du système sonar des chauves-souris. La mesure est d'autant meilleure que la bande fréquentielle du signal est large et que le rapport signal sur bruit de fond de l'écho est élevé. En se rapprochant de sa proie, ce rapport s'améliore et facilite la localisation précise.

**Résolution en distance :** Le problème consiste à distinguer deux cibles dans une même direction mais à des distances légèrement différentes, pour repérer un point d'accrochage sur une paroi. Dans une première approche, on peut admettre que les deux échos seront séparés si la différence entre leur retard est supérieure à leur durée. Les cris très modulés en fréquence et brefs donnent les meilleurs résultats.

**Valeur radiale relative :** Sa connaissance permet à une chauve-souris de savoir si la proie convoitée se rapproche ou lui échappe. Les espèces européennes utilisent deux pratiques. Les Vespertilionidés, qui émettent des cris modulés en fréquences, comparent des distances et en déduisent les vitesses relatives. Les Rhinolophidés utilisent de longs cris en fréquence constante. Cette structure est sensible à l'effet Doppler. Selon que la cible se rapproche ou s'éloigne la fréquence augmente ou diminue. La neurologie de ces espèces fait que l'animal est plus sensible à des augmentations de fréquence qu'à des diminutions. Les Rhinolophes sont donc plus aptes à maintenir le contact sonar avec une proie qui se rapproche, plus facilement capturable. Un insecte qui vole possède des ailes dont le mouvement relatif par rapport au corps fait que les ailes ne donnent pas le même effet Doppler que le corps. Cela permet à l'animal de distinguer une feuille morte qui se déplace dans le vent d'une proie car tous les points de la feuille donnent sensiblement le même effet Doppler.

## Relations entre les signaux sonars et l'activité

Les chauves-souris ont une activité aérienne intense et variée. Chacun de leurs comportements influe sur les émissions des cris sonar. Le système de détection est du type adaptatif. Il faut entendre par là que l'animal, au moyen d'un cri, pose une question à son environnement, attend une information en réponse et selon ce qui est reçu modifie ou non la question, le cri, suivant. Les émissions sonar

sont avant tout un reflet du comportement. La spécificité n'intervient qu'ensuite à travers la morphologie, l'éthologie... Ainsi deux espèces de même taille, avec des ailes de formes voisines, peuvent dans des conditions identiques émettre des cris de même structure.

**Détection :** La trentaine d'espèces de nos régions occupent des territoires de chasse divers : espaces libres au-dessus des obstacles, sous-bois, lisières, rues et lampadaires. Ainsi le Molosse de Cestoni chasse souvent à plus de 50 m au-dessus du sol. Espèce au vol rapide qui peut atteindre 30 m/s, il chasse très en avant devant lui en émettant des cris de détection à un rythme de 3 à 5 cris par seconde, dans des fréquences entre 9 et 12 kHz, d'une durée dépassant 10 ms et peu modulés en fréquence. Cette structure favorise la portée sachant que l'atténuation par l'air est faible pour les fréquences utilisées par cet animal. Dans une même situation, un Minioptère chassant le long d'une lisière d'un vol rapide atteignant 20 m/s, émet une vingtaine de signaux de quelques millisecondes, modulés entre 70 et 50 kHz. Recherchant des proies proches, il favorise la précision de la distance et la directivité par rapport à la portée. Ces deux dernières espèces, qui détectent par des variations de distance, montrent comment le choix de la structure des cris dépend de la stratégie de chasse. Les Rhinolophes ont besoin pour favoriser la détection par effet Doppler de fréquence supérieure à 80 kHz. Ces animaux, chassant des proies proches d'eux, ne sont pas trop gênés par l'atténuation par l'air des fréquences utilisées.

**Identification :** Une cible étant détectée, il importe de savoir s'il s'agit d'une proie consommable ou d'un obstacle à éviter. Les espèces qui utilisent des fréquences très modulées, plus d'une octave, sont sensibles à l'état de surface, lisse ou velu, à la forme. Les utilisatrices de fréquences constantes privilégient les mouvements de leurs cibles. Dans leur comportement les chauves-souris utilisent aussi leurs oreilles. Les Mégadermes en Inde, qui se nourrissent de rongeurs, cessent leurs émissions sonar en approche de leurs cibles et se laissent guider par les sons produits par leurs proies.

**Localisation :** A ce stade, les chauves-souris ont détecté et identifié une proie. Pour la localiser avec précision l'animal améliore la précision dans l'estimation de la distance en élargissant la largeur de sa bande fréquentielle et en augmentant les fréquences pour améliorer la directivité. Dans le même temps, le rythme des émissions s'élève.

