

Chapitre 7

Radiotélémetrie et mouvements d'oiseaux

RADIOTELEMETRIE

Comprendre le rôle joué par la faune sauvage dans l'écologie des virus de l'IA exige une connaissance des déplacements des oiseaux sauvages en détail à des échelles spatiales diverses. Alors que d'une part, les études visant à l'identification des voies migratoires particulières, des haltes migratoires et des zones de non-reproduction qui peuvent s'étendre sur des continents entiers, sont mises en évidence par la coïncidence entre les routes migratoires de certains oiseaux d'eau de reproduction paléarctique et la propagation du virus H5N1 de l'IAHP à travers l'Asie et l'Europe pendant l'automne et l'hiver boréaux de 2005/06, d'autre part les études qui mettent au clair les déplacements locaux des oiseaux sauvages entre des fermes avicoles et des zones humides avoisinantes peuvent être d'une très grande valeur pour établir les chemins viables pour la transmission du virus H5N1 de l'IAHP de la volaille à la faune (ou vice versa).

La radiotélémetrie est une technique pour déterminer les mouvements d'oiseaux sur des régions dont la taille peut varier des zones de reproduction restreintes des espèces d'oiseaux résidents à l'étendue couverte par des espèces de migration internationale (détaillé dans Fuller et al. 2005). Cette technique est utilisée dans l'investigation des maladies infectieuses des espèces migratrices y compris l'écologie du virus H5N1 de l'IA. Lors de la Conférence scientifique internationale de la FAO-OIE sur l'Influenza aviaire et les oiseaux sauvages en mai 2006¹⁰ les objectifs spécifiques des études sur l'Influenza aviaire utilisant la télémétrie ont déjà été identifiés. D'ailleurs, des projets de télémétrie pour le suivi des déplacements locaux et des routes de migration des oiseaux sauvages reconnus comme hôtes potentiels de virus sont déjà en cours¹¹.

L'idée directrice de l'étude utilisant la télémétrie paraît simple; attacher un émetteur radio à un animal et chercher le signal pour déterminer les mouvements de l'animal. Comme les oiseaux avec des radiomarquages peuvent être relocalisés plus fréquemment et de façon plus uniforme que ceux marqués par d'autres méthodes, la télémétrie peut fournir un itinéraire des mouvements détaillés qui est impossible avec les systèmes de marquage-recapture ou de marquage-réobservation qui sont plus simples. Cependant, bien qu'il soit plus intéressant de radio marquer un échantillon d'animaux juste pour "les suivre", il est à reconnaître que la méthode de radiotélémetrie s'avère non seulement coûteuse par rapport aux systèmes de marquage-recapture/réobservation mais exige beaucoup de concentration, un bon planning et des objectifs bien précis pour sa réussite.

¹⁰ www.fao.org/avianflu/en/conferences_archive.html

¹¹ www.fao.org/avianflu/en/wildbirds_home.html

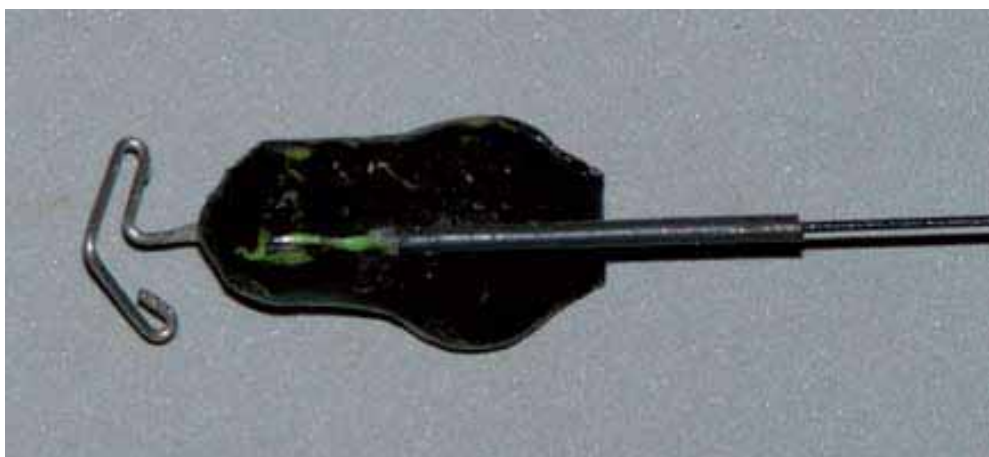
Une fois les objectifs réalisables sont identifiés, des points suivants concernant le projet télémétrique doit-vent être abordés sans en exclure d'autres: 1) le type et la taille de l'émetteur radio; 2) la technique de fixation la moins invasive; 3) la capture et le marquage de l'échantillon équipé de l'émetteur radio; 4) la (les) technique(s) de suivi optimale(s); et 5) les options d'analyse des données. Comme il existe beaucoup de livres sur le planning et l'exécution des études sur la radiotélémétrie, une discussion approfondie sur tous les sujets pertinents ne fait évidemment pas partie du cadre de ce Manuel. Le lecteur est donc conseillé de se référer aux excellentes revues par Kenward (2001) et Fuller et al. (2005) pour de plus amples détails sur les techniques de radiotélémétrie.

La plupart des pays ont des règlements stricts concernant les activités de capture, de manipulation et de marquage d'oiseaux sauvages. Les chercheurs doivent être au courant de et se conformer à toutes les lois locales et nationales concernant ces activités et doivent procurer tous les permis locaux, fédéraux, provinciaux et de l'état.

