



Agir pour les mammifères sauvages de Bretagne
et leurs habitats

Groupe Mammalogique Breton • www.gmb.bzh

LES TECHNIQUES DE D'ÉTUDE ET DE SUIVI DES CHAUVES-SOURIS À L'AIDE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

EVE LÉGLISE

SEPTEMBRE 2026



LÉGLISE Ève, 2026. *Synthèse bibliographique sur les techniques d'étude et de suivi des chauves-souris à l'aide de nouvelles technologies*. Rapport. Groupe Mammalogique Breton, Sizun. 25 p. + annexes

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES TECHNIQUES D'ÉTUDE ET DE SUIVI DES CHAUVES-SOURIS À L'AIDE DES NOUVELLES TECHNOLOGIES

Contexte

Les chauves-souris sont des mammifères nocturnes et difficiles à observer directement. De plus, leurs cris sont souvent inaudibles par l'humain. Le suivi de ce groupe repose donc, depuis un certain temps, sur des méthodes telles que le baguage des animaux, le comptage visuel direct, la détection acoustique active ou la télémétrie VHF (Very High Frequency). Ces approches peuvent se révéler assez invasives, limitées selon l'espèce suivie et le milieu dans lequel l'animal évolue et coûteuses en moyens humains. Pour connaître précisément le comportement et les différents gîtes et ainsi mieux protéger les chauves-souris, un besoin se fait ressentir pour des suivis plus fins et moins invasifs. Le développement de nouvelles technologies permet de répondre à cette problématique. L'objectif étant de combiner plusieurs approches pour obtenir une vision la plus complète possible du comportement des chauves-souris. Chaque technologie répond à un besoin différent : localisation des gîtes, comportement de chasse, présence, diversité spécifique et origine des individus.

Dans cette synthèse, la technologie VHF traditionnelle sera premièrement présentée puis nous passerons en revue les nouvelles technologies qui permettent un suivi plus fin et automatisé de l'écologie et du comportement des chauves-souris :

- Balises GPS miniaturisées
- Détection acoustique automatisée
- Suivi automatisé par imagerie
- Métabarcodage et ADN environnemental
- Analyse des isotopes stables
- Internet of Things (IoT) : réseaux basse consommation, longue portée

Chaque fiche suit la même structure : elle commence par une description de la technique, puis présente les paramètres que la technique exploite, et les métriques associées. Les principaux avantages et limites sont ensuite discutés, avant d'illustrer la méthode par quelques exemples de programmes, lorsqu'ils existent.

Plan des fiches

Description de cette technique

Paramètres exploités

Métriques utilisées

Avantages et limites

Exemples de programme utilisant cette technologie

Références

A la fin de cette synthèse, nous expliquons également plus précisément le principe de quelques technologies spécifiques telles que Sigfox, Motus, Mobile-BAT et ATLAS.

Une clé de décision, résumant l'ensemble des méthodes nouvelles et la télémétrie VHF, leurs avantages et inconvénients principaux, et sa notice d'utilisation est proposée en annexe de cette synthèse.



Télémétrie VHF traditionnelle

Outil standard et le plus courant pour le suivi des petites chauves-souris.

Description de cette technique

- Un **émetteur** sur le dos de l'animal, émettant un signal électromagnétique sur une fréquence radio spécifique.
- Un **système de réception**, composé d'une antenne et d'un récepteur convertissant le signal radio en bip sonore audible ou données numériques. Changement de la fréquence du bip ou de l'intensité sonore en fct de la distance entre l'émetteur et l'antenne.
- Deux types de suivi :
 - o **Suivi manuel** : localisation de l'animal à pied ou en véhicule avec la technique du 'homing-in' (se rapprocher autant que possible de l'animal, c'est-à-dire percevoir le bip de l'émetteur dans toutes les directions avec le gain du récepteur au minimum, l'animal se trouve à +/- 50 m) ou par triangulation.
 - o **Suivi automatisé** avec des stations fixes : enregistrement des signaux par des réseau comme tRackIT ou Lotek SRX-800. Captation de la puissance du signal, la fréquence et la durée.

Paramètres exploités

- Puissance et variations du signal
- Direction du signal et position géographique de l'animal par utilisation d'antennes directionnelles.
- Fréquence radio différente pour chaque émetteur → suivi de plusieurs indiv de manière simultanée sans confusion.
- Durée du signal et heure de réception.

Métriques utilisées

- **Détection des mouvements** par calcul de la variance, de l'écart-type et de la somme des carrés de la puissance du signal.
- **Forme de la distribution** de la puissance du signal pour classer l'activité : ChS active ou passive.
- **Précision de la localisation** en fonction du gain du récepteur en « Homing-in » et/ou de la finesse de la triangulation
- **Suivi de l'activité** : durée totale de l'activité, heure de début et de fin d'activité, nombre et durée des pauses, et heure de pic d'activité.
- **Sélection de l'habitat** : distance par rapport aux éléments du paysage pour déterminer les préférences de gîte ou de chasse, comparaison des milieux avec les plus fortes densités de localisations (analyses Kernel) avec les milieux disponibles (analyse de « Minimum Convex Polygon » ou autre).
- Préférence pour les arbres émergents → différence entre la hauteur max d'un arbre abritant des ChS et la hauteur moyenne des arbres de cette forêt.



De performance

- **Précision globale** : score F1, sensibilité et spécificité → fiabilité de la distinction entre le repos et le vol.

Avantages et limites

Avantages

- Émetteurs très légers (les plus petits à 0.15 g).
- Coût raisonnable des émetteurs.
- Précision de localisation : ~ 5 mètres si utilisation de la triangulation mais peut aller jusqu'à quelques kilomètres.

Limites

- Moyens humains nécessaires très lourds avec des nuits entières de travail de plusieurs personnes (3 équipes de 2 personnes pour le suivi d'une ChS, *source : Dubos T. comm. pers.*).
- Portée limitée par des obstacles physiques comme la végétation dense ou le relief, et portée typique de quelques centaines de mètres à 3-4 km en conditions de terrain en Bretagne.
- Sensibilité aux variations environnementales (T°C, humidité).
- Aléa du matériel → endommagement des antennes des émetteurs par les chauves-souris, dysfonctionnements réguliers des émetteurs de par leur miniaturisation.
- Autonomie moyenne : de quelques jours à quelques semaines.

Exemples de programme utilisant cette technologie

- Dans le cadre du projet européen POIA (Programme Opérationnel Interrégional du Massif Alpin) financé par le FEDER : analyse du comportement des chauves-souris dans les zones forestières et comparaison de leur activité et la fonctionnalité des milieux (ONF, 2020 – 2022).
- Système tRackIT : système de radio-télémétrie automatique, positions en temps réel (<https://trackit.systems/en/radiotelemetry/>).

Références

AUGUSTEYN, John, HUGHES, Jane, ARMSTRONG, Graeme, REAL, Kathryn et PACIONI, Carlo, 2017. Tracking and tracing central Queensland's Macroderma – determining the size of the Mount Etna ghost bat population and potential threats. *Australian Mammalogy*. 2017. Vol. 40. DOI [10.1071/AM16010](https://doi.org/10.1071/AM16010).

EPSTEIN, Jonathan H. et NEWMAN, Scott H., 2011. The use of telemetry to understand bat movement and ecology. In : *Investigating the role of bats in emerging zoonoses: balancing ecology, conservation and public health interest*. Rome : FAO. pp. 151-161. FAO animal production and health, 12. ISBN 978-92-5-107028-4.

GOTTWALD, Jannis, ROYAUTÉ, Raphaël, BECKER, Marcel, GEITZ, Tobias, HÖCHST, Jonas, LAMPE, Patrick, LEISTER, Lea, LINDNER, Kim, MAIER, Julia, RÖSNER, Sascha, SCHABO, Dana G., FREISLEBEN, Bernd, BRANDL, Roland, MÜLLER, Thomas, FARWIG, Nina et NAUSS, Thomas, 2023. Classifying the activity states of small vertebrates using automated VHF telemetry. *Methods in Ecology and Evolution*. 2023. Vol. 14, pp. 252-264. DOI [10.1111/2041-210X.14037](https://doi.org/10.1111/2041-210X.14037).

LAWTON, Katie, 2021. *Exploring premature detachment of radio-transmitters used on bats in telemetry surveys*. Fort Worth : Department of Environmental Sciences Texas Christian University.

OFFICE NATIONAL DES FORÊTS, 2023. FEDER POIA - Comprendre pour préserver - Utilisation de la trame verte forestière par les chauves-souris dans les Alpes françaises. *Office national des forêts* [en ligne]. 27 juillet 2023. [Consulté le 16 avril 2026]. Disponible à l'adresse : <https://www.onf.fr/onf/+1b77::feder-poia-comprendre-pour-preserver-utilisation-de-la-trame-verte-forestiere-par-les-chauves-souris-dans-les-alpes-francaises.html>

SALGANEK, Skye, WELLER, Theodore J. et SZEWCZAK, Joseph M., 2022. Autumn roost-site selection by male hoary bats (*Lasiurus cinereus*) in northern California. *Journal of Mammalogy*. 1 octobre 2022. Vol. 103, n° 5, pp. 1103-1111. DOI [10.1093/jmammal/gyac055](https://doi.org/10.1093/jmammal/gyac055).



Balises GPS miniaturisées

Défi technique consistant à réduire le poids des balises pour respecter la règle expliquant qu'il ne faut pas que le matériel dépasse 5 % (ou 10% dans certaines circonstances) du poids de l'animal.

Description de cette technique

- Utilisation de balises légères (entre 0.95 g – Pathtrack nanoFix – à 1.5 g – Technosmart Gipsy 6) comprenant un module GPS, une antenne, un microcontrôleur pour coordonner les tâches, une mémoire de stockage (EEPROM ou FRAM) et une batterie.
- Récupération des données de deux manières : **Data Loggers** (données stockées dans la balise, nécessité d'une recapture de l'animal ou récupération de la balise si elle est tombée) ; **téléchargement à distance** (transfert des données par liaison radio UHF, Bluetooth ou satellite pour des systèmes comme ARGOS ou ICARUS – récupération par satellite souvent plus lourde et énergivore).

