



Rémuce

Réseau des muséums
de la région Centre

ISSN en cours

SYMBIOSES LYCÉENNES

Quand les lycées et la recherche en Région Centre
se rencontrent sur les Sciences de la Vie et de la Terre !

CAHIER N°4

SOMMAIRE

- Des ultrasons au sonar
- Ecouter l'in audible
- Les ultrasons - ceux émis par les chauves-souris
- Le sonar - l'écholocation
- Entendre les ultrasons
- Connaissances apportées
- Ecouter les chauves-souris pour les aider
- Références documentaires

Mots clefs :

ultrason, écholocation,
détecteur d'ultrasons,
sonar, chauve-souris

Les ultrasons

L'oreille humaine perçoit seulement les sons qui ont une fréquence entre 20 et 20 000 hertz. Nous ne pouvons pas entendre les infrasons (en dessous de 20) ni les ultrasons (au-delà de 20 000)... mais ces sons existent !

Certains animaux utilisent les infrasons ou les ultrasons. Les chauves-souris émettent et perçoivent les ultrasons.



Gueule ouverte, ce vespertilionidé émet ses ultrasons

Ecouter l'in audible, les ultrasons des chauves-souris

Michèle Lemaire (*)



Mammifères volants et nocturnes, les chauves-souris ou **Chiroptères**, sont des êtres particuliers qui ont développé des adaptations originales pour leur mode de vie. Que les chauves-souris réussissent à se déplacer sans problème dans des espaces totalement obscurs a troublé particulièrement les premiers naturalistes. De nombreuses hypothèses et expériences ont été menées pour percer ce mystère, jusqu'à la découverte de leur sonar.

Contrairement à une idée reçue, ce n'est pas la chauve-souris qui a conduit à l'invention du sonar, mais la mise au point du sonar qui a permis d'expliquer leurs déplacements aériens. Il aura fallu près de deux siècles pour percer le mystère de la "vision" nocturne des chauves-souris.

Capter leurs ultrasons, les décrypter permet de comprendre leur biologie, leur comportement et ensuite de mieux les préserver.

(*) Michèle Lemaire, Muséum d'histoire naturelle, Les Rives d'Auron, 18000 BOURGES - direction@museum-bourges.net

Remerciements à :

- Patrick Bernard, Institut d'écologie appliquée, 45800 St Jean de Braye - Tél. : 02 38 86 90 90 - iea45@wanadoo.fr
- Centre de Ressources Historiques de l'ESPCI.

Pour le relecture : Mathieu Beauvais - mat.beauvais@libertysurf.fr

Photos : © Laurent Arthur, Muséum de Bourges - info@museum-bourges.net



Région Centre

Les caractéristiques des ultrasons

Définition

L'ultrason, comme le son, est une onde produite par la vibration mécanique d'un support fluide ou solide et propagé grâce à l'élasticité du milieu environnant sous forme d'ondes longitudinales.

Dans l'air, élément compressible, le son se propage sous forme d'une variation de pression créée par la source sonore. Seule la compression se déplace et non les molécules d'air (si ce n'est de quelques micromètres).

On peut comparer ce phénomène aux ronds dans l'eau : les vagues se déplacent mais l'eau reste au même endroit, elle ne fait que se déplacer verticalement et non suivre les vagues ; un bouchon placé sur l'eau reste à la même position sans se déplacer.

Unité de mesure

Le hertz (Hz) est l'unité de fréquence. Il est équivalent à une oscillation par seconde.

Son nom provient du physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz qui a apporté d'importantes contributions scientifiques au domaine de l'électromagnétisme. Compte tenu de leur nombre important d'oscillations, les ultrasons sont mesurés en kHz (1 kHz = 1000 Hz).

Les ultrasons émis par les chauves-souris

Les émissions ultrasonores des chauves-souris d'Europe sont d'une extrême diversité. Elles sont produites par expiration de l'air qui fait vibrer le larynx, passent par les résonateurs que sont le pharynx, puis, suivant les espèces, le nez (famille des rhinolophidés*) ou la bouche (famille des vespertilionidés**).

Les variables qui comptent

L'intensité

Bien que ces sons soient inaudibles pour l'homme, leur intensité peut être très forte. Une noctule volant en plein ciel émet des ultrasons dont l'intensité est supérieure à celle que l'on peut enregistrer à proximité d'un marteau piqueur à distance égale, soit plus de 100dB ! Mais si des chauves-souris lancent des cris puissants audibles à plus de cent mètres, d'autres ne "chuchotent" leurs signaux perceptibles qu'à quelques dizaines de centimètres devant elles.

