

Sur les traces des migrateurs

Primaire et collège

Résumé

Qui n'a jamais rêvé de partir au bout du monde sur les ailes d'un grand planeur pour passer l'hiver là où le Soleil est toujours chaud et le ciel toujours bleu ? Les animaux migrateurs vivent ces grands voyages chaque année, mais la réalité est souvent moins rose qu'on voudrait l'imaginer. Les nouvelles technologies permettent aujourd'hui d'en percer certains secrets...

sur les traces des migrateurs

Delphine Picamelot et Sylvie Massemin-Challet

Qui n'a jamais rêvé de partir au bout du monde sur les ailes d'un grand planeur, pour passer l'hiver là où le soleil est toujours chaud et le ciel toujours bleu ? Les animaux migrateurs vivent ces grands voyages chaque année, mais la réalité est souvent moins rose qu'on voudrait l'imaginer. Les nouvelles technologies permettent aujourd'hui d'en percer certains secrets...

Animaux et migration

Qu'est-ce que la migration ?

La migration est, par définition académique, un déplacement régulier et cyclique des individus d'une ESPÈCE de leur zone de reproduction vers une autre région plus clémente où ils passent le reste de l'année. Cependant, de très nombreuses exceptions et nuances viennent modifier cette définition, car le terme « migration » ne peut inclure tous les types de déplacement observés dans la nature.

Aussi, pour pouvoir réellement être qualifié de « migration », un déplacement doit réunir un certain nombre d'éléments :

- présenter un retour au point de départ (le déplacement définitif ou l'expansion géographique d'une population seront plutôt qualifiés d'« exode » ou d'« invasion ») ;
- induire une certaine durée d'absence du lieu de reproduction, en général sur

une rythmicité annuelle (car les oiseaux, comme les manchots, qui effectuent des trajets lointains mais relativement courts et fréquents pour s'alimenter, ne sont pas des oiseaux migrateurs), voire à l'échelle de plusieurs années (comme les saumons ou les anguilles, par exemple). Mais on peut parler aussi de migration nyctémérale, qui se réalise sur la journée. Même si l'échelle temporelle est réduite, cette migration concerne un très grand nombre d'organismes qui font partie du zooplancton réparti dans tous les océans et autres milieux aquatiques. Situés en profondeur dans la colonne d'eau pour se protéger des prédateurs, ces organismes se déplacent vers la surface la nuit afin de consommer le phytoplancton, constitué essentiellement d'algues unicellulaires ;

– être de relativement grande amplitude – mais se pose ici le problème de définir le seuil de la « grande » amplitude, qui reste relatif pour chaque espèce. Cette amplitude peut atteindre des valeurs immenses : des chercheurs ont montré en 2007 que le puffin fuligineux (*Puffinus griseus*) détenait le record, pouvant parcourir une distance de 65 000 km (aller-retour compris). Cette espèce se reproduit en Nouvelle-Zélande, rejoint l'Antarctique pour se nourrir de krill (c'est le nom que l'on donne aux crevettes évoluant dans les eaux froides), remonte tout

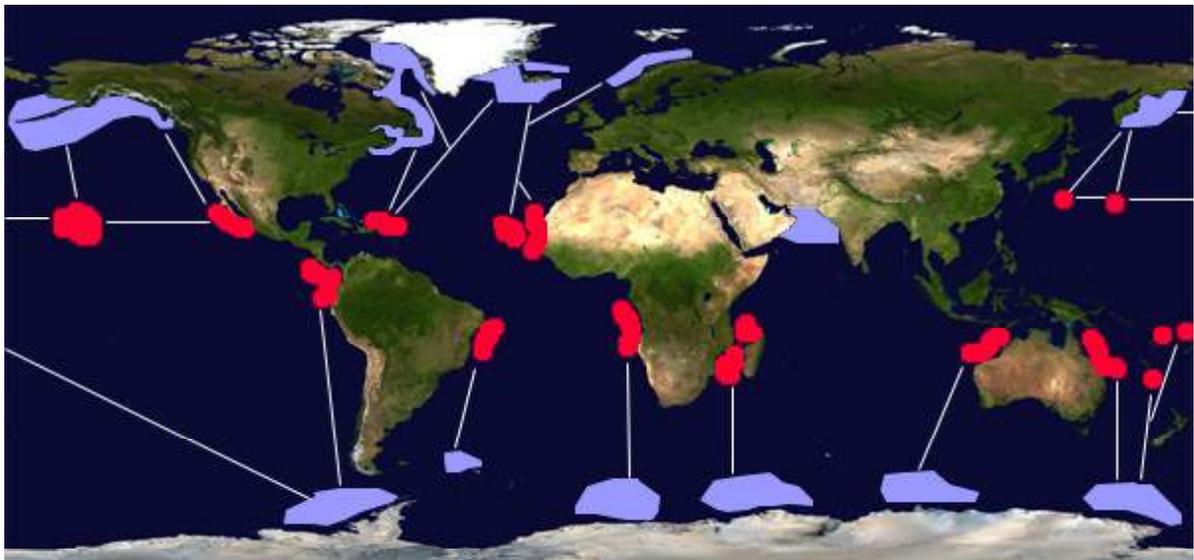
en faisant des huit dans l'océan Pacifique vers l'Alaska et retourne ensuite en Nouvelle-Zélande pour entamer une nouvelle reproduction. Son comportement migratoire est similaire à celui que présentent les sternes arctiques qui se déplacent d'un pôle à l'autre, mais principalement dans l'océan Atlantique. À l'inverse, cette amplitude peut n'être que de quelques kilomètres, comme cela est connu chez le cerf élaphe qui se déplace quotidiennement de clairière en sous-bois.