Émetteurs radio

Les émetteurs radio d'autrefois étaient de simples émetteurs d'ondes métriques (VHF) composés d'une alimentation électrique, d'une antenne et de l'équipement de montage; ils sont soit attachés à l'oiseau de l'extérieur ou implantés (Figure 7.1). Les progrès réalisés récemment dans le domaine de la technologie ont permis de développer le Terminal de l'émetteur de la plateforme (PTT; Figure 7.2) et les émetteurs du Système de positionnement global (GPS; Figure 7.2) ayant des capacités infiniment plus que les émetteurs radio VHF classiques. Bien que les émetteurs PTT et GPS fonctionnent sur les mêmes principes de base que ceux de radio VHF (émission d'un signal électromagnétique à une fréquence définie détecté par des récepteurs accordés à cette fréquence), ils utilisent des satellites en orbite pour recevoir et relayer des signaux à l'émission. Ainsi les émetteurs VHF, PTT et GPS ayant des caractéristiques très différentes se prêtent à des études et des espèces très variées (Table 7.1).

FIGURE 7.1
Émetteur radio VHF implanté



DARRELL WHITWORTH

FIGURE 7.2
Terminal de l'émetteur de la plate-forme (PTT; les trois à gauche);
Émetteur de GPS (Global Positioning System) (celui à droite)



TABLEAU 7.1

Caractéristiques d'émetteurs radio utilisés dans les études télémétriques d'oiseaux

	Type d'émetteur radio		
	VHF	Satellite (PTT)	Satellite (GPS)
Poids Émetteur	< 1 g à 12	12-18 g	30-60 g
Espèce	> 20 g	> 500 g	> 1 kg
Coût			
Minimum	US\$ 100/ea	US\$ 3,200/ea	US \$3,800/ea
Attachement	Ancrage, plumes, implant	Collier, dorsal, implant	Collier, dorsal, implant
Source d'alimentation	Batterie	Batterie ou solaire	Batterie ou solaire
Durée	Jours à mois*	Mois aux années	Mois aux années
Portée	0.1 à 100+ km*	Sans limite	Sans limite
Suivi	Manuel	Par satellite	Par satellite
Intervalle de suivi	Continu*	4 heures	Continu
Exactitude	± 5 m à 1 km*	±100 à 200 m	±10 à 20 m
Fréquence	VHF	UHF	UHF

* Dépend de la taille de l'émetteur et de la méthode de suivi employé.

Dans le cas des émetteurs PTT et GPS le facteur limitant peut être la taille de l'émetteur par rapport à l'oiseau. En général un émetteur radio ne peut dépasser 2-3 % du poids de l'oiseau quoique cela puisse aller jusqu'à 3-4 % pour des petits oiseaux (<50g). Respectant ce critère, les émetteurs radio VHF dont les plus petits pèsent un peu moins que 1 g s'adaptent aux oiseaux de toutes les tailles sauf aux plus petites espèces. Par contre, même les plus petits des PTT pèsent 12-18 g limitant ainsi leur usage aux espèces de 500 g (par ex. petits canards et mouettes) ou plus. Les émetteurs GPS qui pèsent 30-60 g ne peuvent être utilisés que pour des grands oiseaux de 1 kg ou plus (par ex. oies et cygnes).

La localisation par PTT est en général exacte (entre 100-200 m) dans la plupart des cas bien que cette exactitude de localisation augmente avec l'utilisation des plus grands et des plus chers émetteurs GPS (10-20 m). Dans le cas des émetteurs VHF cette précision dépendra principalement de la méthode de suivi utilisée et de l'effort investi. Si les oiseaux radiomarqués sont suivis et observés, les localisations peuvent être précisées à moins de 5m mais dans la plupart des cas les repérages visuels sont impossibles et les localisations deviennent plutôt des estimations utilisant des techniques adaptées à la méthode de suivi (voir VHF Telemetry Tracking).

Les émetteurs radio par satellite et VHF peuvent être incorporés de différentes options utiles bien que celles-ci augmentent le poids, la consommation d'énergie et le coût de l'émetteur. Des capteurs d'activité, de température, de pression et de mortalité envoient des données en changeant le taux d'impulsion de l'émetteur. Des chronomètres programmés pour mettre l'émetteur en marche ou en arrêt au temps voulu est une option utile pour la conservation d'énergie. Ces chronomètres peuvent mettre l'émetteur en marche pour coïncider avec des périodes prédéterminées de suivi ou avec des moments où le survol des satellites en orbite est prévu.

La différence de prix entre les émetteurs par satellite et VHF (Table 7.1) est si grande que l'utilisation des émetteurs PTT et GPS devient difficile dans des projets avec des fonds limités. Cependant les émetteurs PTT et GPS éliminent le besoin de l'équipement de suivi cher et du personnel.

Émetteurs PTT et GPS

Malgré leur taille et leur coût, si les émetteurs PTT et GPS conviennent aux espèces destinées à recevoir des radiomarquages, c'est que leurs avantages logistiques comparés à ceux de la télémétrie VHF classique sont considérables. Le suivi par émetteurs PTT et GPS est automatisé et exécuté par des systèmes de communication par satellites. Comme les signaux PTT et GPS sont reçus par des satellites polaires en orbite il n'y a pas d'erreur de suivi spatial puisque les signaux se reçoivent de n'importe où dans le monde y compris des endroits éloignés ou inaccessibles où les oiseaux marqués sont indétectables.

Heureusement, les PTT se prêtent au radiomarquage des oiseaux aquatiques et des autres espèces larges (>500 g) exposés au virus H5N1 de l'IAHP, la technique de télémétrie par satellite s'applique facilement aux études concernant l'influenza aviaire chez la faune sauvage. Contrairement aux autres techniques, celle-ci offre la possibilité de suivre les mouvements et les routes migratoires des oiseaux aquatiques. Les émetteurs PTT fournissent un itinéraire suivi des mouvements d'un oiseau tout en révélant des informations détaillées

sur la route de migration, la vitesse de déplacement et la durée de halte pendant ses vols à travers des continents entiers.