Le rythme

Le nombre de cris par seconde, ou rythme, est également variable suivant les situations : il sera rapide ou lent, régulier ou arythmique. La succession de ces cris oscille entre 10 et 100 signaux par seconde.

La fréquence

Les fréquences pratiquées par les chauves-souris françaises s'échelonnent de 12 à 120 kHz suivant les espèces. Chacune possède sa propre plage d'utilisation de fréquence.

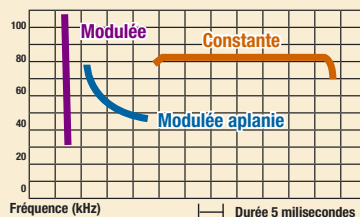
Chez les chauves-souris, on peut distinguer deux types d'émissions :

- Des signaux émis à **fréquence constante**, de plusieurs dizaines de millisecondes. C'est le cas de la famille des rhinolophidés. Leur fréquence élevée (plus de 80 kHz), la durée longue d'émission (65 millisecondes) permettent de repérer et identifier des proies à courte distance, en milieu encombré. Une brève modulation en fin d'émission donnera précisément la distance.

- Des signaux en **fréquence modulée** et brefs, sans chevauchement

avec l'écho. Typique chez les vespertilionidés, d'une durée de 1 à 5 millièmes de seconde, ils semblent mieux appréhender la distance et la direction des objets visés.

Le monde vivant n'étant jamais aussi tranché, certaines espèces ont des émissions intermédiaires avec des fréquences quasi-constantes à très faible modulation, d'autres des cris associant d'abord une partie modulée puis une fin quasi-constante pour répondre à diverses stratégies (modulée aplanie).



* Rhinolophidés :

c'est la structure du museau en forme de feuille nasale et l'accroche systématique de l'animal, pendu tête en bas enveloppé dans ses ailes, qui caractérisent le plus cette famille.



Rhinolophidés

** Vespertilionidés :



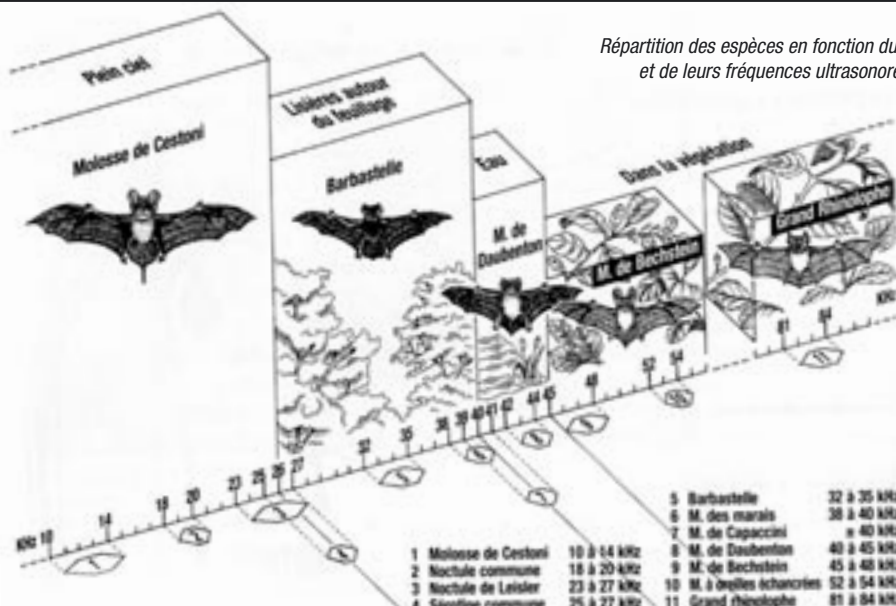
Vespertilionidés

Des très importantes variations de taille et d'aspect apparaissent au sein de la plus grande famille de chauves-souris d'Europe.

En commun, un museau de type museau de souris. Longueur de l'avant-bras, forme des oreilles et du tragus (petit pavillon interne à l'oreille) permettent leur différenciation.

En prenant en compte les 3 variables - fréquence, intensité et rythme - le biologiste pourra étudier les émissions ultrasonores des chauves-souris.