Paramètres exploités

- Données de localisation (**coordonnées géographiques X, Y**) pouvant être précises à quelques mètres près.
- **Altitude (Z)** : moins précise que la position horizontale.
- **Accélérométrie** : accélération corporelle dynamique globale, permettant de distinguer la phase de repos, le vol stable ou la phase de chasse active.
- **Capteurs environnementaux** : température, pression atmosphérique, niveaux de lumière, ...

/!\ Plus il y a de capteurs sur la balise, plus elle est lourde.

Métriques utilisées

De performance technologique :

- **Nb de fixes** : nb total de localisation GPS enregistrées par balise.
- **Taux de succès des fixes (%)** : proportion de tentatives de localisation ayant réussi.
- **Précision** : utilisation de l'indice Horizontal Dilution of Precision (HDOP) et du nb de satellites captés pour un filtrage des données.
- **Autonomie de la batterie** (jours) : durée de vie opérationnelle de la balise avant épuisement de l'énergie.
- **Délai du premier point** (TTFF) : tps nécessaire pour obtenir une première position après l'activation.

Pour le suivi des ChS

- **Domaine vital** : calculé via des modèles de Kernel (95 % pour le domaine global et 50 % pour les aires de chasse) ou des polygones convexes minimaux (MCP).
- **Distance au gîte** (km) : distance moyenne ou max séparant le gîte de repos des terrains de chasse.
- **Vitesse de vol** (km/h ou m/s) : vitesse moyenne ou pics de vitesse lors des vols de transit.
- **Altitude de vol** (m) : mesurée par rapport au niveau de la mer, au sol (MNT) ou à la canopée (MNS) pour évaluer les risques de collision avec les éoliennes.



- **Angle de virage** (degrés) : distinguer les phases de chasse sinueuses des vols de transit rectilignes.
- **ODBA** (Overall Dynamic Body Acceleration) : indice d'accélération corporelle permettant de quantifier l'intensité de l'activité et de distinguer le repos du vol actif.
- **Temps de premier passage** (FPT) : temps mis par l'animal pour sortir d'un cercle de rayon défini.
- **Budget temps** : proportion de la nuit allouée à différentes activités.
- **Fidélité au site** : nb de nuits consécutives où un indiv retourne sur un même terrain de chasse.
- **Coefficient de chevauchement** : mesure la ségrégation spatiale ou le partage de ressources entre individus.
- **Proportion d'utilisation de l'habitat** (%) : pourcentage de points de localisation situés dans différents milieux.
- **Distance aux ressources** : variable de distance à l'eau ou aux arbres fruitiers pour modéliser la probabilité de présence.

Avantages et limites

Avantages

- Balises légères pour un suivi de petits animaux.
- Données assez précises (imprécision souvent inférieure à 10 mètres), calculs possibles de vitesses moyennes de déplacement, avec des détails sur les capacités de vol et les performances des animaux.
- Moyens humains réduits à la pose des balises et au relevé des récepteurs (potentiellement même inutile dans les cas de transmissions des données de localisation par réseaux de communication ou satellite), sans nécessité de suivre les animaux en temps réel et en continu.
- Suivi à longue distance possible.
- Distinction possible entre les phases de transit et de chasse et identification possible de sites d'intérêt tels que les gîtes secondaires, des corridors de vols préférentiels ou des arbres de nourrissage spécifiques.

Limites

- Obstruction du signal : signal GPS bloqué par les structures solides ou sous couvert forestier dense.
- Coût : balises commerciales onéreuses.
- Autonomie assez limitée (quelques jours) pour les balises les plus légères
- Précision verticale / altitude : méthodes de calibration complexes à l'aide de drones pour une validation de la fiabilité des données.

Exemples de programmes utilisant cette technologie

- ICARUS (International Cooperation for Animal Research Using Space) : programme international qui utilise les antennes de l'ISS (Station Spatiale Internationale) pour recevoir les données de balises GPS posées sur des oiseaux ou des chauves-souris pour suivre les migrations.
- Programmes liés à EUROBATS (Accord sur la conservation des populations de chauve-souris en Europe).
- Projet BATS : projet financé par la Fondation allemande pour la science (DFG) ayant pour but de suivre le comportement des chauves-souris en milieu naturel via un réseau de capteurs sans fil à ultra-basse consommation.



Références

- BEUCHER, Yannick, DARNIS, Thomas et PARMAIN, Vincent, 2021. Utilisation de balises GPS pour étudier l'écologie de la Grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*) : retours d'expériences. In : *Actes de la XVIIIe Rencontre nationale Chauves-souris de la S.F.E.P.M.* Bourges : Rémuce. mars 2021. pp. 37-48. ISBN 0395-8957.
- CASTLE, Kevin T., WELLER, Theodore J., CRYAN, Paul M., HEIN, Cris D. et SCHIRMACHER, Michael R., 2015. Using sutures to attach miniature tracking tags to small bats for multimonth movement and behavioral studies. *Ecology and Evolution*. juillet 2015. Vol. 5, n° 14. DOI [10.1002/ece3.1584](https://doi.org/10.1002/ece3.1584).
- CONENNA, Irene, LÓPEZ-BAUCELLS, Adrià, ROCHA, Ricardo, RIPPERGER, Simon et CABEZA, Mar, 2019. Movement seasonality in a desert-dwelling bat revealed by miniature GPS loggers. *Movement Ecology*. 16 août 2019. Vol. 7, pp. 27. DOI [10.1186/s40462-019-0170-8](https://doi.org/10.1186/s40462-019-0170-8).
- CVIKEL, Noam, EGERT BERG, Katya, LEVIN, Eran, HURME, Edward, BORISSOV, Ivailo, BOONMAN, Arjan, AMICHAÏ, Eran et YOVEL, Yossi, 2015. Bats Aggregate to Improve Prey Search but Might Be Impaired when Their Density Becomes Too High. *Current Biology*. janvier 2015. Vol. 25, n° 2, pp. 206-211. DOI [10.1016/j.cub.2014.11.010](https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.11.010).
- DUDA, Niklas, NOWAK, Thorsten, HARTMANN, Markus, SCHADHAUSER, Michael, CASSENS, Björn, WÄGEMANN, Peter, NABEEL, Muhammad, RIPPERGER, Simon, HERBST, Sebastian, MEYER-WEGENER, Klaus, MAYER, Frieder, DRESSLER, Falko, SCHRÖDER-PREIKSCHAT, Wolfgang, KAPITZA, Rüdiger, ROBERT, Jörg, THIELECKE, Jörn, WEIGEL, Robert et KÖLPIN, Alexander, 2018. BATS: Adaptive Ultra Low Power Sensor Network for Animal Tracking. *Sensors*. octobre 2018. N° 18. DOI [10.3390/s18103343](https://doi.org/10.3390/s18103343).
- FUJIOKA, Emyo, YOSHIMURA, Koki, UJINO, Tomohiro, YODA, Ken, FUKUI, Dai et HIRYU, Shizuko, 2020. *Selection of foraging and commuting habitats of the greater horseshoe bat, revealed by high-resolution GPS-tracking*. 21 février 2020.
- HURME, Edward, GURARIE, Eliezer, GREIF, Stefan, HERRERA M., L. Gerardo, FLORES-MARTÍNEZ, José Juan, WILKINSON, Gerald S. et YOVEL, Yossi, 2019. Acoustic evaluation of behavioral states predicted from GPS tracking: a case study of a marine fishing bat. *Movement Ecology*. 14 juin 2019. Vol. 7, n° 21. DOI [10.1186/s40462-019-0163-7](https://doi.org/10.1186/s40462-019-0163-7).
- LAGERVELD, Sander et MOSTERT, Kees, 2023. Are offshore wind farms in the Netherlands a potential threat for coastal populations of noctule? *Lutra*. 15 décembre 2023. Vol. 66, pp. 39-53. DOI [10.63269/SJL5380](https://doi.org/10.63269/SJL5380).
- MANDL, Isabella, ABDOL, Badrane Ben Ali, SAID, Ishaka, O'MARA, Teague, FLANDERS, Jon, CHAIHANE, Sourette Said Ali, LEWIS, Owen T., MOHAMED, Misbahou et DOULTON, Hugh, 2025. Home ranges, feeding sites, and daily movement behavior of the highly threatened Livingstone's fruit bat revealed through GPS tracking. *Conservation Science and Practice*. 12 décembre 2025. DOI [10.1111/csp2.70208](https://doi.org/10.1111/csp2.70208).
- NAĐO, Ladislav, LÖBBOVÁ, Denisa, HAPL, Ervin, CELUCH, Martin, UHRIN, Marcel, ŠARA, Michal et KAŇUCH, Peter, 2019. Highly selective roosting of the giant noctule bat and its astonishing foraging activity by GPS tracking in a mountain environment. *Mammal Research*. 20 juillet 2019. Vol. 64, n° 4, pp. 587-594. DOI [10.1007/s13364-019-00446-1](https://doi.org/10.1007/s13364-019-00446-1).
- NYSSSEN, Pierrette, BECKERS, Aarnaud, RENARD, Perrine et GODEAU, Jean-François, 2023. *Étude de l'utilisation de l'espace et du temps par le grand murin par GPS loggers miniaturisés, Rapport final*. Ecofirst et CSD Ingénieurs.
- RAVON, Sébastien, 2016. *Suivi GPS de Pteropus Lylei à l'interface chauves-souris humains : intérêt pour la conservation et l'étude du risque d'émergence du virus Nipah au Cambodge*. Thèse d'exercice. ENVT : Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.
- RERUCHA, Simon, JEDLICKA, Petr, HRABINA, Jan, CIZEK, Martin, MIKEL, Bretislav, CIP, Ondrej, BARTONICKA, Tomas et HELAN, Radek, 2017. Miniaturized GPS position logger for tracking of small mammals. In : *6th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*. Montenegro. juin 2017. pp. 1-4.
- ROELEKE, Manuel, BLOHM, Torsten, KRAMER-SCHADT, Stephanie, YOVEL, Yossi et VOIGT, Christian C., 2016. Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific Reports*. 4 juillet 2016. Vol. 6, n° 28961. DOI [10.1038/srep28961](https://doi.org/10.1038/srep28961).
- VINET, Olivier, COLOMBO, Raphaël, GATTUS, Jean-Christophe et BOURLON, Sophie, 2019. Étude télémétrique du Grand Rhinolophe dans le site Natura 2000 du massif du Luberon, été 2018 Test d'une technologie de télémétrie par GPS. *Courrier scientifique du Parc naturel régional du Luberon et de la Réserve de biosphère Luberon-Lure*. 2020 2019. N° 16, pp. 118-127.
- WELLER, Theodore J., CASTLE, Kevin T., LIECHTI, Felix, HEIN, Cris D., SCHIRMACHER, Michael R. et CRYAN, Paul M., 2016. First Direct Evidence of Long-distance Seasonal Movements and Hibernation in a Migratory Bat. *Scientific Reports*. 4 octobre 2016. Vol. 6, n° 34585. DOI [10.1038/srep34585](https://doi.org/10.1038/srep34585).
- WILD, Timm A., KOBLITZ, Jens C., DECHMANN, Dina K. N., DIETZ, Christian, MEBOLDT, Mirko et WIKELSKI, Martin, 2022. Micro-sized open-source and low-cost GPS loggers below 1 g minimise the impact on animals while collecting thousands of fixes. GILESTRO, Giorgio F. (éd.), *PLOS ONE*. 29 juin 2022. Vol. 17, n° 6. DOI [10.1371/journal.pone.0267730](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267730).
- WILMART, Antonin, 2025. *Amélioration des connaissances de la population de Grande Noctule de la Montagne noire. Synthèse des résultats 2024* [en ligne]. Groupe Chiroptères Languedoc-Roussillon pour l'Office Nationale des Forêts. Disponible à l'adresse : https://drive.google.com/file/d/119_ohr_T-6XtPb46730Iyy46nFTHHP-t/view