La longévité des émetteurs satellitaires alimentés par pile solaire permet des études à long terme qui peuvent déterminer la fidélité annuelle aux routes de migration et points de halte spécifiques; ces données pourraient aider à l'identification des zones à haut risque de flambée de maladie. En outre, l'exactitude des localisations par les émetteurs PTT et GPS permet de faire une analyse temporelle et spatiale de l'utilisation d'habitat y compris l'éventuel chevauchement des localisations de productions avicoles et de flambées de maladie.

Des stratégies dans lesquelles certains individus sont marqués par des PTT et d'autres plus grands échantillons par le classique émetteur radio VHF ou par d'autres systèmes de marquage (voir Etudes de marquage-recapture (réobservation)) peuvent en même temps augmenter la taille de l'échantillon et limiter les coûts des émetteurs PTT.

Émetteur radio VHF

Beaucoup de petites espèces sensibles au virus H5N1 de l'IAHP, y compris les limicoles, les cormorans, les râles, les foulques, les grèbes, les corvidés et les moineaux, ainsi que les plus petits canards, les mouettes, les rapaces, les hérons et les aigrettes ne se prêtent pas aux études par satellite soit parce qu'ils sont plongeurs ou qu'ils sont trop petits (<500 g) pour pouvoir porter des PTT. Vu les limitations existantes de la technique télémétrique par satellite, les émetteurs VHF restent l'option principale pour ces espèces.

Des études pour suivre les mouvements migratoires de longue distance de ces espèces ont été menées mais elles s'avèrent difficiles à cause de la logistique qui exige le déplacement des équipes de suivi par télémétrie à travers d'énormes régions dont la plupart pourraient être inaccessibles aux observateurs sur sol. Ainsi, les applications pratiques des études sur l'influenza aviaire utilisant la télémétrie VHF concerneraient plutôt le mouvement local d'oiseaux pour évaluer leur utilisation des aires comme les élevages qui présenteraient des risques accrus d'exposition au virus de l'IA.

Par rapport aux études par satellite, celles utilisant la télémétrie VHF impliquent plus d'efforts de suivi manuel et de ce fait, davantage de planning logistique. Le besoin du suivi manuel fait ressortir certaines caractéristiques de l'émetteur radio VHF telles son pouvoir émetteur (portée) et sa durée de fonctionnement. Les batteries de l'émetteur radio étant des sources d'énergie limitées, il existe un compromis entre le pouvoir émetteur et la durée de fonctionnement; augmenter la portée diminue la durée et vice versa. Le compromis optimal entre les deux dépend des objectifs de l'étude.

La portée d'émission d'un émetteur radio influence l'effort nécessaire pour trouver le signal, ainsi la portée doit être augmentée (aux dépens de la vie de l'émetteur) si l'espèce est supposée se déplacer sur une large zone. Par contre si l'espèce est supposée rester dans une zone relativement exiguë, l'effort de recherche diminue et la portée peut être réduite augmentant ainsi la vie de l'émetteur. Comme la portée et la durée de fonctionnement sont liées directement à la taille de l'émetteur radio, les grandes espèces sont privilégiées par rapport aux petites en ce qui concerne l'étendue géographique et la durée de l'étude télémétrique.

Les émetteurs radio VHF peuvent s'acheter chez des vendeurs dignes de confiance. Le meilleur conseil serait de lire les publications sur la télémétrie et de se renseigner auprès

des chercheurs expérimentés et bien informés pour déterminer le type de l'émetteur qui conviendrait à l'espèce à l'étude. Il est à noter que les caractéristiques de l'émetteur radio (par ex. fréquence, taux d'impulsion, puissance et durée) doivent être précisées au moment de placer la commande car il est difficile voire impossible de les modifier une fois l'émetteur est construit.

CAPTURE ET RADIOMARQUAGE

Le radiomarquage est supposé avoir des effets négatifs sur l'animal mais il est possible de minimiser ces effets de marquage pour ne pas perturber les mouvements habituels et le comportement de l'individu marqué. Cela est non seulement bon pour l'animal mais aussi pour l'étude. Des effets nuisibles du marquage par radio peuvent être réduits en: 1) minimisant le temps de capture et de manipulation; 2) utilisant le plus petit émetteur radio possible qui conviendrait aux objectifs de l'étude; et 3) utilisant une méthode de fixation le moins en évidence et la plus adaptée possible.

Les techniques de capture ayant déjà été détaillées (*voir Chapitre 3*) il est supposé qu'une technique fiable est identifiée et soumise à des essais sur le terrain avant de procéder avec le radiomarquage. Un bon planning permettra de réduire le temps en captivité et le stress associé à la capture et au radiomarquage. Ceci dit, une période d'observation courte dans un endroit isolé est conseillée après le radiomarquage pour aider l'oiseau à se rétablir après la procédure (surtout après une procédure sous anesthésie) et pour détecter des problèmes, s'il en existe, avant de le remettre en liberté.

Pour minimiser le temps en captivité les procédures de marquage doivent être faites sur le site de capture ou le plus près possible de celui-ci. Il faut planifier les captures autant que possible pour éviter des périodes comme celles de reproduction ou de migration où les oiseaux seraient déjà sous le stress physiologique. Si les mouvements d'oiseaux pendant ces périodes sensibles sont d'un intérêt capital, il vaut mieux capturer et marquer des individus quelques semaines avant l'événement de sorte que la manipulation perturbe au minimum leur comportement migratoire et reproductif. Cela donne aussi à l'oiseau le temps de se remettre du stress et de s'habituer à l'émetteur avant le commencement de la nidification ou de la migration.