Répartition des espèces en fonction du milieu et de leurs fréquences ultrasonores



Le sonar

Le sonar est l'acronyme de SOund NAVigation Ranging qui désigne un système de détection fondé sur la réflexion des ondes sonores en milieu marin. Un système sonar émet généralement des impulsions ultrasonores et reçoit les ondes réfléchies par les obstacles (écho retour) à l'aide d'un capteur sensible. Ces échos peuvent être convertis en images.

La découverte du sonar

Pierre Curie, le mari de Marie Curie (tous les deux Prix Nobel de physique en 1903 puis de chimie en 1911) avait trouvé en 1880 comment produire des ultrasons artificiellement.

Paul Langevin, leur ancien assistant, avec l'ingénieur Constantin Chilowski, étudia ensuite les propriétés des ultrasons dans l'eau et réalisa le premier appareil "sonar" en 1915/1916. Langevin considérait qu'il était redevable à Pierre Curie pour sa découverte et de ce fait partagea les gains du brevet déposé sur cette invention avec lui.

Le "sonar" devint la méthode pour localiser les sous-marins et les icebergs (découvert trois ans après l'accident du Titanic !) pendant la deuxième guerre mondiale. La découverte de Paul Langevin a ainsi permis des progrès importants dans le domaine de l'aide à la navigation, elle est utilisée par les bateaux de pêche et les sous-marins comme moyen de détection (de bancs de poissons ou de navires ennemis), plus tard dans le contrôle de la variation des sols immergés (carte des fonds marins) et aussi pour l'imagerie médicale (échographie).



Paul Langevin à Toulon lors d'essais du sonar à bord de "l'orage", 1919.

La découverte du sonar chez les chauves-souris

Ce n'est qu'en 1938, à la suite de la découverte du sonar, que les américains Donald R. Griffin et G. Pierce montrent expérimentalement qu'une espèce de chauve-souris américaine émet des ultrasons que l'on peut entendre avec une parabole de détection. La bande de fréquence ne sera déterminée qu'en 1941 par D.R. Griffin et R. Galambos au Harvard medical school laboratory à l'aide d'une machine qui émet, capte et enregistre des fréquences ultrasonores.

Echolocation ou Sonar... ? Un sonar biologique

L'écholocation est la méthode pour certains animaux, chauves-souris, mammifères marins, de percevoir leur environnement (localisation dans l'espace, localisation des proies, des obstacles, etc.) en utilisant le principe du sonar. L'écholocation consiste donc en l'émission de sons puis la récupération de leur écho par un même individu. La durée mise pour que l'onde revienne, la nature des ondes renvoyées parmi toutes celles émises, permettent de localiser et d'identifier les éléments rencontrés. La chauve-souris reçoit, analyse et interprète les échos issus de ses propres cris ultrasonores grâce à son système auditif.

Les oreilles externes, mobiles et de formes variées, et le conduit avant le tympan sont utiles pour repérer la direction (grâce à la stéréo) et amplifier les sons. L'oreille moyenne, du tympan à la fenêtre ovale, adapte, filtre les fréquences réceptionnées et les transforme de vibrations aériennes en vibrations solides. Ensuite, dans l'oreille interne elles passent en vibrations liquides qui déclenchent l'influx nerveux transmis jusqu'au cerveau pour analyser les informations.

En milieu aérien, les chauves-souris ont besoin d'une détection des obstacles opérationnelle en 3 dimensions pour : une estimation de la distance + une estimation de la direction + une identification de l'obstacle.

Des utilisations des ultrasons

Nettoyage des lunettes, des bijoux, détartrage des dents. En plus de l'eau savonneuse, les ultrasons nettoient les assiettes sales. Une technique par ultrasons a été mise au point pour détruire certains polluants.

En métallurgie : utilisés pour le dégazage des métaux.

En médecine : traitement des névralgies, détermination de lésions localisées de certains organes ou tissus, recherche d'anomalies dans la boîte crânienne, au niveau des cordes vocales, observation de l'œil ou échographie.