Détection acoustique automatisée

Méthode de suivi non invasive permettant de recenser les chauves-souris et d'analyser leur activité à de larges échelles spatiales et temporelles. Technique reposant sur le Suivi Acoustique Passif (PAM), utilisant des enregistreurs autonomes déployés sur le terrain pour capturer les cris d'écholocation d'ultrasons.

Description de cette technique

- **Acquisition et détection initiale** : enregistrement de signaux de manière continue avec un tri par des détecteurs « offline » (deep learning ou module de PAMGuard) ou par déclenchement embarqué (déclenchement de l'enregistrement qu'à partir d'un certain seuil d'amplitude ou de fréquence).
- **Représentation des données** : conversion du son en image – spectrogrammes – ou en séries de données numériques permettant de visualiser la signature acoustique propre à chaque espèce.
- **Classification automatique** : identification automatique des espèces et des comportements (chasse, transit) par des algorithmes spécialisés comme les réseaux neuronaux convolutifs (CNN) ou des modèles de type 'Random forest'.

Souvent validation par un expert humain pour corriger les erreurs de classification liées au bruit ambiant ou similarité des cris de certaines espèces.

Paramètres exploités

- **Cri** : fréquence (fréquences de pic, la bande passante et la forme de la pente), durée, intervalle entre les différents cris.
- **Identification taxonomique** : nom de l'espèce.
- **Localisation géographique** : coordonnées géographiques du point d'enregistrement.
- **Rapport Signal/bruit (SNR)** : mesure la clarté du cri par rapport au bruit ambiant ou bruit propre de l'appareil.
- **Variables environnementales** : température, humidité, précipitations, vitesse du vent, ... - biais dans la détection.

Métriques utilisées

- **Indice d'activité** : nb de contacts (séquence de cris capturés dans un enregistrement) par heure.
- **Richesse spécifique** : nb total d'espèces identifiées dans un habitat donné.
- **Phénologie de l'activité** : identification des pics de fréquentation liés à la mise bas, la lactation ou aux périodes de transit.
- **Indice de nourrissage** : mesuré par le nb de 'feeding buzzes' détectés.
- **Durée de la passe** (durée entre le premier et le dernier cri d'une séquence) : proxy de la sinuosité du vol → passe longue – comportement de chasse ; passe courte – transit.



De performance

- **Probabilité de détection** : estimation de la fraction de cris manqués par le système en fonction du SNR.
- **Indice de confiance** : score attribué par l'algorithme à chaque identification pour évaluer la fiabilité.

Avantages et limites

Avantages

- Technique efficace, à large échelle (zones géographiques importantes et longues périodes) et traitement de gros volumes de données.
- Coûts moindres donc meilleure accessibilité.
- Méthode non invasive et exhaustive : pas de capture et suivi nocturne total.
- Suivi en temps réel grâce à l'utilisation de système AIoT (identification et transmission instantanées).

Limites

- Vérifications souvent nécessaires tributaires des conditions météorologiques.
- Pas de suivi dynamique des individus, les dispositifs de suivi sont statiques
- Identification des espèces uniquement, pas de dénombrement d'individus possible.
- Standardisation complexe due à la variation des détecteurs et des paramètres de déclenchement.

Exemples de programmes utilisant cette technique

- VigieChiro : programme participatif français de suivi des chauves-souris par l'acoustique porté par le Muséum national d'histoire naturelle.
- Programmes liés à EUROBATS dans le cadre de l'Accord sur la conservation des populations des chauves-souris en Europe.

Références

BRINKLØV, Signe M. M., MACAULAY, Jamie, BERGLER, Christian, TOUGAARD, Jakob, BEEDHOLM, Kristian, ELMEROS, Morten et MADSEN, Peter Teglberg, 2023. Open-source workflow approaches to passive acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution*. 2023. Vol. 14, n° 7, pp. 1747-1763. DOI [10.1111/2041-210X.14131](https://doi.org/10.1111/2041-210X.14131).

KOTILA, Miika, SUOMINEN, Kati M., VASKO, Ville V., BLOMBERG, Anna S., LEHIKONEN, Alekski, ANDERSSON, Tommi, ASPI, Jouni, CEDERBERG, Tony, HÄNNINEN, Jari, INKINEN, Jasmin, KOSKINEN, Janne, LUNDBERG, Göran, MÄKINEN, Katja, RONTTI, Markku, SNICKARS, Martin, SOLBAKKEN, Jostein, SUNDELL, Janne, SYVÄNPERÄ, Ilkka, VUORENMAA, Silja, YLÖNEN, Jari, VESTERINEN, Eero J. et LILLEY, Thomas M., 2023. Large-scale long-term passive-acoustic monitoring reveals spatio-temporal activity patterns of boreal bats. *Ecography*. 2023. Vol. 2023, n° 6. DOI [10.1111/ecog.06617](https://doi.org/10.1111/ecog.06617).

MAHBUB, Taslim, BHAGWAGAR, Azadan, CHAND, Priyanka, ZUALKERNAN, Imran, JUDAS, Jacky et DGHAYM, Dana, 2024. Bat2Web: A Framework for Real-Time Classification of Bat Species Echolocation Signals Using Audio Sensor Data. *Sensors*. 2024. Vol. 24, n° 9. DOI [10.3390/s24092899](https://doi.org/10.3390/s24092899).

PERKS, Samantha J., O'CONNELL, Mark J. et GOODENOUGH, Anne E., 2025. Comparing passive acoustic monitoring bat data from commercial and open-source detectors: Evidence to support best practice. *Ecological Solutions and Evidence*. 2025. Vol. 6, n° 3. DOI [10.1002/2688-8319.70103](https://doi.org/10.1002/2688-8319.70103).

RIBATTO, Edouard, 2016. *Inventaire des chiroptères - Suivi acoustique, capture et suivi télémétrique - Espace Naturel Sensible de la Vallée en Barret*. novembre 2016.

ROEMER, Charlotte, HAQUART, Alexandre, LÓPEZ-BAUCELLS, Adrià et BESNARD, Aurélien, 2025. Current frontiers in the passive acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution*. 2025. Vol. 16, n° 11. DOI [10.1111/2041-210X.70157](https://doi.org/10.1111/2041-210X.70157).

TEETS, Katherine D., LOEB, Susan C. et JACHOWSKI, David S., 2019. Detection Probability of Bats Using Active Versus Passive Monitoring. *Acta Chiropterologica*. 5 octobre 2019. Vol. 21, n° 1, pp. 205. DOI [10.3161/15081109ACC2019.21.1.017](https://doi.org/10.3161/15081109ACC2019.21.1.017).

ZUALKERNAN, Imran, JUDAS, Jacky, MAHBUB, Taslim, BHAGWAGAR, Azadan et CHAND, Priyanka, 2021. An AIoT System for Bat Species Classification. In : *2020 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IoTIS)*. janvier 2021. pp. 155-160.



Suivi automatisé par imagerie

Passage de méthodes manuelles (comptages visuels) à des méthodes automatisées basées sur des capteurs d'images (infrarouge, thermique, photo, laser) pour une amélioration de la précision, un impact invasif réduit et un suivi à plus large échelle.

Description de ces techniques

Barrière lumineuse infrarouge et pièges photographiques → informations sur les gîtes d'hibernation :

- Deux barrières infrarouges, créant deux rideaux invisibles, placées à l'entrée du gîte. Le passage d'une chauve-souris coupe les faisceaux, ce qui permet de compter l'individu et connaître sa direction (entrée ou sortie).
- Piège photo équipé d'un flash blanc déclenché par la barrière permettant une identification de l'espèce précise.
- Analyses des images, automatisée par BatNet (outil de deep learning automatisant la détection et la classification des espèces avec une très bonne précision – 98 à 100 %).

Imagerie thermique par drone → efficace pour le suivi de chauves-souris arboricoles :

- Drone équipé d'un capteur thermique survole les gîtes à une altitude précise et capture des signatures de chaleur.
- Les images sont assemblées pour créer des orthomosaïques thermiques de haute résolution.
- Comptage semi-automatisé via Computer Vision ou algorithmes de machine learning.

Scan LIDAR → cartographie et comptage des populations à l'intérieur des grottes :

- Capture de la topologie de la grotte et de la distribution spatiale des chauves-souris au repos.
- Mesure de l'intensité du retour laser par un algorithme de détection, détection grâce à l'absorption du signal par la fourrure des ChS.

Vidéosurveillance infrarouge (IVR) → méthode souvent utilisée pour valider l'exactitude des autres systèmes automatisés :

- Enregistrement en continu des émergences nocturnes sous infrarouge invisible pour les chauves-souris.
- Analyse souvent manuelle ou par logiciel comme BatCount.