Malgré ces éléments de définition de la migration, certains comportements animaliers ne sont donc pas faciles à classer, et ce n'est parfois qu'en fonction de l'appréciation de l'observateur que telle ou telle espèce pourra être considérée comme migratrice.

Quels sont les animaux qui migrent ?

Si les oiseaux détiennent le record de distance en matière de migration, les mammifères marins ne sont pas en reste. Par exemple, les baleines grises gagnent les

tropiques en début d'hiver pour se reproduire et remontent en février vers le Nord. Les poissons comme les thons rouges sont aussi de grands migrateurs. Nous pouvons aussi citer des espèces de papillons comme le monarque. Chaque automne, entre 50 et 100 millions d'individus de cette espèce d'Amérique du Nord et du sud du Québec rejoignent vers la mi-octobre les forêts isolées des hautes montagnes de l'est de l'État du Michoacán, au centre du Mexique, après un long voyage d'au minimum deux mois. Cette migration annuelle de plus de 4 000 km est la plus longue jamais observée chez un insecte. Elle révèle les performances physiques extraordinaires de cet animal qui pèse moins d'un demi-gramme et parcourt entre 30 et 50 km par jour. Le papillon détient aussi un autre secret étonnant : celui de sa longévité que des études scientifiques tentent de percer : le monarque vit près de 9 mois alors que la plupart des autres espèces de papillons subsistent tout au plus quelques jours ou quelques semaines.



Migration de la baleine grise (*Eschrichtius robustus*). Les baleines des zones arctiques et antarctiques (zones bleues) regagnent au cours de l'hiver les régions plus clémentes des océans (zones rouges) où elles vont bénéficier d'une nourriture abondante. Là, elles pourront mettre bas et rejoindront avec leurs jeunes l'océan Arctique ou Antarctique à la fin de l'hiver.

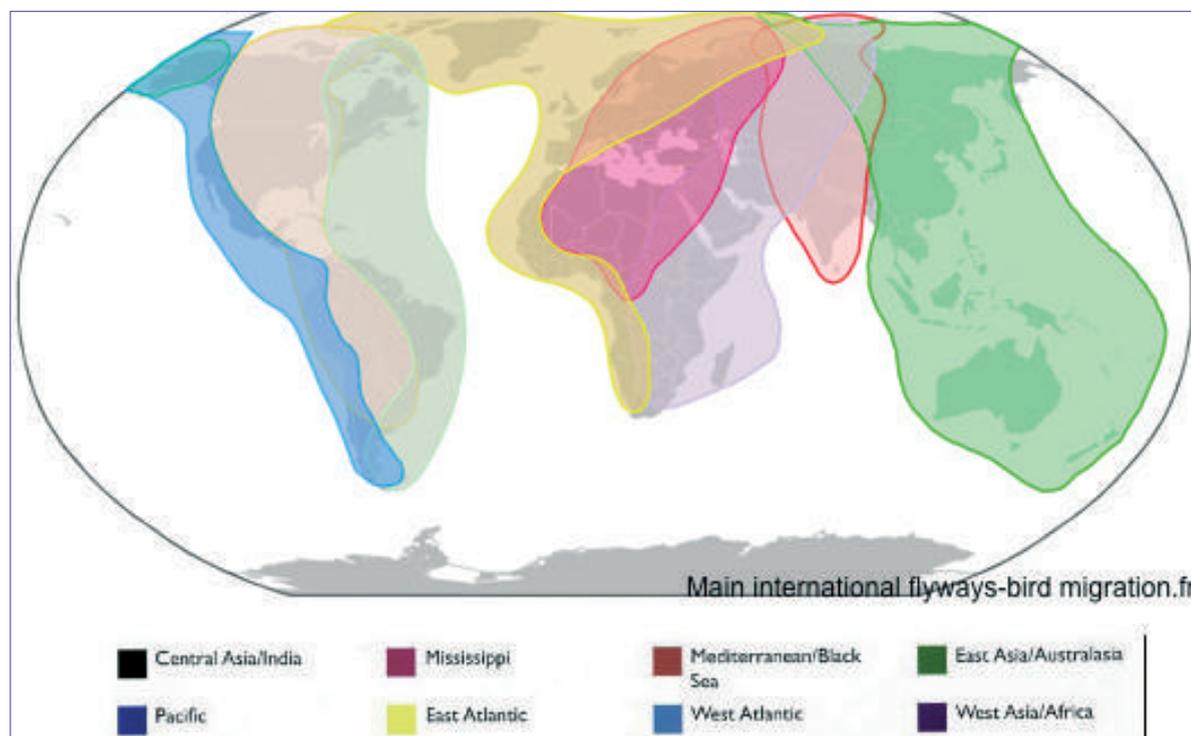
© cetaces.guadeloupe.com

Dans la suite, parmi le panel de trajets migratoires empruntés par les organismes (exemple des migrations des limicoles au niveau planétaire, ci-dessous), nous nous attacherons à décrire plus particulièrement la migration au sens le plus couramment répandu en Europe : un grand trajet nord-sud (centré sur l'Europe !), automnal et printanier.

Pourquoi les animaux migrent-ils ?