Comment les chauves-souris se déplacent-elles dans la nuit totale ? Les hypothèses des siècles précédents

Au XVIII^e siècle, en 1794 Lazzaro Spallanzani et Louis Jurine sont les premiers à pratiquer en laboratoire des expériences pour percer le mystère du "sixième sens" des chauves-souris. Pour confirmer l'hypothèse selon laquelle la vue ne peut être le sens utilisé par les chauves-souris pour se diriger dans la nuit, ils crèvent les yeux de quelques animaux puis les font voler dans des pièces obscures, souvent encombrées d'objets ou de fils tendus reliés à des clochettes ! Constat : même aveugles, les chauves-souris évoluent sans se cogner aux obstacles. Progressant avec une méthodologie toujours scientifique mais toute aussi traumatisante, on teste les autres sens. Lorsque les conduits auditifs sont obstrués avec de la cire ou... crevés, surprise ! Les chauves-souris perdent soudain toute perception de l'espace. L'ouïe semble être le sens utilisé par les chauves-souris pour se déplacer dans la nuit.

Au XIX^e siècle, certains zoologistes, comme Georges Cuvier, pensent que le toucher de l'air au niveau des ailes permet de capter chaleur, froid, mobilité, résistance et donc d'interpréter les obstacles. L'hypothèse appuyée par l'autoritaire Cuvier occultera celle de Spallanzani.

En 1900, Raymond Rollinat (naturaliste berrichon) et Edouard Trouessart reprennent les expériences de Spallanzani. Ils en concluent que l'ouïe joue un rôle essentiel, tout en concédant que le toucher au niveau des oreilles pourrait assurer un rôle d'antenne.

En 1920, H. Hardridge, physiologiste anglais, pense que les chauves-souris émettent des sons "supersoniques", non audibles.

Il faudra ensuite attendre la découverte des ultrasons et du matériel pour les capter...

Entendre les ultrasons

Pour percevoir les cris ultrasonores, il est indispensable de se munir d'un **détecteur d'ultrasons** adapté qui les transformera en sons que nous entendons. Les détecteurs sont constitués d'un microphone qui capte les ultrasons et d'un système électronique qui transforme les fréquences réceptionnées en sons audibles pour l'homme (en dessous de 12 000 Hz). Cependant, les chauves-souris émettent des cris si brefs que, même rendus audibles, il est impossible à notre oreille de différencier ces crépitements. Il faut ralentir les cris enregistrés d'un facteur de 10 à 20 pour nous faire saisir les différences existantes et (ou) ajouter au récepteur un logiciel d'analyse qui déterminera avec précision les fréquences ultrasonores.

La transformation des ultrasons en sons audibles

Elle peut se faire selon plusieurs techniques. Les plus courantes sont :

- **La division de fréquence**, méthode en temps réel, qui transforme tout le domaine ultrasonore en sons audibles en divisant les fréquences pour les ramener dans les limites audibles. Si on divise par 10 un cri de 50 kHz, il sera entendu à 5 kHz.
- **L'hétérodynage** qui est une méthode plus sensible également en temps réel. Le son

émis est le résultat de la différence entre le son capté et le son ajusté sur le récepteur par l'utilisateur. Plus le son est grave, plus la différence est faible, jusqu'au silence lorsque les 2 fréquences sont égales (appelé battement zéro). L'utilisateur doit choisir la fréquence qu'il veut écouter.

L'analyse

- **L'expansion de temps** étire le signal dans le temps, et il devient possible d'entendre des détails du son qui ne seraient pas audi-

bles avec d'autres méthodes (comparable à un enregistrement sur un magnétophone à grande vitesse que l'on repasse à une vitesse plus lente). Très utilisée en laboratoire, l'expansion de temps est la seule technique de transformation des ultrasons qui conserve l'ensemble des caractéristiques du signal original.