Les effets lointains du radiomarquage sur un animal dépendent largement de l'émetteur radio et de la méthode employée pour l'attacher. Donc plus l'émetteur et l'ensemble de fixation sont larges et encombrants plus importants seront les effets négatifs. Quels que soient les objectifs de l'étude, la tendance générale est d'utiliser le plus grand émetteur radio qui convient à l'espèce en question; cependant il est préférable d'utiliser des petits émetteurs répondant aux objectifs de l'étude puisqu'ils sont moins chers et moins perturbateurs.

Des émetteurs externes augmentent la traînée aérodynamique pendant le vol (et la résistance hydrodynamique pour des espèces plongeuses) et selon plusieurs études ils nuisent à la survie, au succès reproducteur, au taux d'alimentation d'oisillon et provoquent d'autres effets nuisibles. Théoriquement, l'émetteur doit se détacher tout de suite après la durée de l'étude mais c'est rarement le cas. La méthode de fixation utilisée ne garantit pas non plus que l'émetteur reste attaché pendant la durée de l'étude.

Des techniques de fixation externes ont été développées pour attacher des émetteurs aux oiseaux moyennant un collier (Figure 7.3), un harnais dorsal (Figure 7.4) ou une bague

au niveau de la patte (Figure 7.5). Les colliers et les harnais dorsaux retiennent parfaitement l'émetteur en place (souvent pendant la vie entière de l'oiseau) et sont actuellement les seules méthodes disponibles pour attacher les émetteurs PTT et GPS. Plusieurs modèles

FIGURE 7.3
Émetteur télémetrique attaché par moyen d'un collier



USGS WESTERN ECOLOGICAL RESEARCH CENTER

FIGURE 7.4
Émetteur télémetrique attaché par moyen d'un harnais dorsal



NICOLAS GAUDET

FIGURE 7.5
Émetteur télémétrique attaché en utilisant une bague



de harnais qui s'adaptent bien aux certaines espèces sont disponibles car des harnais mal ajustés causent des éraflures et empêchent le mouvement de l'aile. Les émetteurs VHF fixés avec des bagues au niveau des pattes restent parfaitement en place mais leurs antennes plus courtes et leur proximité au sol donnent lieu aux problèmes de portée d'émission.

Autres techniques externes de radiomarquage utilisent des adhésifs (par ex. colle, ruban adhésif, époxy, gomme, etc.), des sutures et des broches en acier inoxydable (Figure 7.6), soit seul ou en combinaison pour attacher les émetteurs radio VHF directement à l'oiseau. Ces émetteurs restent attachés pendant quelques semaines ou quelques mois (rarement plus long temps); mais il est aussi possible de perdre l'émetteur plus tôt avec ces techniques. Les adhésifs qui irritent les tissus doivent être utilisés avec attention. L'utilisation de sutures ou de broches nécessite des procédures médicales relativement simples mais elles sont toutefois considérées comme des techniques invasives demandant l'aide des vétérinaires compétents jusqu'à ce que le chercheur gagne de l'expérience avec ces méthodes.

Les dispositifs externes de radiomarquage peuvent provoquer des perturbations de courte durée au niveau de comportement chez l'oiseau alors que certaines espèces ne tolèrent point l'émetteur. Pour ces espèces intolérantes les implants abdominaux ou sous-cutanés restent une option. Les implants des émetteurs radio impliquent des procédures chirurgicales hautement invasives et doivent se faire seulement par un vétérinaire compétent ou des biologistes de la faune formés dans la technique.

Encore une fois, le meilleur conseil serait de lire les publications sur la télémétrie et de se renseigner auprès des chercheurs expérimentés et bien informés pour déterminer la technique de fixation qui serait le mieux éprouvée pour les espèces à l'étude. Avant d'entamer des projets coûteux, il serait préférable de faire des essais pilotes de marquage avec un petit nombre d'oiseaux pour identifier les effets nuisibles du radiomarquage et les problèmes éventuels de rétention de l'émetteur.

FIGURE 7.6
Émetteur télémetrique attaché en utilisant une broche sous-cutanée et une suture



SUIVI PAR TÉLÉMÉTRIE VHF

Radiomarquer des animaux et les mettre en liberté pour les repérer plus tard n'est pas la partie la plus difficile d'un projet télémetrique. Alors que cela pourrait être vrai dans le cas des études télémetriques par satellite, celles à VHF demandent des efforts considérables pour trouver et déterminer les coordonnées relatives à la localisation des échantillons marqués par l'émetteur. Les techniques de télémetrie employées doivent être très efficaces pour que l'argent et l'effort investis pour radiomarquer un échantillon d'oiseaux ne soient pas perdus.

Le suivi télémetrique utilise un récepteur VHF (Figure 7.7) raccordé par des câbles coaxiaux à une antenne de réception pour chercher des signaux émis par les émetteurs radio. Les récepteurs les plus pratiques permettent à l'utilisateur de programmer les fréquences voulues dans le dispositif, de chercher les signaux aux intervalles prévus, et d'arrêter la recherche dès que le signal est détecté. Les contrôles de volume et de gain réglables sont aussi utiles. Certains modèles de récepteur ont des jacks pour fixer des casques d'écoute, une option utile pour bloquer le bruit parasite lors des suivis aériens. Les chercheurs expérimentés peuvent aider à choisir le récepteur approprié parmi les différents modèles disponibles.