S'il paraît évident que les animaux ne vont pas rester inactifs face à la dégradation de leurs conditions de vie consécutive à l'apparition de l'hiver, les stratégies de lutte contre ces nouvelles contraintes (froid, raréfaction de la nourriture) varient d'une espèce à l'autre. Ainsi de nombreux animaux, gros ou petits, vont-ils HIVERNER et minimiser leurs dépenses d'énergie

en diminuant plus ou moins fortement et plus ou moins continûment leur activité et leur température corporelle (par exemple l'ours polaire). Poussé à l'extrême sur une longue période, ce comportement va jusqu'à l'HIBERNATION (chez le loir ou la marmotte). D'autres, comme les passereaux, des petits oiseaux dont le représentant le plus connu est le moineau, ou les renards, vont changer de régime alimentaire pour se contenter de ce qu'ils peuvent trouver sur place en hiver et modifier leur comportement afin de passer le maximum de temps à rechercher cette nourriture tout en se protégeant du froid en adoptant telle ou telle posture ou en s'abritant. Enfin, certains désertent les lieux pour rechercher des cieux plus cléments et plus généreux pendant les mauvais mois, migrant en général vers les tropiques où la nourriture est plus abondante.



Les huit voies migratoires principales utilisées par les oiseaux du littoral (limicoles). Deux d'entre elles – celle de l'Atlantique Est et celle de la Méditerranée/mer Noire – concernent des oiseaux qui font de longs séjours en Europe. Reproduit d'un ouvrage de Thompson et Byrkjedal (2001).

L'origine des migrations animales pourrait remonter aux périodes glaciaires. Vingt et une périodes glaciaires se sont succédé au cours du quaternaire, avec la dernière bien connue qui est la glaciation de Würm (de 120 000 à 10 000 ans). Les animaux qui se reproduisaient dans des territoires plus proches des pôles que de l'équateur ont vu leurs conditions de vie devenir de plus en plus difficiles en hiver à cause du froid et de la raréfaction de la nourriture. Certains individus sont alors descendus vers les tropiques. Avec l'extension des calottes glacières au-delà des pôles, les trajets vers le sud sont devenus de plus en plus longs, jusqu'à atteindre des milliers de kilomètres. Ces individus qui trouvaient en hiver des zones favorables se sont mieux reproduits que ceux restés dans des zones plus froides, ce qui a peu à peu donné l'avantage aux lignées qui présentaient le meilleur comportement face aux contraintes de leur environnement. Mais si les tropiques sont si hospitaliers, pourquoi les animaux n'y sont-ils pas restés en été ? Sans doute la pression démographique dans ces zones, prises d'assaut en hiver, quand rien d'autre n'était accessible, poussa-t-elle les plus mobiles (les oiseaux plus particulièrement) à trouver des zones de reproduction moins fréquentées, donc à remonter vers de plus hautes latitudes, où l'arrivée du printemps favorisait une explosion des ressources alimentaires rendant à nouveau les paysages accueillants. Une pression de prédation plus importante sur les zones d'hivernage aurait également poussé les animaux à regagner les zones à latitude plus élevée.

Cependant, la glaciation n'est plus d'actualité, et bien des zones de latitude moyenne, la France par exemple, présentent en hiver un climat que beaucoup de

migrateurs pourraient supporter. Ainsi, des oiseaux se reproduisant en Arctique passent-ils l'hiver en France, où le climat hivernal, comparativement, est bien plus agréable. On pourrait penser alors que des animaux assez résistants nichant en Europe n'ont plus besoin de voyager, et qu'ils auraient intérêt à cesser ces dépenses d'énergie devenues inutiles. Mais le comportement d'une espèce ne change pas en quelques décennies, même si l'on peut observer des modifications de comportement chez certaines (nous y reviendrons).

Comment les animaux, et plus particulièrement les oiseaux, s'orientent-ils dans le temps et l'espace ?

Les rythmes biologiques sont aujourd'hui assez bien connus des scientifiques et il est désormais acquis que le déroulement annuel de la vie des animaux est en grande partie ajusté par des stimuli lumineux. L'alternance jour/nuit est ainsi prépondérante, puisqu'elle varie au cours de l'année de façon très régulière : les jours s'allongent de janvier à juin et raccourcissent de juillet à décembre, de la même manière d'une année sur l'autre (par opposition, les variations de température ne sont qu'un repère secondaire car elles sont très différentes selon les années). Les informations lumineuses captées par les yeux sont en partie traitées par la glande pinéale – située dans le cerveau –, qui permet aux animaux de percevoir des variations, même faibles, de la durée du jour. C'est ainsi qu'au début de l'été ou de l'hiver, quand le jour commence à diminuer ou à augmenter, toute une cascade de phénomènes physiologiques sont provoqués par la sécrétion de différentes HORMONES. Ces hormones, libérées dans le sang, transmettent des informations aux différents

organes et contrôlent la préparation à la migration : le corps et le comportement de l'animal sont modifiés pour qu'il se mette dans les meilleures conditions avant de partir (nous y reviendrons).

Du point de vue spatial, il est certain que les repères visuels, et parfois également olfactifs et auditifs, des paysages traversés jouent pour beaucoup dans l'orientation des animaux au cours de leur migration. Mais même si les chercheurs ne sont pas tout à fait d'accord entre eux, il semble en fait que plusieurs facteurs interviennent pour expliquer l'orientation vers une zone plus accueillante. Les oiseaux sont ainsi capables de s'orienter la nuit grâce à la position des étoiles et le jour grâce au trajet du Soleil. Mais, surtout, il est établi que nombre d'entre eux sont sensibles au champ magnétique terrestre. Un tissu riche en petits cristaux de magnétite, réagissant un peu comme l'aiguille d'une boussole, a même été trouvé dans le cerveau de pigeons. Si l'on place des petits aimants sur le dos de ces pigeons, ces derniers s'égarer et sont incapables d'emprunter leur axe de migration. Si la connexion entre ce tissu et le système nerveux n'a pas été mise en évidence pour le moment de façon convaincante, il est tout à fait probable qu'il joue un rôle important dans l'orientation de ces oiseaux par rapport au champ magnétique terrestre. Néanmoins, pour expliquer convenablement les migrations, il est nécessaire de supposer que les oiseaux forment une carte mentale des trajets, les jeunes oiseaux pouvant apprendre les trajets des plus anciens. Ainsi, il a été possible d'enseigner, avec l'aide d'un ULM, un nouvel itinéraire de migration à des grues blanches après réintroduction. On a également pu enseigner à des bernaches du Canada un trajet de migration plus sûr.