Paramètres exploités

- **Direction du passage, heure précise, durée d'obstruction du faisceau** → pour les barrières lumineuses infrarouges.
- **Coordonnées géographiques et altitude, différence entre le corps d'un animal et la végétation ou de la roche** (température, intensité, taille et circularité des pixels) → pour l'imagerie thermique par drone.
- **Coordonnée géographiques** (reconstruction précise de la grotte et position des ChS), **valeur de réflectance** (distinction entre fourrures et paroi de la grotte) → pour le scan LIDAR.
- **Espèces morphologiquement différentes** (score de proba de la certitude de l'IA dans l'identification de l'espèce), **paramètres d'exposition** (nécessité d'une qualité d'image constante) → pour les pièges photo et l'identification par IA.



Métriques utilisées

- **Taille de la population** : par décompte des entrées et sorties aux gîtes d'hibernation ou par comptage direct avec le scan LIDAR ou par le comptage des images de drone.
- **Tendances de population** : analyse de la dynamique d'une population sur plusieurs années.
- **Abondance relative** : proportion de chaque espèce identifiée par rapport à la population totale d'un site.
- **Diversité des espèces** : identification des différentes espèces sur un site.
- **Composition de la communauté** : analyse des changements dans les types d'espèces formant des assemblages mixtes dans les gîtes.
- **Proportion de jeunes** : évaluation du succès reproducteur dans les colonies de maternité.
- **Nb de passages** : somme brute des détections par nuit ou heure pour décrire les modèles d'activité.
- **Durée d'activité** : tps écoulé entre le premier et le dernier vol d'émergence.
- **Distribution spatiale** : localisation précise des individus au sein d'une grotte.

De performance

- **Précision** : coefficient de corrélation de concordance de Lin (CCC) permettant de comparer les données automatisées aux comptages manuels sur vidéo.
- **Intervalle de confiance** : intégration de l'erreur de mesure des systèmes automatisés.
- **Valeur de confiance** : score de probabilité de l'IA lors de l'identification d'une espèce sur photo.
- **Valeur de réflectance** : paramètre du LIDAR pour distinguer la fourrure des ChS des parois.

Avantages et limites

Avantages

- Précision accrue et réduction des biais.
- Peu invasif : pas de présence humaine, pas de contact direct avec les animaux.
- Haute résolution temporelle : suivi possible en continu toute l'année.
- Traitement de millions d'images possible en peu de tps.
- Données standardisées et archivables : images LIDAR et drones peuvent être analysées autant de fois que voulu et vérifiées par des experts.

Limites

- Contraintes physiques et techniques :
 - o Barrières infrarouges : limitées par la taille des entrées des gîtes.
 - o LIDAR : grappes à forte densité enregistrées parfois comme une masse unique.
 - o Imagerie thermique par drone : conditions spécifiques pour éviter le rayonnement solaire ou la chaleur de la végétation.
 - o Mise en œuvre de dispositifs d'imagerie lourde
- Pas de suivi dynamique des individus, les dispositifs de suivi sont statiques
- Identification compliquée des espèces morphologiquement proches.
- Erreurs de détection : présence de facteurs externes et de comportement de 'boucles internes' (chauves-souris tournant en rond à l'entrée sans sortir).
- Coût et maintenance : investissement initial très élevé + maintenance régulière.

Exemples de programme utilisant cette technologie



- Projet de recherche DIG-IT : programme soutenu par le Fonds social européen ; objectif de modernisation de la collecte de données sur la biodiversité grâce aux nouvelles technologies d'imagerie et de deep learning ; financement de l'outil d'IA BatNet (Krivek 2023).
- National Flying-fox Monitoring Program (Australie) : suivi de populations de ChS arboricoles ; intégration de l'imagerie thermique par drone pour une estimation de colonies plus précise que les comptages au sol traditionnels.

Références

AZMY, Suzanna Noor, SAH, Shahrul Anuar Mohd, SHAFIE, Nur Juliani, ARIFFIN, Azman, MAJID, Zulkepli, ISMAIL, Muhamad Nor Akmal et SHAMSIR, Mohd Shahir, 2012. Counting in the dark: Non-intrusive laser scanning for population counting and identifying roosting bats. *Scientific Reports*. 23 juillet 2012. Vol. 2, n° 1, pp. 524. DOI [10.1038/srep00524](https://doi.org/10.1038/srep00524).

KRIVEK, Gabriella, 2023. *Improving bat monitoring and conservation through infrared light barriers, camera traps and deep learning*. Thèse. Greifswald : Universität Greifswald.

MATTHÄUS, Laura, KUGELSCHAFER, Karl et FIETZ, Joanna, 2022. Evaluation of different monitoring methods at maternity roosts of greater mouse-eared bats (*Myotis myotis*). *Biodiversity and Conservation*. 1 mars 2022. Vol. 31, n° 4, pp. 1289-1312. DOI [10.1007/s10531-022-02389-7](https://doi.org/10.1007/s10531-022-02389-7).

MCCARTHY, Eliane D., MARTIN, John M., BOER, Matthias M. et WELBERGEN, Justin A., 2021. Drone-based thermal remote sensing provides an effective new tool for monitoring the abundance of roosting fruit bats. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 7, n° 3, pp. 461-474. DOI [10.1002/rse2.202](https://doi.org/10.1002/rse2.202).



Métabarcodage et ADN environnemental

Outil en amélioration constante, complémentaire pour le suivi d'espèces, notamment les mammifères et plus particulièrement les chauves-souris. Augmentation du succès de détection et la résolution des inventaires de biodiversité.

Description de cette technique

ADN environnemental (ADNe) : ADN que les organismes rejettent dans leur habitat.

Métabarcodage : technique d'analyse moléculaire permettant l'identification simultanée de plusieurs espèces à partir d'un échantillon complexe d'ADNe. Cette technique utilise des amorces PCR universelles ciblant des régions génétiques hautement conservées entre les taxons, suivies d'un séquençage à haut débit pour distinguer les variations spécifiques.

- 1) Collecte d'échantillons sur le terrain : eau, guano, sédiments, air (via un échantillonnage actif avec des pompes ou passif par dépôt naturel), voire mêmes des « pièges à ADN » (toiles d'araignées, invertébrés consommant le sang d'autres animaux).
- 2) Analyse en laboratoire : extraction de l'ADN, amplification par PCR et séquençage. Vérification de l'intégrité de l'ADN et de la présence d'inhibiteurs.
- 3) Identification des espèces par comparaison des séquences obtenues à des bases de données de référence.

Paramètres exploités

- Exploitation de l'ADN mitochondrial (nb de copies élevé donc la détection est plus probable, résilience plus importante, séquences conservées au sein des taxons donc le traçage génétique est plus simple).
- Gènes spécifiques à l'ordre des Chiroptera ou à des espèces spécifiques.
- Vérification de l'intégrité de l'ADN avant amplification.
- Quantification de l'ADN (nb de fragments d'ADN cibles présents dans l'échantillon, permettant d'avoir une estimation de l'activité ou de la présence de l'espèce).
- Paramètres de comparaison avec des techniques plus classiques :
 - o Données acoustiques
 - o Données visuelles et vidéo
 - o Suivi individuel par lecteur de puce

Métriques utilisées

- Couverture d'échantillonnage : proportion d'espèces détectées par rapport à la richesse spécifique attendue.
- Proportion de chevauchement : proportion d'espèces détectées simultanément par l'ADNe et les méthodes classiques.
- Nb de Hill : calcul de la richesse spécifique et de la diversité de Shannon.

De performance :

- Nb de copies d'ADNe par échantillon : nb de fragments d'ADN cibles présents dans un échantillon
- Nb de répliques PCR positifs : nb de répétitions techniques ayant fonctionné sur le total effectué.
- Nb de lectures : nb total de séquences d'ADN attribuées à une espèce donnée.



- Seuil de détection : limite de détection = quantité minimale d'ADN nécessaire pour un résultat fiable.
- Probabilité de présence réelle de l'ADNe sur un site donné, probabilité de capturer l'ADN et probabilité de détecter l'ADN en labo pour expliquer pq une espèce n'est pas détectée.
- Effort de terrain : nb de jours et de personnels nécessaire pour collecter les échantillons par rapport aux méthodes classiques.

Avantages et limites

Avantages :

- Détection des espèces rares, discrètes ou impossible à détecter avec des méthodes classiques.
- Identification de la faune non-cible permettant un aperçu rapide de la biodiversité sur les sites échantillonnés.
- Précision taxonomique forte par rapport à l'acoustique (chevauchement de certains cris d'écholocation) ou à l'identification morphologique (espèces trop similaires).
- Analyse très fine possible du régime alimentaire par rapport à l'analyse microscopique traditionnelle.
- Suivi dans des endroits dangereusement accessibles, avec peu de perturbations pour les animaux (capteurs passifs sans bruit, pas de contact).
- Réduction du temps sur le terrain et du nb de personnes nécessaires et des coûts par espèce détectée, collecte sur le terrain possible sans expert.

Limites :

- Dilution trop importante de l'ADN dans les milieux ouverts.
- Dégradation rapide de l'ADN par les rayons UV, les températures élevées et l'humidité.
- Inhibition possible de la PCR par des substances chimiques telles que la fumée des feux de forêts.
- Bases de données incomplètes (faux résultats ou pas de résultats).
- ADN d'une espèce trop abondante : dilution des autres espèces présentes.
- Comportement : détection dépendante des pics d'activité de l'animal, de la quantité d'ADN rejetée et de la distance entre l'animal et le capteur.
- Pas de données individuelles comme le sexe, l'âge, la condition physique ou l'état reproducteur des individus.
- Analyses lourdes et coûteuses
- Pas de suivi dynamique des individus, les échantillons sont ponctuels dans le temps et dans l'espace

Exemples de programme utilisant cette technologie

- Projet Bat1K : initiative pour séquencer le génome de toutes les espèces de chauves-souris pour découvrir les gènes et les mécanismes associés derrière les adaptations spécifiques des chauves-souris (<https://bat1k.com/>). Cette initiative permet de compléter les données manquantes sur les chauves-souris.
- iTrackDNA (<https://itrackdna.ca/?lang=fr>) et California Conservation Genomics Project (<https://www.ccgproject.org/>) : programmes respectivement canadien et étatsunien pour accélérer l'utilisation de l'ADNe dans le suivi et la conservation des espèces.



Références

GIDORA, Samantha, 2025. *Investigation of eDNA air sampling as a tool for bat conservation and management*. Thèse. Kamloops : Thompson Rivers University.