Deux caractéristiques importantes concernant les antennes de télémetrie sont leur portabilité et leur directivité. La directivité d'une antenne lui permet de recevoir des signaux maximum et nul selon son orientation vis-à-vis de la source sonore. Les antennes Adcock H et Yagi (Figures 7.8, 7.9 et 7.10) sont celles utilisées couramment dans les études télémetriques d'oiseaux.

L'antenne H avec seulement deux éléments rayonnants a moins de directivité par rapport à Yagi mais sa petite taille la rend plus commode pour le suivi à pied. Par rapport à toutes les antennes de télémetrie la Yagi a la meilleure directivité mais à cause de ses longs

FIGURE 7.7
Récepteur VHF et boîtier d'interrupteur utilisés pour le suivi aérien
dans les études classiques de télémétrie



SCOTT NEWMAN

FIGURE 7.8
Antenne Yagi à quatre éléments fixé sur le hauban de voilure d'aéronef



SCOTT NEWMAN

éléments transversaux elle s'avère aussi la plus encombrante. Les antennes Yagi sont utilisées principalement sur les mâts montés sur des véhicules aux stations de réception fixes ou sont attachées aux haubans de voilure d'aéronef.

Les études de suivi par télémétrie sont plus souvent menées des plateformes terrestres

FIGURE 7.9
Antennes Yagi montées sur une tour à une station de suivi à distance
attachée à un enregistreur de données



SCOTT NEWMAN

FIGURE 7.10
Antenne portative Adcock H



SCOTT NEWMAN

ou aériennes mais les méthodes pour déterminer les coordonnées de localisation varient d'une plateforme à l'autre. Les suivis aériens se font à l'aide d'un seul récepteur attaché à deux antennes directionnelles montées à chaque côté de l'aéronef. Le récepteur est réglé pour chercher les fréquences à travers les deux antennes alors que l' (les) observateur(s) écoute(nt) avec un casque écouteur. Quand un signal est détecté l'observateur passe d'une antenne à l'autre par le moyen d'un boîtier d'interrupteur pour déterminer de quel côté de l'aéronef se trouve le signal et dirige le pilote pour qu'il manœuvre l'aéronef vers cette direction. A mesure que l'aéronef s'oriente vers cette direction l'intensité du signal augmente progressivement jusqu'à un point où il est égal de part et d'autre de l'aéronef; les coordonnées de localisation de la source sonore sont notées à ce point.

Les suivis terrestres menés à pied ou en véhicule utilisent la technique de «triangulation» pour repérer exactement les signaux. En cherchant d'un endroit fixe avec des coordonnées de position déjà connues, le signal est détecté au moyen d'une antenne directionnelle et le relèvement vers le point du plus fort signal est noté. Peu après, la procédure est répétée à un autre endroit voisin. Quand les relèvements des stations d'écoute fixes sont représentés graphiquement, deux lignes d'intersection indiquant l'endroit approché du signal se forment. Certains systèmes utilisant des véhicules augmentent la directivité à l'aide de deux antennes Yagi configurées correctement et montées sur un mât.

Souvent la plus efficace et la plus économique stratégie de repérage s'obtient en intégrant les deux systèmes de suivi, aérien et terrestre (ou embarqué). Bien qu'ils offrent un plus ample champ d'étude et une plus large plage de réception de signal, les suivis aériens sont plus coûteux et moins exacts du point de vue de la localisation. Par contre les suivis terrestres fournissent des localisations plus exactes, permettent souvent d'observer des individus marqués et sont moins coûteux. Les points forts des deux techniques peuvent s'exploiter – les suivis aériens pour détecter approximativement les signaux sur une large surface et terrestres pour avoir des localisations exactes. Quoique la portée de réception au sol soit limitée en comparaison aux suivis aériens, la portée peut être augmentée en cherchant du haut des collines, des tours et des endroits en hauteur.

Des enregistreurs de données programmables sont des dispositifs de stockage des données, fixés ou incorporés dans des récepteurs et ils permettent le suivi à distance à partir des stations de réception fixes. Ces enregistreurs de données sont très utiles pour enregistrer la présence/l'absence des oiseaux marqués à l'intérieur d'une aire restreinte et pour mener des études relatives à l'influenza aviaire, à savoir la surveillance continue pour la présence des oiseaux marqués dans des fermes avicoles et des sites du foyer de maladie.

Comme les récepteurs, les enregistreurs de données ont une pile à l'intérieur mais les sources d'énergie externes (par ex. les panneaux solaires ou des piles de 12-V) peuvent allonger considérablement le temps entre les visites. Pour économiser la puissance de pile, ces enregistreurs de données peuvent être programmés pour mener des recherches soit continues soit à des intervalles prévus. Les données se téléchargent directement dans les ordinateurs portatifs sur le terrain.

Avec l'arrivée des appareils GPS fiables, exacts et au prix abordable, l'ère de marquage des localisations par télémétrie sur les cartes topographiques arrive à sa fin. Les appareils GPS à main sont particulièrement utiles pour marquer les coordonnées de localisation des animaux étiquetés par l'émetteur radio ou à partir des stations de suivi et pour délimiter

les zones couvertes pendant les études de suivi téléométriques. Leur facilité d'usage, leur portabilité et leur compatibilité avec la plupart des logiciels d'analyse spatiale font de GPS un équipement essentiel pour toute étude téléométrique.

ANALYSE DES DONNEES

Depuis sa mise en vigueur comme une technique de suivi de la faune sauvage au début des années 60, la radiotélémetrie a été utilisée pour étudier les mouvements locaux, la dispersion et les routes de migration, estimer les domaines vitaux, l'utilisation et la sélection d'habitat, estimer l'abondance de la population, examiner les relations intraspécifiques et interspécifiques et estimer la survie. L'analyse des mouvements et de la distribution des animaux est devenue une science évoluée indépendante, et les techniques d'analyses particulières sont détaillées dans les revues de White et Garrott (1990) et Fuller *et al.* (2005).