Cet apprentissage doit être nuancé car une équipe allemande a pu montrer l'influence de la composante génétique dans l'axe du trajet migratoire. Le croisement de fauvettes à tête noire sédentaires du Cap-Vert avec des oiseaux allemands migrants donne que 41% de la descendance présentent un comportement de migration. De plus, toujours chez la même espèce, le croisement d'oiseaux allemands migrant vers le sud-ouest avec d'autres migrant vers le sud-est aboutit à des jeunes fauvettes qui voyageront avec une orientation intermédiaire par rapport à celle des parents.

Il faut savoir que la migration peut toucher totalement ou partiellement les populations pour une espèce donnée. On parle de « migration totale » quand tous les individus d'une population sont concernés et entament une migration. Il existe aussi le cas où les individus d'une population se reproduisant en Europe septentrionale vont hiverner en Europe méridionale et cohabiter sur la zone de reproduction d'une autre population de la même espèce dont les individus sont sédentaires. Il arrive aussi qu'il y ait, au sein de la même population, des individus sédentaires et migrants. Ceci met clairement en évidence une variation interindividuelle dans les relations étroites entre la composante génétique et les facteurs externes.

Comment les animaux s'adaptent-ils à ces trajets ?

À quatre pattes, dans les airs ou à la nage, le problème est le même pour tous : comment faire face aux dépenses d'énergie et aux dangers liés à un trajet long à la fois dans le temps et dans l'espace ?

En prévision des fortes dépenses d'énergie nécessaires à un long déplacement,

beaucoup d'animaux, et en particulier les oiseaux qui battent fortement des ailes comme les oies ou les canards, accumulent des réserves (graisse et muscle) avant le départ. Il existe donc une période prémigratoire très importante pour ces animaux, pendant laquelle leur corps se modifie (développement des muscles locomoteurs et accumulation de graisse sous-cutanée principalement). De plus, juste à la fin de la période de reproduction, les rémiges (les grandes plumes des ailes) des oiseaux migrants subissent une mue. On peut supposer que cela permet d'optimiser l'efficacité du vol.

De nombreuses adaptations comportementales permettent également aux animaux d'économiser de l'énergie. Ainsi, les vols en V caractéristiques des oies, des canards ou des pélicans permettent aux individus placés de chaque côté de bénéficier des turbulences favorables induites par le battement d'ailes de l'oiseau situé à la pointe du V. Celui-ci est relayé en cours de vol afin de profiter à son tour de ces courants d'air. D'autres oiseaux volent de nuit, ce qui leur permet d'éviter les grosses chaleurs de la journée et les prédateurs. Enfin, certains animaux aquatiques (méduses, tortues luths) tirent avantage des courants marins pour atteindre à moindres frais des zones plus propices. De la même manière, les grands oiseaux planeurs, tels les cigognes ou les vautours, planent sur les courants d'air chaud ascendants pour prendre de l'altitude, puis glissent doucement jusqu'à la base d'une prochaine ascendance.

D'autres difficultés peuvent également se présenter en cours de migration. La pression des prédateurs peut être réduite par le déplacement en groupe, qui permet à la fois de donner l'alerte et de troubler le prédateur

qui ne sait plus à quelle proie s'attaquer. En revanche, certains obstacles, comme les lignes électriques ou les transports aériens, sont des pièges que de nombreux oiseaux ne savent pas encore éviter.

Influence du réchauffement climatique sur les paramètres de migration

Il existe des oiseaux sédentaires qui hivernent sur leur zone de reproduction, des oiseaux dits « de courte distance » car leur zone d'hivernage est située au nord de la zone saharienne et les oiseaux dits « de longue distance », leur zone d'hivernage étant au-delà du Sahara. De nombreuses recherches sont actuellement menées pour évaluer l'incidence de l'augmentation de la température sur le comportement migratoire des oiseaux. Un travail récent basé sur un suivi de 300 espèces d'oiseaux entre 1960 et 1999 a mis en évidence un déclin du nombre d'espèces de migrants dits « de longue distance ». L'hypothèse avancée pour expliquer ce phénomène serait que ces espèces deviendraient sédentaires ou disparaîtraient. Par exemple, la cigogne blanche qui, schématiquement, se reproduit en Europe centrale et migre en Afrique en hiver (voir la carte page suivante), présente de plus en plus un comportement sédentaire en Europe. Des dizaines de cigognes, prenant peut-être exemple sur leurs congénères « apprivoisées » et sédentarisées par l'homme pour la sauvegarde des populations locales, restent spontanément sur leurs zones de reproduction européennes en hiver. Elles profitent alors de la nourriture disponible, notamment sur les décharges publiques. Peut-être assistons-nous ici à une évolution de l'espèce par l'intermédiaire d'individus qui, au lieu de risquer de mourir de faim

pendant les sécheresses africaines ou de s'électrocuter en chemin, trouveront leur équilibre naturel en se sédentarisant ou en effectuant seulement de courts trajets de quelques centaines de kilomètres vers le sud pour éviter le gel hivernal de certaines régions. C'est le cas de la cigogne Max qui rejoignait le continent africain chaque hiver et qui, depuis deux années, arrête sa migration à la péninsule Ibérique.