MENA, José Luis, YAGUI, Hiromi, TEJEDA, Vania, BONIFAZ, Emilio, BELLEMAIN, Eva, VALENTINI, Alice, TOBLER, Mathias W., SÁNCHEZ-VENDIZÚ, Pamela et LYET, Arnaud, 2021. Environmental DNA metabarcoding as a useful tool for evaluating terrestrial mammal diversity in tropical forests. *Ecological Applications*. 2021. Vol. 31, n° 5. DOI [10.1002/eap.2335](https://doi.org/10.1002/eap.2335).

SANCHEZ, Daniel E., WALKER, Faith M., MARRIOTT, Savannah J., RILEY, Anna L., STANKAVICH, Sarah, ADAMS, Amanda M., SOLICK, Donald, BRADLEY, Doug et NEWMAN, Christian, 2025. Out in the Open: Investigating Passive Airborne eDNA Detection of Bats at Artificial Feeding Stations. *Environmental DNA*. 2025. Vol. 7, pp. 14. DOI [10.1002/edn3.70108](https://doi.org/10.1002/edn3.70108).

TOURNAYRE, Orianne, LEUCHTMANN, Maxime, GALAN, Maxime, TRILLAT, Marine, PIRY, Sylvain, PINAUD, David, FILIPPI-CODACCIONI, Ondine, PONTIER, Dominique et CHARBONNEL, Nathalie, 2021. eDNA metabarcoding reveals a core and secondary diets of the greater horseshoe bat with strong spatio-temporal plasticity. *Environmental DNA*. 2021. Vol. 3, pp. 277-296. DOI [10.1002/edn3.167](https://doi.org/10.1002/edn3.167).

VAN LEEUWEN, Pauline et MICHAUX, Johan, 2023. Using eDNA for mammal inventories still needs naturalist expertise, a meta-analysis. *Ecology and Evolution*. 2023. Vol. 13, n° 12. DOI [10.1002/ece3.10788](https://doi.org/10.1002/ece3.10788).



Analyse des isotopes stables

Utilisation des isotopes de carbone, d'azote (pour le régime alimentaire), d'hydrogène et d'oxygène (pour les migrations) par prélèvement de tissus (sang, poils, griffes) pour reconstituer l'histoire écologique (origine, mouvements et nutrition) assimilée par l'animal à différentes échelles temporelles.

Description de cette technique

Cette technique repose sur le fait que lors de la croissance des tissus de l'animal, des isotopes présents dans l'environnement sont incorporés. Donc si après analyse et comparaison d'isotopes d'une chauve-souris et de l'endroit où elle a été retrouvée, ces isotopes sont différents, les chercheurs peuvent savoir qu'elle a migré. Comme les tissus ne se renouvellent pas en même temps, les scientifiques peuvent comprendre l'écologie de l'espèce, en comparant les tissus.

- Capture de quelques animaux (optionnel).
- Prélèvement de tissus biologiques (poils, griffes, sang) conservant une signature chimique de l'endroit où ils ont été formés ou du régime alimentaire de l'animal.
- Prélèvement des isotopes présents dans l'environnement ou récupération d'isoscaopes (cartes de références montrant la distribution spatiale des isotopes dans l'environnement).
- Analyse des échantillons de tissus par spectroscopie de masse et comparaison avec les références locales.

Paramètres exploités

- **Hydrogène et Oxygène** : variation des valeurs dans les précipitations selon la latitude, altitude et distance avec la côte → pour les migrations à grande échelle.
- **Carbone et Azote** : détermination du régime alimentaire, de ses changements, du réseau trophique et de l'utilisation de l'habitat (zones forestières # zones urbaines).
- **Soufre** : distinction entre origine marine ou terrestre.
- **Strontium** : distinction entre individu local et non local dans des sites de congrégation.
- **Métaux ou polluants** : distinction entre colonies situées à de très petites échelles ou des colonies près de sites fortement pollués.

Métriques utilisées

- **Delta (δ)** : déviation du rapport isotopique d'un échantillon par rapport à un standard international de référence.
 - Hydrogène : rapport entre le deutérium et l'hydrogène léger ($\frac{H^2}{H^1}$), mesuré par rapport au standard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water).
 - Carbone : rapport entre le carbone 13 et le carbone 12 ($\frac{^{13}C}{^{12}C}$), mesuré par rapport au standard PDB (Pee Dee Belemnite).
 - Azote : rapport entre l'azote 15 et l'azote 14 ($\frac{^{15}N}{^{14}N}$), mesuré par rapport à l'azote atmosphérique.
 - Soufre : rapport entre le soufre 34 et le soufre 32 ($\frac{^{34}S}{^{32}S}$), mesuré par rapport au standard VCTD (Vienna Canyon Diablo Troilite).



- **Discrimination isotopique nette** (surtout pour H dans l'étude sur la migration) : degré auquel le processus biologique évite préférentiellement l'isotope lourd, rendant les tissus plus appauvris en hydrogène que la source environnementale.
- **Facteurs d'enrichissement trophique** (surtout pour le carbone et l'azote dans l'étude sur le régime alimentaire) : différence de composition isotopique entre les tissus de l'animal et sa nourriture. L'isotope le plus lourd a tendance à se concentrer davantage dans le corps du consommateur que dans ce qu'il mange.
- **Demi-vie** : tps nécessaire pour que la moitié des isotopes d'un tissu soit remplacé par de nouveaux isotopes. Plus un tissu est métaboliquement actif, plus sa demi-vie est courte.
- **Période d'intégration** : fenêtre temporelle durant laquelle les tissus peuvent enregistrer les informations (environnementales, nutritionnelles, ...). Ex :
 - o **Sang** : intégration récente (quelques jours à semaines).
 - o **Griffes** : période plus longue (plusieurs semaines)
 - o **Poils** : inertes après formation, intégration des données durant leur période de croissance, (pour les chauves-souris : à peu près 2 semaines, une fois par an).
- **Coefficient de variation** : évaluation de la fiabilité d'un isotope comme indicateur.
- **Valeur quadratique moyenne** : pour évaluer la précision des modèles de prédiction créant les isoscapes.

Avantages et limites

Avantages

- Suivi possible des migrations sans besoin de capture à leur point d'origine, sur des animaux morts ou vivants.
- Pas besoin d'objets miniaturisés (puce GPS, VHF, ...) pour des espèces légères.
- Quantification possible de la nourriture assimilée.
- Informations recueillies sur plusieurs périodes : sang → alimentation récente ; foie ou poils → périodes plus longue (entre plusieurs semaines et un mois).

⇒ Un prélèvement biologique = reconstitution possible de l'historique écologique.

Limites

- Précisions très grossières possibles des signatures isotopiques :
 - o Carbone et Azote : comparaison possible entre deux endroits où les facteurs environnementaux diffèrent (plantes de type C3, C4 ou CAM, sécheresse importante à un endroit).
 - o Soufre : peu utilisé car variations peu connues.
 - o Strontium : peu utilisé car pas variations peu connues, besoin de développer un isoscape unique.
 - o Métaux et polluants : à l'échelle d'un paysage.
- Fluctuation de la signature isotopique de l'hydrogène dans l'eau de pluie au cours de l'année : /!\ confusion avec une migration si l'animal synthétise ses tissus pdt de fortes pluies ou une sécheresse.
- Moment de la mue : le cycle de la mue dépend du cycle de reproduction variant entre deux espèces donc valeurs isotopiques différentes possibles pour deux animaux vivant au même endroit parce qu'elles n'ont pas mué au même moment.
- Croissance des tissus : taux de renouvellement de certains tissus peu connus chez la chauve-souris donc détermination de la période d'intégration plus compliquée.



- Tissus plus 'enrichis' pour des espèces hautes dans la chaîne alimentaire donc il y a une possibilité de ne pas détecter des signaux de migration.
- Chitine appauvrie en azote donc pour les insectivores, l'isotope de l'azote risque d'être du même ordre de grandeur que les frugivores.
- Utilisation de standards inappropriés : standards basés sur des espèces différentes pouvant créer des décalages inexpliqués entre les valeurs mesurées et attendues.
- Manque de données de référence : utilisation de bases de données mondiales ne reflétant pas toujours les conditions spécifiques du site d'étude.
- Besoin en études expérimentales avec des ChS en captivité, des régimes contrôlés pour obtenir des bases de comparaison solides.

Références

- BREWER, Caralie T., RAUCH-DAVIS, William A. et FRASER, Erin E., 2021. The Use of Intrinsic Markers for Studying the Migratory Movements of Bats. *Animals*. 2021. Vol. 11. DOI [10.3390/ani11123477](https://doi.org/10.3390/ani11123477).
- CHORNELIA, Ada, LU, Jianmei et HUGHES, Alice C., 2025. Following the Flight of Asian Bats: Stable Hydrogen Isotope Analysis Uncovers Bat Migration Patterns, and Promising Future Directions. *Journal of Biogeography*. 2025. Vol. 52. DOI [10.1111/jbi.70063](https://doi.org/10.1111/jbi.70063).
- FRASER, Kevin C., MCKINNON, Emily A. et DIAMOND, Antony W., 2010. Migration, Diet, or Molt? Interpreting Stable-Hydrogen Isotope Values in Neotropical Bats. *Biotropica*. 2010. Vol. 42, n° 4, pp. 512-517. DOI [10.1111/j.1744-7429.2009.00608.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00608.x).
- HERRERA M., L. Gerardo, HOBSON, Keith A., MANZO A, Adriana, ESTRADA B, Daniel, SÁNCHEZ-CORDERO, Victor et MÉNDEZ C., Germán, 2001. The Role of Fruits and Insects in the Nutrition of Frugivorous Bats: Evaluating the Use of Stable Isotope Models. *Biotropica*. 2001. Vol. 33, n° 3, pp. 520-528. DOI [10.1111/j.1744-7429.2001.tb00206.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2001.tb00206.x).
- POPA-LISSEANU, Ana G., SÖRGEL, Karin, LUCKNER, Anja, WASSENAAR, Leonard I., IBÁÑEZ, Carlos, KRAMER-SCHADT, Stephanie, CIECHANOWSKI, Mateusz, GÖRFÖL, Tamás, NIERMANN, Ivo, BEUNEUX, Grégory, MYSŁAJEK, Robert W., JUSTE, Javier, FONDERFLICK, Jocelyn, KELM, Detlev H. et VOIGT, Christian C., 2012. A Triple-Isotope Approach to Predict the Breeding Origins of European Bats. *PLOS ONE*. 2012. Vol. 7. DOI [10.1371/journal.pone.0030388](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030388).