Heureusement, du point de vue de l'écologie de l'IA, l'utilisation principale des données radiotéléométriques est assez simple; étudier les mouvements et les préférences d'habitat des espèces hôtes potentielles qui pourraient acquérir et transmettre les virus, déterminer le chevauchement potentiel entre l'utilisation de l'habitat des oiseaux sauvages et de la volaille, et déterminer si les mouvements des oiseaux sauvages coïncident temporellement avec de nouveaux foyers chez les oiseaux sauvages ou la volaille. Par exemple, les données téléométriques peuvent établir les routes de migration actuelles des oiseaux d'eau pour révéler les relations temporelles et spatiales possibles entre leurs mouvements et les configurations des foyers de l'IA chez la faune sauvage et la volaille. Ceci peut s'accomplir simplement en représentant graphiquement les localisations téléométriques conjointement avec les données sur les foyers de la maladie et en examinant visuellement le cartogramme qui en résulte. Il faut néanmoins veiller à la bonne planification des études de téléométrie afin de s'assurer que les mouvements observés sont représentatifs de la population, parce que de différentes parties d'une population (sexes ou cohortes d'âge) peuvent démontrer de différentes stratégies de déplacement.

Aux échelles plus petites, l'utilisation des données téléométriques pour établir des mouvements locaux et des préférences d'habitat des oiseaux sauvages peut impliquer l'analyse du domaine vital afin d'examiner un chevauchement direct avec des exploitations d'élevages avicoles, ainsi que l'exposition indirecte aux matières infectieuses comme la décharge des effluents avicoles dans les zones humides. L'analyse des domaines vitaux utilise les localisations téléométriques pour décrire la distribution spatiale d'un animal au cours d'une période déterminée. L'analyse des domaines vitaux pourrait être aussi simple que de lier les localisations afin de présenter un polygone convexe minimum qui couvre en théorie l'aire d'utilisation entière de l'animal. Ou elle peut impliquer les modèles probabilistes compliqués révélant le partage différentiel des ressources dans une région (par exemple, estimation du domaine vital à noyau adaptatif), ce qui nécessitent des programmes complexes du Système d'information géographique (SIG).

Une bonne connaissance du SIG est aujourd'hui une compétence indispensable pour ceux qui travaillent sur le mouvement des animaux et les données spatiales. Le logiciel Arcview GIS, entre autres, offre des options diverses qui permettent à l'utilisateur de tracer les localisations, calculer rapidement les distances et la vitesse de déplacement, et faire des analyses de mouvement, de domaine vital, d'utilisation d'habitat et d'autres analyses

spatiales diverses. Les programmes du SIG sont aussi dotés de capacités évoluées de cartographie qui permettent des analyses visuelles et statistiques des rapports entre les oiseaux marqués et l'habitat ou les variables climatiques.

La disponibilité de l'imagerie satellitaire de haute qualité de la surface terrestre par le biais des programmes d'ordinateur comme Google Earth¹² ayant des capacités supplémentaires permettra à l'utilisateur de tracer les localisations GPS et de visualiser les mouvements d'oiseaux par rapport à leur environnement.

ÉTUDES DE MARQUAGE-RECAPTURE (RÉOBSERVATION)

Avant l'arrivée de la technologie de radiotélémetrie, les études sur les mouvements des animaux ont été menées en utilisant les techniques de marquage-recapture ou réobservation. L'étude de marquage-recapture (ou réobservation) est théoriquement très simple. En essence, des animaux sont capturés, marqués pour l'identification ultérieure, et remis en liberté. Les recaptures ou réobservations ultérieures, dépendant de la technique de marquage, fournissent des informations concernant les mouvements des individus marqués. Les études de marquage-recapture s'appliquent à toutes les espèces d'oiseaux qui peuvent être capturées et marquées en sécurité, et en fonction de l'aire de répartition de l'espèce, peuvent couvrir des aires géographiques extensives limitées seulement par des efforts de l'équipe de chercheurs.

Le marquage des oiseaux sauvages est une méthode répandue pour examiner les aspects de la biologie aviaire spécifiques aux sites où de grands nombres d'oiseaux peuvent être marqués avec une combinaison de couleurs et/ou de codes numériques pour la reconnaissance individuelle d'un oiseau. Le marquage individuel fournit un outil de valeur pour l'étude des mouvements des oiseaux d'eau migrateurs et a été de plus en plus utilisé en conjonction avec la surveillance de l'influenza aviaire. Il est important que tout projet de marquage planifié soit approuvé par des organismes responsables aux niveaux national ou régional pour s'assurer que le plan proposé n'est pas en contradiction avec les autres programmes de marquage en cours ou prévus.

Il y a des programmes de marquage bien coordonnés pour les espèces différentes en Eurasie par EURING¹³, en Afrique par AFRING¹⁴, dans la région Asie-Pacifique¹⁵, et des programmes divers aux Amériques.

La considération principale pour le choix de la méthode de marquage est d'éviter les techniques qui auraient des effets négatifs sur la santé, la survie, le comportement ou le succès reproductif de l'individu marqué. Certaines techniques qui sont appropriées pour une espèce ne le seraient pas pour une autre. Les études d'essai de marquage d'un petit nombre d'échantillons peuvent être nécessaires afin d'évaluer les effets avant de marquer un grand nombre d'oiseaux. Quant à toutes les activités de capture et de manipulation, le marquage des oiseaux sauvages est soumis à des contrôles rigoureux dans la plupart des pays et des permis doivent être procurés des autorités appropriées locales, de l'état, régionales, provinciales et fédérales.