Il a aussi été révélé que le réchauffement climatique pouvait influencer d'autres paramètres de migration. En ce qui concerne la date de départ de la migration automnale, elle est retardée pour les espèces migratrices de courte distance alors qu'elle est avancée pour les migrateurs de longue distance (l'explication donnée est que les oiseaux

doivent traverser le Sahara avant que ne débute la période de sécheresse, qui elle-même est plus précoce). La date d'arrivée de la migration printanière est, elle, avancée ainsi que le début de la reproduction pour les espèces migratrices dites de courte distance. Pour les espèces migratrices dites de longue distance, les effets sont moins nets ; soit aucun effet n'apparaîtrait (chez le pouillot siffleur, *Phylloscopus sibilatrix*) ; soit l'arrivée serait plus précoce – mais pas assez pour être en phase avec la phénologie des ressources alimentaires (apparition des feuilles et donc des insectes), la date de ponte en serait alors retardée car les oiseaux auraient plus de difficulté à s'alimenter (exemple chez le gobe-mouches, *Ficedula hypoleuca*).



Étudier les migrations

Pourquoi étudier ces déplacements ?

La question de l'intérêt de l'étude des migrations animales peut se poser pour certains d'entre nous, comme pour toute autre recherche scientifique n'ayant pas de conséquences directes sur notre santé ou notre bien-être. Cette recherche fondamentale (par opposition à la recherche appliquée) semble en effet avant tout destinée à assouvir notre curiosité pour le monde qui nous entoure mais elle nous permettra aussi, à long terme, de mieux comprendre notre milieu et les espèces avec lesquelles nous interagissons. Ainsi aurons-nous à notre disposition les éléments de connaissance qui

Les cigognes blanches nichent en Europe, de l'Espagne à la Russie, et dans l'extrême nord de l'Afrique. Les cigognes de la sous-population Ouest traversent la Méditerranée au-dessus du détroit de Gibraltar pour hiverner en Afrique de l'Ouest. Les cigognes de la sous-population Est traversent la Méditerranée au-dessus du détroit du Bosphore. Après avoir survolé Israël, elles hivernent dans tout l'est et le sud de l'Afrique. © AEWA

nous aideront à sauvegarder, gérer, exploiter et respecter notre propre milieu de vie.

Du point de vue scientifique, l'étude des déplacements des animaux permet tout d'abord de comprendre leur comportement, de connaître très précisément leur **CYCLE ANNUEL**, et en particulier d'essayer d'expliquer l'influence des conditions d'hivernage sur le succès reproducteur dans les zones de nidification. De plus, la migration est un phénomène qui touche de larges populations et qui peut donc fortement influencer divers **PARAMÈTRES** de leur dynamique (démographie, survie, etc.).

D'un point de vue appliqué, la connaissance précise de la migration peut enfin aider à la protection et à la conservation de certaines espèces, comme nous le verrons à la fin de ce chapitre.

Comment étudier ces déplacements ?

Pour étudier avec précision les déplacements des animaux, il faudrait pouvoir les suivre au jour le jour. Mais l'homme est trop perturbateur, trop lent, trop lourd et trop malhabile pour parvenir à suivre la course des gnous du Serengeti, ou les vols en V des oies nordiques, même avec un ULM ! La curiosité étant malgré tout plus forte, dès l'Antiquité, de bien curieuses hypothèses virent le jour, telle celle d'Aristote qui pensait que les hirondelles, invisibles en hiver, passaient la mauvaise saison sans une plume dans des gorges montagneuses... Des siècles plus tard, Olaus Magnus, évêque d'Uppsala, avançait que ces mêmes hirondelles se regroupaient en fait en hiver au fond des étangs ! Ce n'est qu'au Moyen Âge que les premiers animaux sauvages furent marqués, afin de pouvoir les reconnaître au milieu de leurs congénères et d'étudier scientifiquement leur comportement. De petites étiquettes de

métal ou des fils de couleur accrochés à la patte des oiseaux apportèrent, au XVIII^e siècle, les premiers résultats tangibles grâce à des observations répétées au fil des saisons et dans des régions différentes. Ainsi, on découvrit que les hirondelles ne s'enfouissaient pas dans la boue en hiver mais partaient sous des latitudes plus agréables pour revenir dans leur zone d'origine au retour de la belle saison !

Un Suédois, Hans Mortensen, eut, en 1899, l'idée d'utiliser de petites bagues métalliques légères et discrètes portant des inscriptions codées pour surveiller les déplacements des oiseaux. Cela a permis la mise en place de véritables études scientifiques par les **ORNITHOLOGUES** du XX^e siècle. De nos jours, ce sont toujours des bagues qui permettent d'étudier la biologie des individus, la démographie des populations et bien sûr les comportements migratoires. Accrochés autour de la patte, ces petits tubes donnent un numéro d'identification et les coordonnées du centre (laboratoire, muséum ou association) qui organise le baguage. Ainsi, quand un individu bagué est observé vivant (à distance, grâce à de bonnes jumelles, ou temporairement capturé), cette observation, appelée « contrôle », doit être envoyée aux coordonnées indiquées sur la bague, avec le plus d'informations possible : date, heure, lieu précis, conditions météorologiques, taille du groupe, temps passé sur place, activités observées, etc. De même, si un animal marqué est trouvé mort, l'idéal est à nouveau de renvoyer sa bague avec le plus d'informations possible sur les conditions de cette découverte, appelée alors « reprise » (voir, en fin de chapitre, un exemple de fiche type).