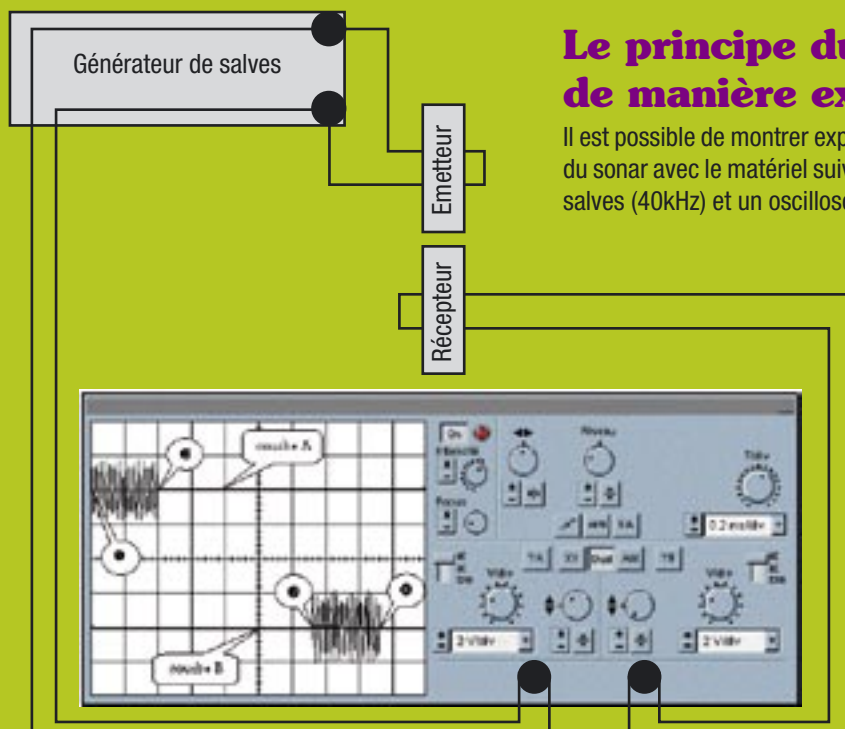
- **Une carte d'acquisition**, couplée à un ordinateur, est une autre solution. Le signal est immédiatement disponible pour une analyse acoustique, les possibilités d'enregistrement et de lecture sont facilitées.



Différents détecteurs commercialisés :

- Le MICROBAT, détecteur le plus simple, permet de découvrir le monde ultrasonore dans lequel nous baignons.
- Le BATBOX III est destiné à la localisation des chauves-souris mais avec peu de précision sur les espèces.
- La série des D-200, plus performante, permet de lire les fréquences des ultrasons avec précision.
- L'usage des D-940 et D-980 avec logiciel d'analyse (BATSOUND) et carte son sur ordinateur est réservé aux scientifiques ou aux amateurs ayant effectué une formation.

Il existe plusieurs types de représentation des sons qu'on utilise suivant ce qu'on cherche : spectrogrammes, densités spectrales, oscillogrammes, mesures de durée et intervalles entre les cris.



Le principe du sonar de manière expérimentale

Il est possible de montrer expérimentalement le principe de l'écholocation par la technique du sonar avec le matériel suivant : un émetteur et un récepteur ultrasons, un générateur de salves (40kHz) et un oscilloscope.

La science qui étudie les sons s'appelle l'**acoustique**.

La **bioacoustique** étudie les sons produits par les animaux ou la nature en général.

La **psychoacoustique** combine l'acoustique avec la physiologie et la psychologie pour déterminer la manière dont les sons sont perçus et interprétés par le cerveau.

Connaissances apportées sur les chauves-souris

Un même individu utilisera une plage de fréquence précise et pourra faire varier l'intensité ou le rythme en fonction des paramètres extérieurs. Ces signaux sont donc pour les biologistes à la fois une signature de l'espèce mais aussi des informations sur le comportement de l'individu capté.

Identifier des espèces

L'identification des espèces est toujours complexe à cause des diverses structures de cris possibles. Une espèce fera varier ses émissions suivant le milieu où elle se trouvera et chaque espèce dans un même milieu adaptera ses émissions suivant ses techniques de chasse et son régime alimentaire. Bravant cette complexité, avec beaucoup d'expérience, des chiroptérologues sont capables d'identifier les espèces captées par leurs détecteurs... L'identification servira notamment aux inventaires.

Analyser le comportement

La détection permet à la fois d'entendre les individus, de déterminer leur comportement et d'identifier la nature du milieu. On distingue essentiellement s'ils sont en déplacement ou en activité de chasse.

Vol de transit

Lorsqu'une chauve-souris se déplace avec un vol relativement rectiligne de son gîte vers un territoire de chasse, ou entre deux zones de chasse ou pour retourner au gîte, elle émet uniquement des cris de détection d'obstacles, ceux-ci sont brefs et espacés... tant qu'il n'y a pas d'obstacle. Pour le biologiste, le repérage par détecteur est bref car le contact se fait au passage et donc n'est capté qu'un court moment.

Il faut aussi tenir compte qu'en zone dégagée, la fréquence émise est celle propre à l'espèce, avec un rythme lent et des cris longs et qu'en milieu encombré, ce rythme s'accélérera. Un exemple : la Sérotine commune en déplacement émettra en plein ciel à 23 kHz, 3 à 4 cris par seconde de 12 à 14 ms.