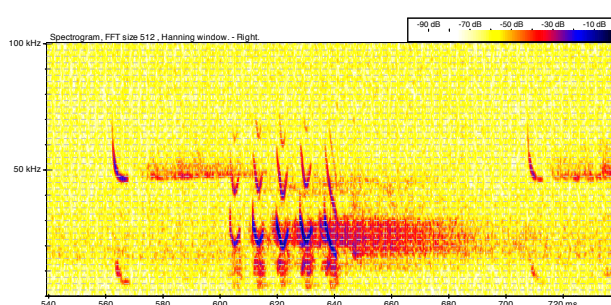


Fig. 3 : Cri social de Pipistrelle commune entre deux signaux sonar

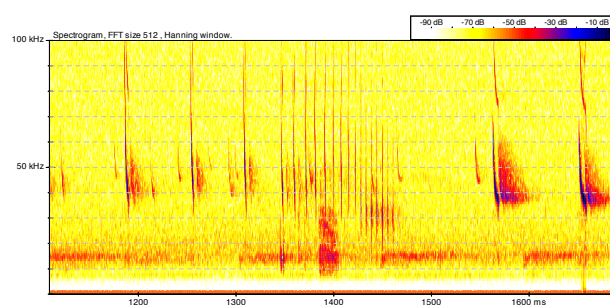


Fig. 4 : Capture d'une proie par une Pipistrelle commune



Oreillard sp (Lagny) © Christian Maliverney

La durée des cris diminue à mesure que le prédateur s'approche de sa proie. Ceci étant pour les espèces qui modulent leurs cris en fréquences. Les Rhinolophes, qui émettent en fréquence constante, détectent par effet Doppler, mais cette façon de faire ne permet pas une localisation précise. Les cris de ces espèces comportent une partie en fréquence constante de 40 à 80 ms qui se termine par une brève modulation de fréquence de 15 kHz. En approche d'une cible, la fréquence constante s'abrège et seule la phase finale intervient pour maintenir le contact sonar.

**Capture ou atterrissage :** Un acte important fait suite aux phases précédentes à savoir la capture d'une proie ou l'accrochage sur un support. Dans ces situations, le rythme d'émission atteint 200 cris par seconde. Les signaux sonar sont de plus en plus brefs, leur fréquence diminue. La distance diminuant leurs performances restent identiques.

## Cris sociaux

Les chauves-souris utilisent aussi les possibilités acoustiques pour la communication. Dans ce contexte, une information est émise par un animal à l'intention d'autres. Cette relation se fait à l'intérieur d'une même espèce quand un mâle cherche à séduire une partenaire. Le message acoustique doit porter une marque spécifique pour éviter une erreur. En revanche, l'intonation d'un cri destiné à intimider un prédateur peut être suffisamment explicite même si on ne comprend pas les paroles.

**Cris de parade :** Quelques espèces européennes émettent à la période de l'accouplement. La Noctule commune mâle se place à l'entrée de son gîte et lance des cris longs en fréquence constante. La structure fréquentielle des cris d'appel est proche de celle des signaux sonar et se distingue essentiellement par la durée. Les mâles de certaines espèces de chauves-souris africaines se pendent aux branches le long de forêts galeries et émettent leurs chants d'appel.

Les femelles vont et viennent devant ces chanteurs, les meilleurs se taisent rapidement tandis que d'autres continuent d'appeler.

**Relations mère-jeune :** Les cris des jeunes sont souvent des appels de détresse destinés à la mère. Les jeunes Grands Murins émettent des cris en fréquence constante. Après quelques semaines, la structure se modifie progressivement pour prendre celle des signaux sonar de l'adulte. Les jeunes Grands Rhinolophes émettent aussi des cris en fréquences constantes sur 20 kHz comportant des harmoniques sur 40, 60, 80, 100 et 120 kHz. Par la suite, seule la fréquence sur 80 kHz se maintient dans les signaux sonar.

**Cris agonistiques :** En vol ce sont essentiellement des cris sonar qui sont émis. Ces animaux sont individualistes. Chacun ne chasse que pour lui-même. Un signal sonar a une fonction bien définie. Cependant un tel cri est perçu par d'autres chauves-souris qui ne peuvent pas l'exploiter en tant que tel mais il est perçu comme indice acoustique. Nous savons que les signaux sonar sont adaptés au comportement. Ainsi une chauve-souris est informée de ce que font les autres, en particulier si des proies sont capturées. Des captures nombreuses informent sur la richesse des ressources alimentaires. Dans ce type de situation, des cris de possession du territoire de chasse sont émis.

## Conclusion

Le monde acoustique des chauves-souris apparaît dans une grande richesse. Dans l'état actuel de nos connaissances, qui évoluent chaque jour, on peut connaître le comportement et la plupart des espèces sans que l'observateur perturbe l'observé. Comme il s'agit d'ultrason, une technologie est nécessaire pour une transcription en images sonores ou graphiques. Le résultat dépend de la technologie utilisée qui doit être bien maîtrisée pour limiter les erreurs d'interprétation.