Internet of Things (IoT) : réseaux basse consommation, longue portée

Remplacement des méthodes manuelles coûteuses et chronophages par des systèmes numériques automatisés pour recueillir des données exploitables en temps réel via des plateformes web ou des applications mobiles.

Description de cette technique

Interconnexion d'objets physiques via des réseaux sans fil pour former des réseaux numériques. Collecte, transmission et analyse des données automatiques pour fournir des informations précises sur leur état ou leur environnement.

- **Collecte et transmission des données** : un objet capture à l'aide de capteurs (T°C, accélération, position GPS, sons ultrasoniques, ...) des informations et les envoie vers un récepteur.
- **Communication** via des systèmes de type LPWAN (Low Power Wide Area Network) possible dans des endroits difficiles ou isolés, utilisation de deux technologies :
 - o SigFox → messages très courts (12 octets), consommation d'énergie faible, portées records jusqu'à 280 km.
 - o LoRaWAN → très bonne autonomie de batterie, portée de plusieurs dizaines de kilomètres.
- **Traitement des données** directement à la source grâce à des algorithmes (parfois basés sur l'IA) pour compresser ou analyser l'information localement.
- Présence d'une **infrastructure externe à l'objet** :
 - o Passerelles → réception de signaux radio des objets et transmission à Internet.
 - o Serveur Cloud et bases de données → stockage des données pour une utilisation et une visualisation en temps réel.

Paramètres exploités

Ces paramètres dépendent du capteur lié et du but de l'étude :

- **Paramètres de localisation et de mouvement** comme pour les puces GPS.
- **Paramètres bioacoustiques** grâce à l'utilisation de microphones.
- **Paramètres d'identification** avec une transmission directe du nom scientifique de l'espèce après analyse du spectrogramme sonore.
- **Paramètres environnementaux** comme la température, la pression atmosphérique ou l'exposition à la lumière.
- **Paramètres d'interaction** entre les ChS.
- **Métadonnées du système** (date et heure précise, état de l'appareil, qualité du réseau).

Métriques utilisées

- **Coordonnées spatiales**
- **Trajectoires de vol** : reconstitution des parcours à haute résolution spatiale et temporelle.
- **Estimation de position sans GPS** (Atlas Native) : précision de la localisation autour de 13 km.
- **Direction d'arrivée** : estimation de l'angle d'arrivée du signal pour localiser l'animal par rapport à une station.
- **Distance parcourue et vitesse** au sol ou par rapport à l'air.
- **Orientation** : direction de la migration des ChS.



- **Indicateur de la dépense énergétique** : VeDBA, somme vectorielle de l'accélération sur trois axes.
- **Pourcentage d'activité quotidienne** : tps passé au-dessus d'un seuil d'accélération prédéfini (distinction entre vol et repos).
- **Température du tag et pression atmosphérique.**
- **Détection de proximité** : enregistrement des interactions entre individus équipés de tags.
- **Durée des rencontres** : tps total de proximité entre deux individus.
- **Force du signal** : estimation de la distance approximative pdt une rencontre.
- **Nb de rencontres simultanées** : utile pour identifier les rassemblements au gîte.
- **Paramètres acoustiques** : fréquence des cris d'écholocation.

De performance des modèles d'IA

- **Précision** : taux de réussite de l'identification automatique.
- **Matrice de confusion** : analyse détaillée des erreurs d'identification entre les espèces.

De performance technique

- **Taux de réussite des transmissions** : pourcentage de messages reçus / messages envoyés.
- **Latence** : délai entre l'émission du signal et son stockage.
- **Consommation d'énergie** : μAh par octet transmis.
- **Utilisation des ressources** : pourcentage d'utilisation du CPU et de la mémoire des dispositifs embarqués.

Avantages et limites

Avantages

- Consommation d'énergie très faible : balises pouvant fonctionner pendant des semaines, voire des années + utilisation de la récupération d'énergie (solaire ou cinétique) → possibilité d'une autonomie illimitée.
- Longue portée et connectivité mondiale : transmission sur des distances records via des infrastructures terrestres.
- Transmission de peu de données : traitement à la source transformant les données brutes directement dans l'objet pour une transmission de volumes faibles.
- Réactivité en tps réel : faible latence des réseaux.
- Coûts à long terme diminués : par rapport aux réseaux satellites ou GSM classiques (matériel ou abonnement).
- Réduction des captures.

Limites

- Propagation des ondes fortement dégradée par la végétation dense ou le relief.
- Précision limitée de la géolocalisation sans GPS (imprécision de plusieurs km).
- Interférences possibles qd utilisation de réseaux sans licence.
- Fiabilité des transmissions : pas d'accusé de réception pour les messages montants sur certaines technologies ne permettant pas de savoir si le message a bien été transmis.
- Complexité de la compression : compression associée à de possibles pertes de précision.
- Dépendance à une infrastructure externe non conçue, exploitée ou prévue pour les études biologiques de télémétrie : problèmes de mauvaise couverture de certaines zones, changement de propriétaire, d'exploitant, ou d'objectifs de l'infrastructure...



Exemples de programme utilisant cette technologie

- Le projet ICARUS.
- Evaluation multi-espèces du réseau SigFox : évaluation de la fiabilité du réseau SigFox dans 12 pays, suivi de 312 indiv de 30 espèces différentes.
- Le système MOTUS : réseau de suivi collaboratif international utilisant des récepteurs automatisés répartis autour du monde et des émetteurs de type VHF. Objectif de suivi à grande échelle, étude des itinéraires de migration.
- Bat2Web : programme développé aux Emirats arabes unis pour une classification automatique des espèces de ChS par IA et LoRaWAN en tps réel.
- ATLAS (Advanced Tracking and Localization of Animals in real-life Systems) : système de localisation terrestre à haute précision déployé à l'origine en Israël pour le suivi de balises miniatures.

Références

DUDA, Niklas, NOWAK, Thorsten, HARTMANN, Markus, SCHADHAUSER, Michael, CASSENS, Björn, WÄGEMANN, Peter, NABEEL, Muhammad, RIPPERGER, Simon, HERBST, Sebastian, MEYER-WEGENER, Klaus, MAYER, Frieder, DRESSLER, Falko, SCHRÖDER-PREIKSCHAT, Wolfgang, KAPITZA, Rüdiger, ROBERT, Jörg, THIELECKE, Jörn, WEIGEL, Robert et KÖLPIN, Alexander, 2018. BATS: Adaptive Ultra Low Power Sensor Network for Animal Tracking. *Sensors*. octobre 2018. N° 18. DOI [10.3390/s18103343](https://doi.org/10.3390/s18103343).

HURME, Edward, LENZI, Ivan, WIKELSKI, Martin, WILD, Timm et DECHMANN, Dina, 2025. Bats surf storm fronts during spring migration. *Science*. 2 janvier 2025. Vol. 387, pp. 97-102. DOI [10.1126/science.ade7441](https://doi.org/10.1126/science.ade7441).

LAURIDSEN, Mads, NGUYEN, Huan, VEJLGAARD, Benny, KOVACS, Istvan Z., MOGENSEN, Preben et SORENSEN, Mads, 2017. Coverage Comparison of GPRS, NB-IoT, LoRa, and SigFox in a 7800 km² Area. In : *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. Sydney. 2017. ISBN 978-1-5090-5932-4.

MAHBUB, Taslim, BHAGWAGAR, Azadan, CHAND, Priyanka, ZUALKERNAN, Imran, JUDAS, Jacky et DGHAYM, Dana, 2024. Bat2Web: A Framework for Real-Time Classification of Bat Species Echolocation Signals Using Audio Sensor Data. *Sensors*. 2024. Vol. 24, n° 9. DOI [10.3390/s24092899](https://doi.org/10.3390/s24092899).

WILD, Timm A., VAN SCHALKWYK, Louis, VILJOEN, Pauli, HEINE, Georg, RICHTER, Nina, VORNEWEG, Bernd, KOBLITZ, Jens C., DECHMANN, Dina K. N., ROGERS, Will, PARTECKE, Jesko, LINEK, Nils, VOLKMER, Tamara, GREGERSEN, Troels, HAVMØLLER, Rasmus W., MORELLE, Kevin, DAIM, Andreas, WIESNER, Miriam, WOLTER, Kerri, FIEDLER, Wolfgang, KAYS, Roland, EZENWA, Vanessa O., MEBOLDT, Mirko et WIKELSKI, Martin, 2023. A multi-species evaluation of digital wildlife monitoring using the Sigfox IoT network. *Animal Biotelemetry*. 25 mars 2023. Vol. 11, pp. 13. DOI [10.1186/s40317-023-00326-1](https://doi.org/10.1186/s40317-023-00326-1).

ZUALKERNAN, Imran, JUDAS, Jacky, MAHBUB, Taslim, BHAGWAGAR, Azadan et CHAND, Priyanka, 2021. An AIoT System for Bat Species Classification. In : *2020 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IoTals)*. janvier 2021. pp. 155-160.



LE RÉSEAU SIGFOX

→ Technologie de type LPWAN (Low Power Wide Area Network – réseau étendu à basse consommation) employé dans l'IoT transmettant sur une bande ultra-étroite (UNB – Ultra Narrow Band : division du spectre en milliers de 'pseudo-canaux' permettant une transmission de centaines d'objets simultanément) de 100 Hz.

Caractéristiques :

- **Modulation** (processus par lequel le signal est transformé) : DBPSK (modulation par déplacement de phase binaire différentielle – économe en bande passante et bonne protection contre les interférences) pour la liaison montante et GFSK (modulation par déplacement de fréquence gaussienne) pour la liaison descendante.
- **Débit binaire de la couche physique** : de la liaison montante → 100 bit/s en Europe, de la liaison descendante → 600 bit/s dans le monde.
- **Redondance** : triple transmission aléatoire en temps, en fréquence et dans l'espace.
- **Messages** : montants très courts (entre 0 et 12 octets), descendants non possibles sans message montant au préalable.
- **Communication** : unidirectionnelle et bidirectionnelle sur spectre sans licence.
- **Bandes** : bande ISM (industrielle, scientifique et médicale – 868 MHz) en Europe. Largeur de bande d'un canal de liaison montante est de 100 Hz en Europe et 600 Hz aux Etats-Unis, largeur de bande d'un canal de liaison descendante est de 1.5 kHz.