Une petite expérience : déplacez-vous en ouvrant le moins possible les yeux dans une salle avec une seule chaise au milieu ; recommencez la manip en mettant 15 chaises... Vous serez obligé de regarder plus souvent dans la salle encombrée. Ce que vous faites avec les yeux, la chauve-souris le fait avec le sonar.



Ce rhinolophe émet ses ultrasons par le nez

Vol de chasse

• **Recherche de proie** : la chauve-souris qui recherche des proies évolue sur un territoire précis. Le repérage par détecteur est plus aisé car la chauve-souris évolue dans un volume limité, souvent en volant en cercles à la recherche de proies ce qui permet d'entendre un temps suffisant d'émission pour l'interpréter.

- **Identification de la proie** : la chauve-souris l'identifie par analyse de la structure de l'écho formé sur l'aspect de la cible.
- **Poursuite de la proie** : Pendant la poursuite, la chauve-souris accélère le rythme ; l'écho revenant plus vite, la chauve-souris réémet plus vite mais en même temps elle diminue l'intensité avec le rapprochement de la proie. Le détecteur émet alors des crépitements furtifs en hétérodynage ou en division de fréquence. Tout en accélérant son rythme d'émission, elle module dans sa plage de fréquence pour préciser la distance, augmente les fréquences principales et maximales pour obtenir une meilleure directivité, elle maintient une basse fréquence pour la direction, toujours en ajustant l'intensité à la distance de l'obstacle.
- **Capture** : l'intensité diminuant avec l'approche de la proie, la capture ne s'entend pas et se perd dans le bruit de fond.

Chiroptérologue, un métier ?

Propos recueillis par Michèle Lemaire.

- **Symbioses** : quel est votre métier ?
- **Patrick Bernard** : je suis écologue dans un bureau d'étude qui travaille dans le domaine de la prise en compte des milieux naturels dans le cadre de projets (tracés d'autoroutes, implantations de carrières, urbanisation...).
- **Symbioses** : est-ce le métier dont vous rêvez ?
- **P.B.** : oui, vraiment. Finalement on est peu nombreux en ayant fait des études d'écologie à travailler dans l'écologie pure.
- **Symbioses** : quelles études avez-vous menées et sont-elles adaptées à votre métier ?
- **P.B.** : j'ai une maîtrise de biologie des organismes et des populations (bac+4 en écologie), c'est en adéquation avec mon métier.
- **Symbioses** : qu'est-ce qui vous a attiré chez les Chiroptères ?
- **P.B.** : je me suis intéressé tardivement aux chauves-souris. Au départ c'était le défi, la difficulté de les identifier alors qu'il y a peu d'espèces en France par rapport à des groupes comme les insectes. Puis, ce qui m'a séduit et me séduit encore, c'est la faible connaissance du début et les progrès faits avec les nouvelles techniques de recherche dont la détection ultrasonore. J'aime aussi pour les liaisons avec les autres pans de l'écologie, les milieux diversifiés à prospecter allant des territoires de chasse variés suivant les espèces, prairies, forêts, villages... aux sites d'hibernation cavernicoles (un côté spéléologie pas désagréable). J'en tire une grande joie intellectuelle qui illustre pour moi la biologie, science de synthèse sur du vivant et donc, où tout n'est pas tout à fait exact.
- **Symbioses** : comment préférez-vous côtoyer les chauves-souris, lors de votre métier ou lors de vos loisirs ?
- **P.B.** : j'ai la chance de vivre de mes passions. Je ne différencie pas les moments de travail de mes loisirs.
- **Symbioses** : votre plus grand plaisir en rapport avec les chauves-souris ?
- **P.B.** : la nuit. L'étude des chauves-souris se fait de nuit, grand moment privilégié pour observer mammifères et amphibiens.

Ecouter les chauves-souris pour les aider

En s'appuyant sur l'écoute des ultrasons lors d'études d'impact, on peut indiquer aux commanditaires les espèces inventoriées, le nombre d'individus et l'intérêt du milieu pour les espèces.

Quelques exemples

- **Lorsque des zones de transit** croisent des projets d'axes routiers, des aménagements pourront être proposés pour éviter des collisions entre chauves-souris et véhicules. Lors du tracé de la rocade à l'est de Bourges, des repérages des transits ont été menés avant et après l'ouverture de la rocade aménagée.