¹² Téléchargement gratuit de <http://www.earth.google.com>.

¹³ <http://www.cr-birding.be/>

¹⁴ <http://www.safring.net>

¹⁵ <http://wetlands.tekdi.net/colorlist.php>

Une liste de techniques de marquage et de quelques particularités importantes à prendre en considération dans la planification d'une étude de marquage-recapture se trouve dans le Tableau 7.2. Est-ce que la technique permet d'identifier les individus marqués ou les oiseaux sontils marqués en groupe? Est-ce que la technique est invasive? La recapture ou la réobservation, est-elle le moyen le plus efficace pour obtenir les données recherchées? Des réponses à ces questions aideront à déterminer la technique optimale de marquage.

La méthode la plus commune et répandue de marquage d'oiseaux utilise des anneaux en métal numérotés (ou "bagues"). Ils sont (ou doivent être) placés sur chaque oiseau qui est capturé et remis en liberté. Les anneaux en métal numérotés permettent l'identification individuelle des oiseaux marqués, mais les oiseaux doivent être recapturés afin de pouvoir lire les numéros. Une combinaison des anneaux en métal et ceux en plastique en couleur (Figure 7.11) a été utilisée dans le cas de plusieurs espèces d'oiseaux aux pattes longues (par exemple, limicoles). Les anneaux plastiques en couleur ou les banderoles permettent la reconnaissance de l'individu sans avoir à recapter l'oiseau. Les détails sur les bagues et les techniques de baguage se trouvent dans le *Chapitre 4*.

Bien que les oiseaux marqués des bagues en métal aient besoin d'être recapturés, les bagues sont probablement les moins perturbatrices de toutes les techniques décrites ici. Les autres techniques laissent des marques externes facilement visibles d'une distance, mais qui pourraient entraîner des effets nuisibles physiques ou comportementaux. En effet, les étiquettes patagiales et les étiquettes de palmure nécessitent une procédure invasive dans laquelle la peau est percée pour attacher l'étiquette. Bien que les oiseaux marqués avec ces étiquettes soient identifiables d'une distance, leur recapture s'imposerait si le numéro de l'étiquette est trop petit pour être lu.

Des colliers (Figure 7.12), des disques nasaux (Figure 7.13), des selles nasales, et des bagues aux pattes en couleur ou des banderoles fournissent des marques visibles qui permettent l'identification des individus marqués sur de longues distances à l'aide des jumelles ou d'un télescope d'observation. Ayant des marques externes très visibles, ces techniques

TABLEAU 7.2

Les techniques de marquage de la faune sauvage d'usage courant dans les études d'oiseaux*

Technique de marquage	ID	Invasive	Codes	Recapture-Réobservation	Durée
Bagues					
Métal	Ind	Non	Numérique	Recapture	Vie
Plastique, Darvic	Ind	Non	Couleur	Réobservation	Mois/Vie
Colliers	Ind	Non	Couleur+numérique	Réobservation	Vie
Disques Nasaux	Ind	Inv	Couleur+forme	Réobservation	Vie
Selles Nasales	Ind	Inv	Couleur+numérique	Réobservation	Vie
Rubans	Groupe	Non	Couleur	Réobservation	Semaines
Banderoles	Ind	Non	Couleur+numérique	Réobservation	Vie
Colorants de plumage	Groupe	Non	Couleur	Réobservation	Semaines
Étiquettes Patagiales	les deux	Inv	Couleur+numérique	les deux	Vie
Étiquettes de palmure	les deux	Inv	Couleur+numérique	les deux	Vie

* Les caractéristiques de chaque technique indiquent si la marque permet d'identifier les oiseaux comme des individus (Ind) ou en groupe; si la technique est invasive (invasive [Inv] ou non-invasive [Non]); si les codes numériques, de la couleur ou de la forme sont utilisés pour l'identification des oiseaux marqués; si les données sont obtenues par le moyen de la recapture ou de la réobservation; et la durée de la marque

sont particulièrement d'une grande valeur dans les études locales qui examinent le chevauchement d'habitat entre les oiseaux aquatiques domestiques et sauvages à proximité des élevages de plein air. En fait, beaucoup de ces techniques sont utilisées fréquemment dans les études d'oiseaux d'eau. Pourtant, il faut prendre soin lors de l'attachement des selles

FIGURE 7.11
Bagues aux pattes en couleur utilisées comme marqueur dans les études de marquage-recapture réobservation



ROB ROBINSON

FIGURE 7.12
Collier utilisé comme marqueur dans les études de marquage-recapture réobservation



NYAMBAYAR BATBAYAR

FIGURE 7.13
**Disque nasal utilisé comme marqueur dans les études
de marquage-recapture réobservation**



DARRELL WHITWORTH

ou des disques nasaux parce que les marqueurs qui ne sont pas bien mis au point peuvent facilement s'enchevêtrer dans la végétation et leur utilisation n'est pas conseillée dans le cas des espèces plongeuses.

Des colorants sur le plumage fournissent des marques visibles externes qui sont souvent bien en vue sur de très longues distances mais qui ne permettent pas l'identification individuelle. L'application des colorants, de la peinture ou des décolorants au plumage est en général le plus visible sur des espèces de couleur uniforme; des colorants foncés pour des oiseaux plus pâles et des colorants pâles pour des oiseaux de couleur foncée. Les oiseaux marqués avec des colorants, de la peinture ou des décolorants doivent être visibles jusqu'à ce qu'ils se déplument lors de la mue, d'où la nécessité absolue de synchronisation du marquage par rapport à la mue. Il faut appliquer des colorants avec soin pour éviter toute irritation des tissus sensibles.