Les oiseaux ne sont pas les seuls à être marqués par les scientifiques, mais ils

représentent la grande majorité des sujets d'étude, car ils sont les plus nombreux à effectuer des trajets très spectaculaires et très longs et sont relativement faciles à capturer. Certains mammifères, reptiles, amphibiens, insectes ou poissons, peuvent également être marqués, avec des étiquettes accrochées aux oreilles, à la queue, aux écailles ou à la carapace, à chaque fois en fonction de l'anatomie et du mode de vie des animaux.

La principale contrainte de l'usage des bagues et des étiquettes pour le suivi des migrations est la nécessité de marquer de très nombreux individus pour espérer que l'un d'eux soit « observé » sur sa route de migration. Les observateurs sont en effet de bonne volonté, mais ils sont trop peu nombreux et ne peuvent surveiller les populations vingt-quatre heures sur vingt-quatre, trois cent soixante-cinq jours par an, qui plus est dans des zones peu ou pas accessibles. En outre, les codes gravés sur les bagues sont parfois peu lisibles à distance, engendrant des erreurs de lecture.

Pour pallier ces inconvénients, d'autres techniques d'identification et de suivi ont été mises au point et adaptées aux animaux sauvages. Apportant de nouvelles informations, elles complètent le baguage, mais ne le remplacent pas, car elles sont souvent beaucoup plus coûteuses et présentent à leur tour quelques limites.

Les techniques récentes de suivi des animaux

Assurant une identification absolument infalsifiable, les « transpondeurs » sont des sortes de petites puces électroniques incluses dans un minuscule tube de verre et qui transmettent leur numéro d'identification à un détecteur placé à proximité. Insérés sous la peau des animaux, ils permettent une

identification incontestable de l'animal, sans risque de perte ou de blessure. En contrepartie, ils ne peuvent être lus que par un détecteur, qui doit être placé à moins de quelques mètres de l'animal, et dont ne disposent pas tous les observateurs amateurs répartis sur la planète. Ils sont également plus coûteux qu'une bague et ne peuvent pas être posés aussi facilement.

De ce fait, leur usage est restreint à certaines études très précises, et à des situations où l'on peut facilement approcher les animaux. Couplés à des pesées automatiques (des balances sont dissimulées dans le sol à proximité du détecteur), ces transpondeurs ont permis d'étudier en milieu naturel le comportement de dizaines de cigognes en Alsace et de manchots royaux dans les terres Australes et Antarctiques françaises, tout en suivant l'évolution de leur masse. Mais pour l'étude des déplacements, cette technique n'est pas vraiment adaptée.

L'une des premières techniques de localisation des animaux est la télémétrie par triangulation. L'animal est capturé et équipé (par un harnais, un collier ou un point de colle) d'un émetteur VHF (*Very High Frequency*), puis relâché. Deux ou trois équipes de scientifiques se dispersent alors sur le territoire présumé occupé par cet individu et tentent de détecter le signal émis par l'émetteur grâce à de grandes antennes tenues à la main ou fixées à des véhicules. Une fois capté par plusieurs équipes au même moment, le « bip » de l'émetteur (et, par conséquent, la position de l'animal) peut être repéré à l'intersection des directions d'où il venait pour chacun des observateurs. L'animal peut ainsi être localisé à une distance de quelques kilomètres au maximum, même s'il se trouve dans des zones inaccessibles pour l'homme. Récemment, une équipe du New Jersey aux États-Unis a montré que

des libellules (équipées d'un émetteur) de l'espèce anax de juin (*Anax junius*) migrent un peu à la manière des oiseaux, c'est-à-dire en faisant un voyage vers le sud en automne, avec une vitesse moyenne de 12 km/jour.

Nécessitant l'intervention simultanée d'au moins deux équipes de chercheurs, qui doivent se déplacer parfois sur de grandes distances pour détecter l'émetteur, cette méthode est donc surtout utilisée pour étudier les petits déplacements, délimiter le territoire de certaines espèces ou suivre précisément le comportement des animaux juste avant les départs en migration.

Avec l'essor extraordinaire de la micro-électronique et l'avènement des satellites, les moyens ont rapidement évolué, et l'armée américaine a mis au point une technique de localisation appelée *Global Positioning System* (GPS, voir le schéma p. 469). Les récepteurs GPS sont des sortes de balises qui reconnaissent les messages émis à heure fixe par les satellites compatibles. Plus le récepteur est éloigné du satellite, plus le message met du temps à l'atteindre : le retard avec lequel ce message est reçu est donc proportionnel à la distance qui sépare le satellite du récepteur. Mesurant ainsi la distance qui le sépare de plusieurs satellites, le récepteur calcule sa position à la surface de la Terre. Dans notre cas, les différentes localisations sont enregistrées dans une mémoire du récepteur, qu'il faut ensuite récupérer en recapturant l'animal, pour disposer du trajet complet de l'individu équipé. Mais ce problème a été résolu car on couple désormais des récepteurs GPS à des balises Argos qui possèdent, elles, la capacité de transmettre des données *via* les satellites (nous allons y venir). Le coût de fabrication et le poids du matériel restent toutefois des limitations non négligeables à l'usage à grande échelle de cette technique si attrayante.