Architecture du réseau Sigfox (Gomez et al. 2019) :

- **Objets** (devices) : connectivité sans fil, un dispositif n'est pas lié à une station de base ; simplifiés pour avoir une balise légère, économe en énergie et peu coûteuse.
- **Station de base** (base stations) : écoute de toute la largeur du spectre autorisé ; connectées à Internet, réseau assez fourni en France (plus de 1 700 stations).
- **Réseau central** (core network) : composé du Service Center contrôlant et gérant les stations de base et les appareils, et de l'Autorité d'enregistrement (Reg. Authority) permettant un accès au réseau par les appareils.

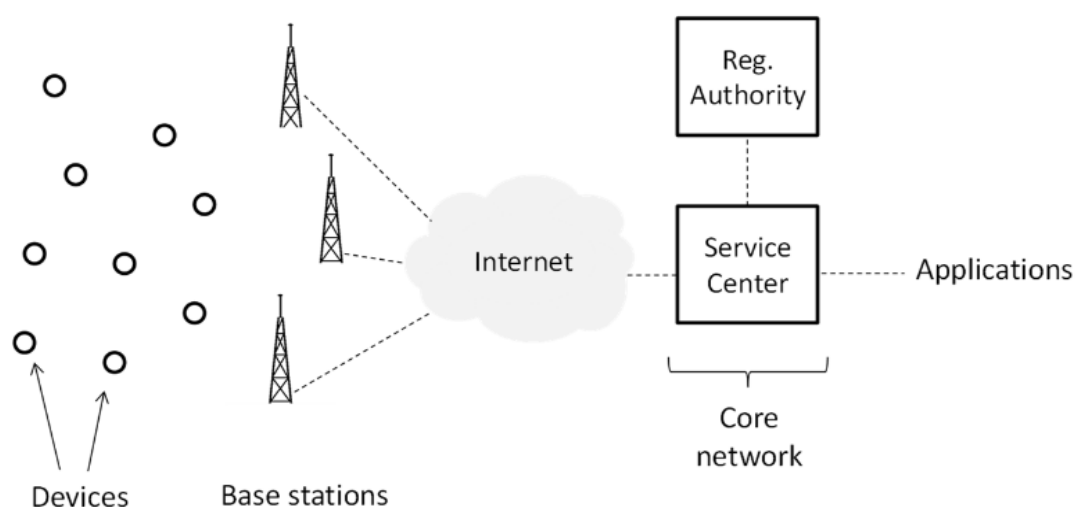


Figure 1 : Architecture Sigfox

MOTUS

→ « Réseau international de recherche collaborative qui utilise la radiotélémétrie automatisée pour suivre les déplacements et le comportement de petits animaux ».

Fonctionnement de Motus (<https://motus.org/?lang=fr>)

- Installation de **stations Motus** (détection des signaux radio par une ou plusieurs antennes, interprétation des signaux par le récepteur, une source d'énergie et une structure fixatrice) dans un endroit stratégique (vue dégagée sur le point le plus élevé du paysage à plus de 20 km d'une autre station, projet de marquage en cours dans la région, alimentation en courant alternatif conseillé, Internet accessible pour un téléversement des données) → développé surtout en Amérique du Nord.
- Fixation d'**émetteurs** sur les animaux, détectables jusqu'à 20 km en plein vol.
- Stockage des données (heure, puissance du signal, antenne réceptrice) dans les stations → déduction d'informations sur le comportement de l'animal, le vol et la détection.
- Transmission des données à Oiseaux Canada (organisation nationale canadienne de conservation des oiseaux) pour le traitement et le stockage des informations.
- Partage des données brutes au grand public.

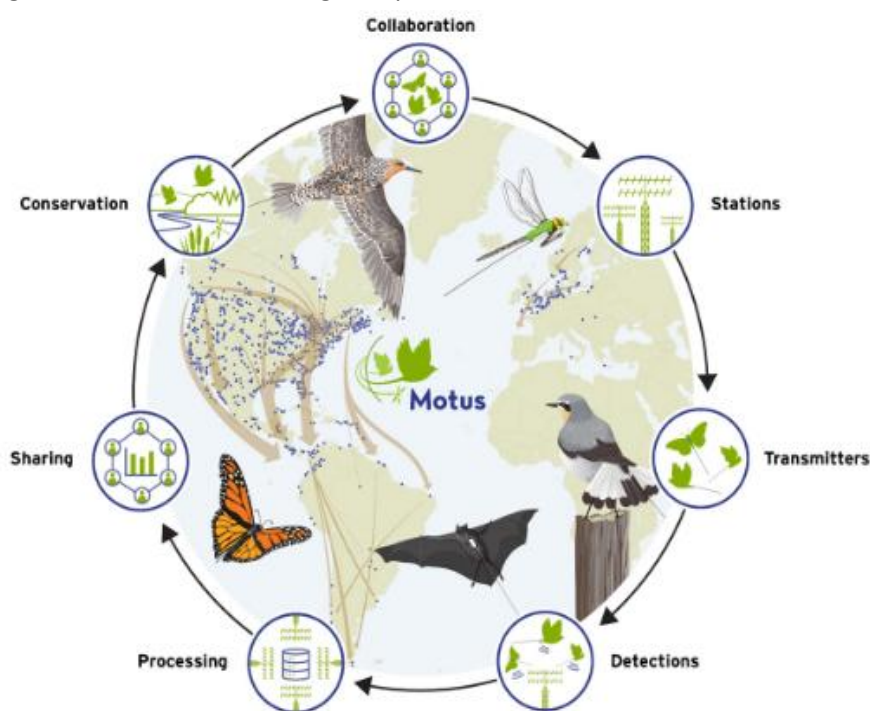


Figure 2 : Principe du réseau Motus

LE SYSTÈME MOBILE-BAT

→ Système de suivi ultra-basse consommation et miniaturisé pour petits animaux, reposant sur l'enregistrement des données des cellules GSM.

Principe

- **Balise** : composé d'un microcontrôleur, d'un récepteur radio, d'un accéléromètre, et d'une pile bouton, pas de carte SIM, pas de signal transmis vers le réseau cellulaire.
- A intervalle régulier, écoute passive de l'environnement et détection des antennes relais GSM.
- Enregistrement de l'identifiant des antennes détectées, de l'heure, de la date, du niveau de puissance, de la température et d'une valeur d'accéléromètre.
- Récupération des données par téléchargement automatique sur des **stations de base** installées dans des endroits stratégiques (gîtes ou chemin de transit connus) et transfert vers un serveur).
- Calcul de la localisation de l'animal par une méthode de « pattern-matching » : comparaison des puissances de signal mesurées par la balise avec les cartes de propagation du signal simulées (basées sur les coordonnées réelles des antennes relais) pour estimer la position la plus probable de l'animal.

⇒ Précision variant entre 100 m en zone urbaine à 5 km en zone rurale.

⇒ Autonomie importante permettant de suivre un cycle de migration annuelle.

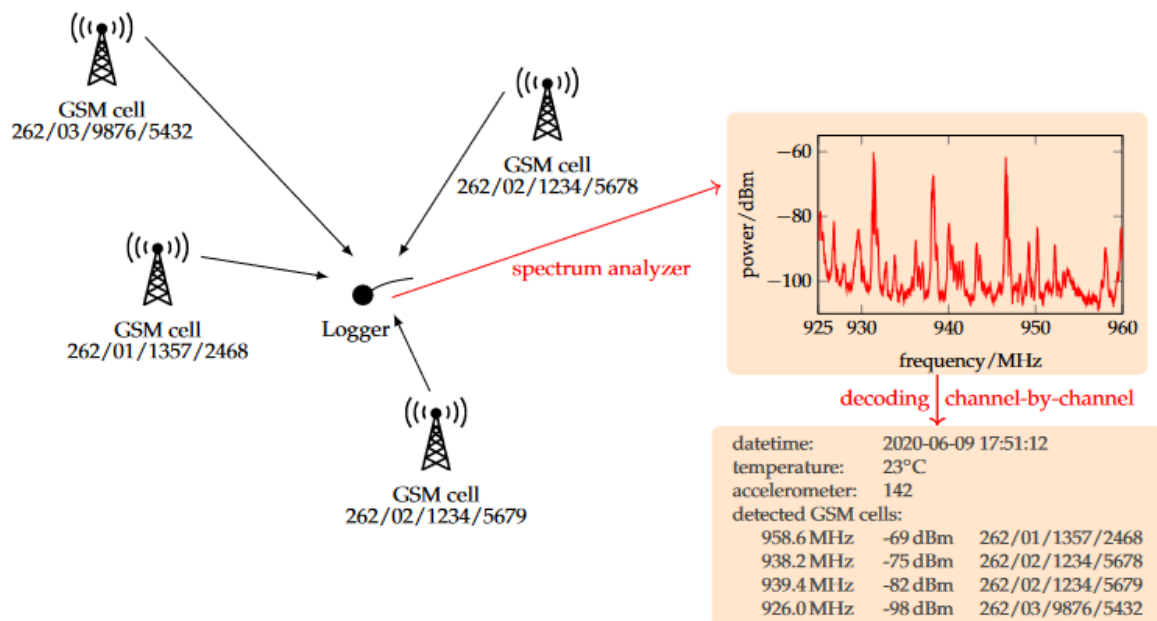


Figure 3 : Principe du réseau

Source de l'image : (Erhardt et al. 2023).

LE SYSTÈME ATLAS

→ Système de suivi reposant sur le principe du GPS inversé ou de la localisation par temps d'arrivée (TOA).

Principe

- **Puce** fixée sur l'animal : transmission de signaux captés par un réseau de **stations de base** installées au sol à des positions fixes et connues.
- Synchronisation de l'heure par des **balises de référence** fixes et dont la position est connue.
- Calcul : mesure des différences de temps d'arrivée du signal (à la nanoseconde) entre les différentes stations de réception. Utilisation de la trilatération pour estimer les coordonnées de l'émetteur.
- Suivi simultané possible par les stations.

⇒ Puce → extrêmement légère et peu coûteuse, précision de l'ordre du GPS.

⇒ Echelle → régionale (rayon de 10 à 20 km) car il faut des stations réceptrices pour le signal et besoin d'un espace dégagé entre la balise et au moins trois stations de réception.