Les rubans de couleur en plastique offrent une autre marque externe qui est visible sur de longues distances, mais qui ne permet pas l'identification individuelle. Les banderoles en plastique et les rubans plastifiés en PVC attachés aux bagues, aux colliers ou aux rectrices servent de marque à court terme qui peut se dégrader et tomber au fil du temps (quelques semaines à des mois). Les rubans doivent être coupés à une longueur qui les rend visibles d'une distance, mais qui est suffisamment courte pour éviter l'enchevêtrement dans la végétation.

La plupart des études de marquage-recapture exigent la capture d'un nombre assez important d'oiseaux, et plusieurs techniques de capture ont été discutées dans le *Chapitre 3*. Cependant, les techniques créatives de marquage à distance ont été développées afin d'éviter le stress qui accompagne inévitablement la capture et la manipulation. Les techniques de marquage à distance pour les oiseaux impliquent en général l'application des colorants ou de la peinture non-toxiques qui teintent le plumage lorsque les oiseaux visitent les endroits où se trouvent leurs nids ou les sources d'eau où le colorant a été appliqué.

Ces méthodes ne permettent pas en général l'identification individuelle des animaux marqués, mais méritent d'être considérées si le marquage en groupe correspond aux objectifs de l'étude. Par exemple, les colorants introduits dans les sources d'eau dans les élevages de volaille ouverts peuvent être utilisés pour marquer les oiseaux sauvages pendant une période limitée et pour déterminer s'il y a les mouvements entre les élevages et les zones humides naturelles.

Les études de marquage-recapture exigent des efforts importants de la recapture après la mise en liberté ou de la recherche, souvent à travers de grandes aires géographiques, afin d'obtenir les données nécessaires sur le mouvement. Le marquage ne doit s'exécuter que si des ressources suffisantes sont disponibles pour assurer le suivi. La communication et la coordination avec d'autres chercheurs et gestionnaires de la faune sauvage (ce qui est toujours avantageux) pour les rendre conscients de la présence des individus marqués maximiseront les résultats de recapture ou de réobservation.

ANALYSE D'ISOTOPE STABLE

L'émergence récente de l'analyse d'isotope stable (SIA, Stable Isotope Analysis) a ajouté un outil puissant dans l'étude des stratégies migratoires générales d'oiseaux. L'utilité des isotopes stables (e.g. hydrogène, carbone, azote) comme des indicateurs des routes de migration d'oiseaux est basée sur la forte corrélation entre la concentration de certains isotopes dans l'environnement et la concentration de ces mêmes isotopes assimilés dans les tissus des oiseaux, plus particulièrement les plumes. Puisque quelques isotopes dans l'environnement tendent à démontrer des traits prévisibles à l'échelle continentale, la concentration des isotopes dans les plumes peuvent révéler le lieu général de mue ou de croissance des plumes de l'oiseau. L'analyse des isotopes stables requiert des techniques complexes de laboratoire qui ne font pas partie du cadre de ce manuel, mais Hobson (1999) offre une revue excellente.

La résolution spatiale de SIA est probablement dans l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres à l'échelle latitudinale et même plus grande à l'échelle longitudinale. Bien que l'analyse des isotopes stables ne puisse pas être utilisée dans une étude détaillée des mouvements ou pour l'identification des sites de reproduction particulières, elle est capable de révéler les routes de migration générales qui ont des applications dans les études en matière de l'IA; par exemple, la détermination des aires de reproduction générales d'oiseaux d'eau capturés sur les sites de repos ou de non-reproduction, ou recueillis aux sites de flambées de la maladie.

Malgré les limitations qui s'imposent, la technique de l'analyse des isotopes stables a des avantages. Les oiseaux n'ont besoin d'être capturés qu'une fois et n'ont pas besoin d'être marqués d'une manière quelconque pour déterminer leurs mouvements généraux. La procédure d'échantillonnage de l'analyse des isotopes stables, qui implique le recueil d'un petit nombre de plumes, est très simple et peut s'exécuter sur n'importe quelle espèce sans distinction de taille. L'analyse des isotopes stables n'est pas soumise à des contraintes géographiques qui sont associés aux études de marquage-recapture ou de radiotélémétrie VHF dans lesquelles les sites éloignés sont rarement échantillonnés. Bien que la télémétrie par satellite soit libre de telles contraintes géographiques, elle coûte très chère par rapport à l'analyse d'isotopes stables.

REFERENCES ET SOURCES D'INFORMATION

- Fuller, M.R., Millspaugh, J.J., Church, K.E. & Kenward, R.E.** 2005. *Wildlife radiotelemetry*. In Braun, C.E., ed. *Techniques for wildlife investigations and management*, pp. 377-417. The Wildlife Society, Bethesda, USA.
- Hobson, K.A.** 1999. *Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review*. *Oecologia*, 120: 314-326.
- Jessop, R., Collins, P. & Brown, M.** 1998. *The manufacture of leg flags in the light of experience*. *Stilt*, 32: 50-52.
- Kenward, R.E.** 2001. *A manual of wildlife radio tagging*. Academic Press, London.
- Silvy, N.A., Lopez, R.R. & Peterson, M.J.** 2005. *Wildlife marking techniques*. In Braun, C.E., ed. *Techniques for wildlife investigations and management*, pp. 339-376. The **Wildlife Society, Bethesda, USA.**
- White, G.C. & Garrott, R.A.** 1990. *Analysis of wildlife radio-tracking data*. Academic Press, San Diego, California, USA.