Le suivi animalier par le système Argos

Les éléments du système Argos

Le système Argos fonctionne schématiquement à l'inverse du GPS : la balise Argos n'est pas réceptrice mais émettrice. Les messages qu'elle envoie, à une fréquence particulière, sont reconnus par des satellites équipés d'un matériel spécifique. En fonction de différents paramètres liés à l'effet Doppler (voir le schéma page 469), les calculateurs peuvent déterminer, en ayant reçu à peu de temps d'intervalle plusieurs messages de la même balise, à quel endroit du globe elle se trouve. Ces résultats sont transmis *via* des stations terrestres aux utilisateurs des balises, c'est-à-dire aux scientifiques qui les ont posées sur les animaux. La précision de la localisation finale (appelée « classe ») varie de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres en fonction des conditions d'émission et de réception des messages. Cette balise donne aussi d'autres informations très utiles comme l'altitude et l'on peut, après calcul, obtenir la vitesse de l'oiseau.

Deux inconvénients limitent encore l'usage du système Argos : le coût de fabrication et de localisation des balises, et la nécessité de disposer d'une source d'énergie (batterie) pour émettre les messages, ce qui alourdit le matériel et empêche encore son utilisation à long terme sur de petits animaux, surtout s'ils sont volants.

L'adaptation des balises aux animaux

Il est en effet primordial d'adapter les balises aux espèces étudiées. Le chercheur n'a aucun intérêt à poser du matériel gênant pour l'animal qu'il souhaite étudier, car il risquerait d'obtenir des résultats non représentatifs. Il est donc indispensable que

les balises perturbent le moins possible les individus équipés.

On pensera d'abord à poser des balises légères, qui ne dépassent si possible pas 3 % de la masse de l'animal (à l'heure actuelle, on peut poser des balises Argos GPS pesant 45 g pour une cigogne de 3,5 kg). Si l'animal doit en effet transporter un lourd fardeau, il sera pénalisé par rapport à ses congénères. La miniaturisation des composés électroniques a permis de construire des balises de 6 g (balise Argos sans GPS). Cela a permis de mettre en évidence la plus longue migration sans arrêt répertoriée jusqu'à présent : la barge rousse a parcouru 11 500 km en 9 jours, allant de l'Alaska jusqu'en Nouvelle-Zélande. Mais toute la difficulté réside dans le choix de la batterie qui permettra à la balise de fonctionner : plus elle sera légère, moins il y aura d'énergie disponible pour émettre les messages vers les satellites. Pour pallier partiellement ce problème, la programmation préalable des balises permet de ne les faire émettre que, par exemple, huit heures toutes les trente heures, en fonction de la fréquence désirée des localisations et de la durée totale du suivi. Ainsi, une balise destinée à une cigogne peut durer théoriquement plus de deux ans si elle est programmée pour ne pas émettre tous les jours, notamment en dehors des périodes de migration. La miniaturisation toujours plus efficace des composés électroniques a permis de résoudre ce problème d'autonomie d'énergie par l'utilisation de batteries

solaires, permettant théoriquement un suivi à vie de l'animal équipé.

Le volume et la couleur de la balise sont également importants. L'encombrement doit être minimal et le mode de fixation le moins gênant possible. La couleur doit se fondre avec celle de l'individu afin de ne pas le rendre plus visible pour les prédateurs, ou moins attrayant pour ses partenaires.

Si la balise doit minimiser le plus possible le surcoût énergétique de son transport, et donc être aérodynamique pour un animal aérien ou hydrodynamique pour un animal aquatique, elle doit également résister aux intempéries rencontrées et aux contraintes spécifiques de l'environnement des individus étudiés. Ainsi, pour suivre les déplacements des manchots, des éléphants de mer ou des tortues marines, les balises doivent-elles résister à la salinité et aux pressions rencontrées lors de plongées dépassant parfois 500 m !

Les balises Argos sont de ce fait fabriquées sur mesure et en petites quantités, ce qui les rend extrêmement chères (de l'ordre de 2 000 à 4 000 € pièce). Peu d'animaux peuvent alors être équipés au sein d'une même population, mais les résultats obtenus

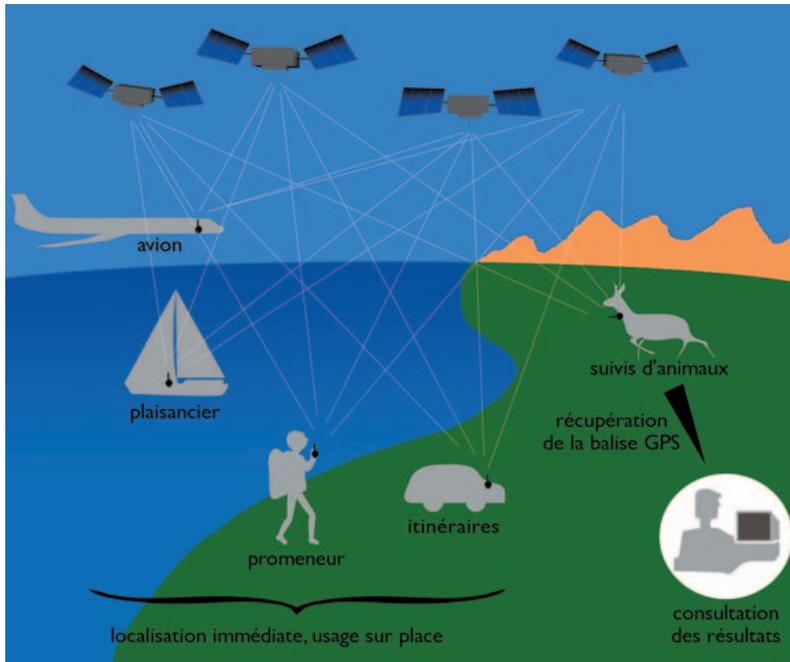
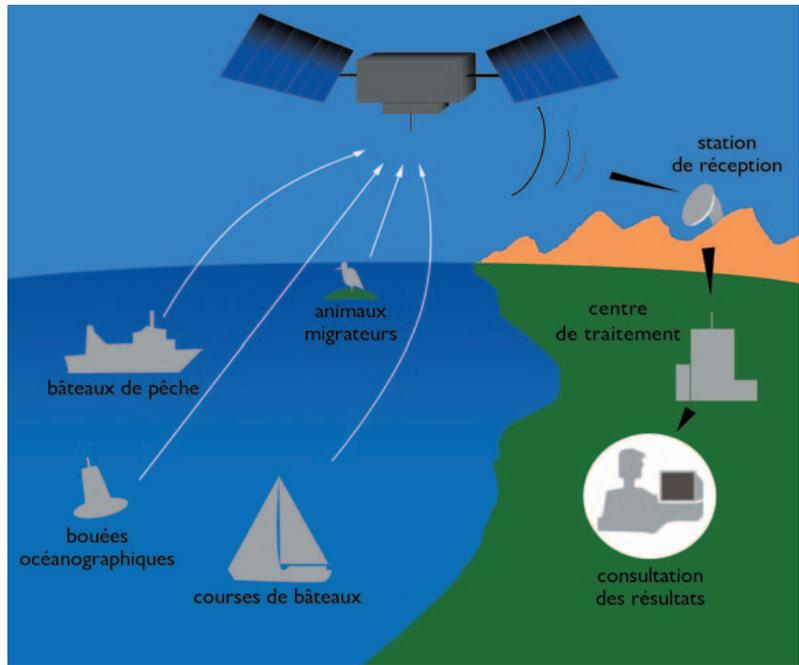