- **La détection ultrasonore couplée à la technique de radiopistage**



Radiopistage

sur plusieurs individus d'une même colonie précise les différents territoires de chasse de la colonie et l'aire de déplacement des individus. Dans le Cher, une colonie de murins à oreilles échancrées a été suivie avec ces techniques mettant en évidence zones de transits et territoires de chasse jusqu'à 25 Km du gîte de la colonie.

- **Les zones de chasse** fréquentées par de nombreux individus sont prioritaires pour la sauvegarde des chauves-souris. De nombreux défenseurs des chauves-souris tentent vainement de mettre en protection ces zones notamment dans le cadre de la directive européenne Natura 2000.

- **Couplage ballon et détecteur**, mise au point d'une technique pour repérer les chauves-souris volant en altitude.

Le muséum de Bourges a développé une nouvelle technique pour enregistrer les chauves-souris en altitude avec comme but d'amener une réponse concrète quant à l'impact éventuel des implantations d'éoliennes sur les chiroptères.

Après de nombreux tests, un dirigeable captif en uréthane, type zeppelin de 2.7 m³ pouvant emporter une charge utile de 800 g a été retenu. Le matériel embarqué pour la détection était un Batbox III réglé sur 40kHz, fonctionnant en hétérodyne et branché sur un enregistreur minidisc.

Trente nuits ont été consacrées à l'écoute, avec pour chaque nuit, près de trois heures d'enregistrement. Les sites retenus étaient des sites potentiels pour de futurs champs d'éoliennes. Les mesures ont été effectuées essentiellement en Région Centre (Champagne céréalière et Beauce) et en Bretagne (zone mixte de bocage). Il en est ressorti trois facteurs : une hétérogénéité très importante entre les transits au sol et à 80m, une différence du nombre de contacts en fonction des milieux (bocage, forêt, culture) et une absence de signaux des genres rhinolophes et *Myotis* en altitude sur l'intégralité des sites. Les espèces identifiées sont toutes des genres Pipistrelle et Noctule, reflet de ce que laissait présager les ramassages de cadavres au pied des éoliennes. En effet, en Allemagne de 2001 à 2003, et en France la même année, seuls les cadavres de ces deux genres ont été retrouvés.

Le développement de ce type de matériel pourra servir de base à tout autre type d'étude sur les chauves-souris volant en plein ciel.



Couplage ballon et détecteur

TP et TPE et autres pistes :
> construire un détecteur d'ultrasons, les chauves-souris d'un centre-ville

Références documentaires

- Arthur L., Lemaire M., *Les chauves-souris maîtresses de la nuit*, Delachaux et Niestlé, 2005, 272 p.
Barataud M., *Ballades dans l'inaudible*, Sittelle, 1996, 2 CD.
Collectif, *Symposium Jurine - Echolocation des chauves-souris*, Le Rhinolophe 11, Genève, 1995, 111 p.
Lemaire M., Arthur L., Morin A., Prévost C., "Etude du transit des chauves-souris et aménagements autour de la rocade est de Bourges (France)", *Symbioses* 15, 2006.
Schober W., Grimmberger E., *Guide des chauves-souris d'Europe*, Delachaux et Niestlé, 1991, 222 p.
Tupinier Y., *L'univers acoustique des chiroptères d'Europe*. Société linnéenne de Lyon, 1996, 131 p.

Histoire des sciences

- Cuvier G., *Conjectures sur le sixième sens qu'on a cru remarquer dans les chauves-souris*, in *Magasin encyclopédique*, Paris, 1795.
Griffin D.R., *Listening in the dark - The acoustic orientation of bats and men*. Yale university press, 1958, Cornell university, 1986, 415 p.
Hartridge H., *Acoustic control in the flight of bats*, *Nature* 156, 1945.
Rollinat R., *Courriers*. Archives Muséum de Bourges.
Spallanzani L., *Opere di Lazzaro Spallanzani*, Società tipogr. de classici italiani, Milan, tome 6, 1825-1826.

Sites utiles :

- Chauves-souris Européennes : www.museum-bourges.net
Bioacoustique et détecteurs d'ultrasons : <http://www.ceba.fr/fr/>
Société française pour l'étude et la protection des mammifères : www.sfepm.org
Natura 2000 : <http://natura2000.environnement.gouv.fr/>