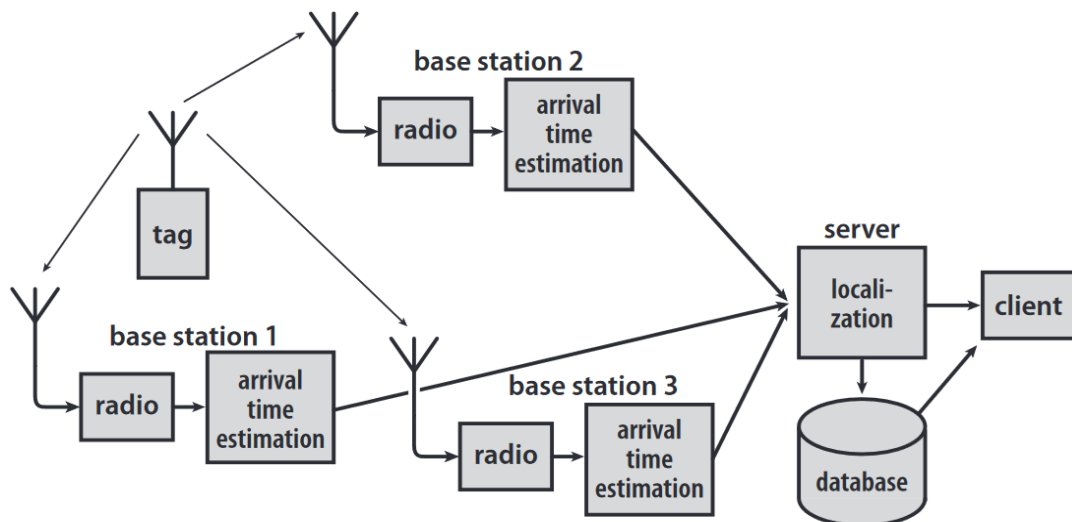


Figure 4 • Structure du

Source de l'image : (Toledo et al. 2016).

Références des technologies

Sigfox

FERREIRA, Loïc, 2021. Sigforgery: Breaking and Fixing Data Authenticity in Sigfox. In : BORISOV, Nikita et DIAZ, Claudia (éd.), *Financial Cryptography and Data Security*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. pp. 331-350. ISBN 978-3-662-64321-1.

FOURTET, Christophe et PONSARD, Benoît, 2020. An introduction to Sigfox radio system. In : *LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications*. Elsevier. pp. 103-118. ISBN 978-0-12-818880-4.

GOMEZ, Carles, VERAS, Juan Carlos, VIDAL, Rafael, CASALS, Lluís et PARADELLS, Josep, 2019. A Sigfox Energy Consumption Model. *Sensors*. février 2019. Vol. 19, n° 3. DOI [10.3390/s19030681](https://doi.org/10.3390/s19030681).

HURME, Edward, LENZI, Ivan, WIKELSKI, Martin, WILD, Timm et DECHMANN, Dina, 2025. Bats surf storm fronts during spring migration. *Science*. 2 janvier 2025. Vol. 387, pp. 97-102. DOI [10.1126/science.ade7441](https://doi.org/10.1126/science.ade7441).

LAURIDSEN, Mads, NGUYEN, Huan, VEJLGAARD, Benny, KOVACS, Istvan Z., MOGENSEN, Preben et SORENSEN, Mads, 2017. Coverage Comparison of GPRS, NB-IoT, LoRa, and SigFox in a 7800 km² Area. In : *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. Sydney. 2017. ISBN 978-1-5090-5932-4.

WILD, Timm A., VAN SCHALKWYK, Louis, VILJOEN, Pauli, HEINE, Georg, RICHTER, Nina, VORNEWEG, Bernd, KOBLITZ, Jens C., DECHMANN, Dina K. N., ROGERS, Will, PARTECKE, Jesko, LINEK, Nils, VOLKMER, Tamara, GREGERSEN, Troels, HAVMØLLER, Rasmus W., MORELLE, Kevin, DAIM, Andreas, WIESNER, Miriam, WOLTER, Kerri, FIEDLER, Wolfgang, KAYS, Roland, EZENWA, Vanessa O., MEBOLDT, Mirko et WIKELSKI, Martin, 2023. A multi-species evaluation of digital wildlife monitoring using the Sigfox IoT network. *Animal Biotelemetry*. 25 mars 2023. Vol. 11, pp. 13. DOI [10.1186/s40317-023-00326-1](https://doi.org/10.1186/s40317-023-00326-1).

Motus

OISEAUX CANADA, 2026. Comment fonctionne Motus. *Motus* [en ligne]. 2026. [Consulté le 20 mars 2026]. Disponible à l'adresse : <https://motus.org/resources/how-motus-works/?lang=fr>

Mobile-BAT

ERHARDT, Stefan, KOCH, Martin, KIEFER, Andreas, VEITH, Michael, WEIGEL, Robert et KOELPIN, Alexander, 2023. Mobile-BAT—A Novel Ultra-Low Power Wildlife Tracking System. *Sensors*. 2023. Vol. 23, n° 11. DOI [10.3390/s23115236](https://doi.org/10.3390/s23115236).

ATLAS

BEARDSWORTH, Christine E., GOBBENS, Evy, VAN MAARSEVEEN, Frank, DENISSEN, Bas, DEKINGA, Anne, NATHAN, Ran, TOLEDO, Sivan et BIJLEVELD, Allert I., 2022. Validating ATLAS: A regional-scale high-throughput tracking system. *Methods in Ecology and Evolution*. 2022. Vol. 13, pp. 1990-2004. DOI [10.1111/2041-210X.13913](https://doi.org/10.1111/2041-210X.13913).

LOURIE, Emmanuel, SCHIFFNER, Ingo, TOLEDO, Sivan et NATHAN, Ran, 2021. Memory and Conformity, but Not Competition, Explain Spatial Partitioning Between Two Neighboring Fruit Bat Colonies. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 20 octobre 2021. Vol. 9. DOI [10.3389/fevo.2021.732514](https://doi.org/10.3389/fevo.2021.732514).

ROELEKE, Manuel, SCHLÄGEL, Ulrike E., GALLAGHER, Cara, PUFELSKI, Jan, BLOHM, Torsten, NATHAN, Ran, TOLEDO, Sivan, JELTSCH, Florian et VOIGT, Christian C., 2022. Insectivorous bats form mobile sensory networks to optimize prey localization: The case of the common noctule bat. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 16 août 2022. Vol. 119, n° 33. DOI [10.1073/pnas.2203663119](https://doi.org/10.1073/pnas.2203663119).

TOLEDO, Sivan, KISHON, Oren, ORCHAN, Yotam, SHOHAT, Adi et NATHAN, Ran, 2016. Lessons and Experiences from the Design, Implementation, and Deployment of a Wildlife Tracking System. *2016 IEEE International Conference on Software Science, Technology and Engineering (SWSTE)*. 2016. DOI [10.1109/SWSTE.2016.16](https://doi.org/10.1109/SWSTE.2016.16).

TOLEDO, Sivan, SHOHAMI, David, SCHIFFNER, Ingo, LOURIE, Emmanuel, ORCHAN, Yotam, BARTAN, Yoav et NATHAN, Ran, 2020. Cognitive map-based navigation in wild bats revealed by a new high-throughput tracking system. *Science*. 2020. Vol. 369, pp. 188-193. DOI [10.1126/science.aax6904](https://doi.org/10.1126/science.aax6904).

WEISER, Adi Weller, ORCHAN, Yotam, NATHAN, Ran, CHARTER, Motti, WEISS, Anthony J. et TOLEDO, Sivan, 2016. Characterizing the Accuracy of a Self-Synchronized Reverse-GPS Wildlife Localization System. *2016 15th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*. 2016. DOI [10.1109/IPSN.2016.7460662](https://doi.org/10.1109/IPSN.2016.7460662).



Annexe 1 : Notice d'utilisation de la clé de décision

La clé se lit de gauche à droite. Elle permet d'orienter l'utilisateur vers une ou plusieurs techniques nouvelles les plus adaptées à ses besoins pour l'étude des chauves-souris.

La première étape est de définir l'objectif principal parmi les trois propositions suivantes :

- L'étude : elle vise l'acquisition de connaissances sur différents aspects de la biologie, de l'écologie et du comportement des chauves-souris.
- Le suivi : il consiste à observer les chauves-souris dans le temps, en particulier leur présence, leur activité ou l'évolution de leurs populations.
- L'inventaire des espèces : il vise à identifier les espèces présentes dans une zone donnée.

La deuxième étape consiste à préciser la problématique étudiée.

- Dans le cas de l'embranchement « étude », l'utilisateur doit préciser l'aspect qu'il souhaite étudier. Quatre thématiques sont proposées : les habitats, le comportement, le régime alimentaire, la migration, ainsi que les interactions sociales. L'étude des habitats peut concerner les gîtes, les terrains de chasse ou les routes de vol et de transit mais toutes amènent aux mêmes technologies. Pour l'étude des interactions sociales, la clé oriente l'utilisateur vers l'Internet des objets, une technologie permettant entre autres d'étudier la proximité entre individus équipés et d'étudier des informations liées à l'émission de cris sociaux.
- Pour l'embranchement « suivi », deux aspects peuvent être distingués : le suivi des populations et des communautés, ainsi que le suivi de l'activité dans les gîtes ou de chasse et de transit des chauves-souris.
- En ce qui concerne l'embranchement « inventaire des espèces », trois techniques sont directement proposées : l'ADN environnemental, la détection acoustique automatique et l'imagerie.

Une fois l'objectif principal et la problématique précisés, l'utilisateur suit les flèches jusqu'aux techniques proposées. Plusieurs technologies peuvent être associées à une même problématique, permettant ainsi d'envisager différentes approches méthodologiques.

Pour chaque technique, la clé présente de manière synthétique ses principaux avantages et limites. Ces informations permettent à l'utilisateur d'effectuer une première comparaison entre les différentes méthodes proposées et d'orienter son choix en fonction des besoins spécifiques de son étude. Des informations complémentaires concernant le fonctionnement, les métriques utilisées, les avantages et les limites propres à chaque technologie sont disponibles dans les fiches détaillées.

Annexe 2 : Clé de décision pour étudier les chauves-souris avec les techniques nouvelles