Une cigogne blanche équipée d'une balise Argos solaire GPS en Alsace.

Les éléments du système GPS

Les 24 satellites du système GPS en orbite autour de la Terre émettent régulièrement des messages parfaitement synchronisés et reconnus par des récepteurs spécialement équipés de systèmes compatibles. En fonction de leur éloignement par rapport aux satellites, les récepteurs reçoivent avec un léger décalage temporel les messages émis simultanément par ces derniers. Les récepteurs peuvent ainsi calculer les distances qui les séparent des différents satellites et, avec quatre distances, peuvent déterminer très précisément leur localisation dans l'espace.

Tous ces calculs sont réalisés par les récepteurs eux-mêmes. Si un utilisateur (plaisancier, pilote, conducteur, promeneur, etc.) dispose d'un récepteur, il dispose immédiatement de sa position. Dans le cadre de programmes scientifiques de suivi d'animaux, les chercheurs doivent récupérer les récepteurs, et donc souvent recapturer les animaux, pour disposer des informations de localisation enregistrées durant les semaines ou les jours précédents.



Les éléments du système Argos

Les balises Argos émettent régulièrement des messages, reconnus par des satellites spécialement équipés de systèmes de réception.

Les positions sont calculées à partir des mesures de l'effet Doppler. Ce phénomène physique est repérable par chacun d'entre nous lorsque nous entendons différemment le bruit d'une locomotive selon qu'elle se rapproche (son perçu aigu) ou qu'elle s'éloigne (son perçu grave), alors que le bruit réellement émis par la locomotive n'a pas du tout changé. En effet, la fréquence sonore reçue par un observateur fixe diffère de la fréquence sonore émise par un objet en mouvement à cause de la vitesse de déplacement de cet objet.

Pour la localisation Argos, le principe est le même avec la fréquence émise par la balise. Lorsque le satellite se « rapproche » puis s'éloigne de la balise, la fréquence des messages reçus change. Il faut que le satellite

reçoive plusieurs messages au cours d'un même passage au-dessus de la balise pour pouvoir comparer les fréquences reçues avec la fréquence théoriquement émise. Cette différence permet de calculer une série de positions possibles pour la source des messages à la surface de la Terre. Des équations permettent enfin de tester la vraisemblance de chacune des positions. Tous ces calculs sont réalisés par les satellites et par des centres de traitement de données répartis partout dans le monde. Les localisations sont ensuite simplement transmises aux utilisateurs.

pour chacun d'entre eux sont extrêmement précis.

Les résultats obtenus, exemples des cigognes blanches et des tortues luths

Une fois résolues toutes ces contraintes, les résultats obtenus pour l'étude du comportement migratoire des espèces peuvent être extraordinaires. Si les données reçues par le chercheur se traduisent par des tableaux *a priori* rébarbatifs de dates, heures, latitudes et longitudes, la succession de ces localisations, disponibles pratiquement en temps réel, permet de suivre le déplacement des animaux sur une carte, « comme si on y était » (exemple sous forme de « travaux pratiques » ci-contre).

C'est ainsi que les cigognes blanches peuvent être suivies pendant leur migration automnale vers l'Afrique, puis printanière vers l'Europe. Plusieurs équipes de chercheurs – français, suisses et allemands notamment – posent régulièrement des balises Argos sur des cigognes blanches. En fonction des études, les animaux choisis et les conditions de pose sont différents, mais dans tous les cas, les balises, qui doivent être blanches, légères et résister aux coups de bec et à la chaleur, sont fixées par un harnais de type « bretelles de sac à dos ».

Ainsi, en 1997, six jeunes cigognes alsaciennes, partant pour leur toute première migration vers le sud, ont été équipées de balises Argos par un laboratoire strasbourgeois du CNRS, le Centre d'écologie et physiologie énergétiques. Ces jeunes ont été choisis en fonction du comportement migratoire de leurs parents, afin de déterminer si le fait d'avoir des parents migrateurs était déterminant ou non pour migrer à son tour.

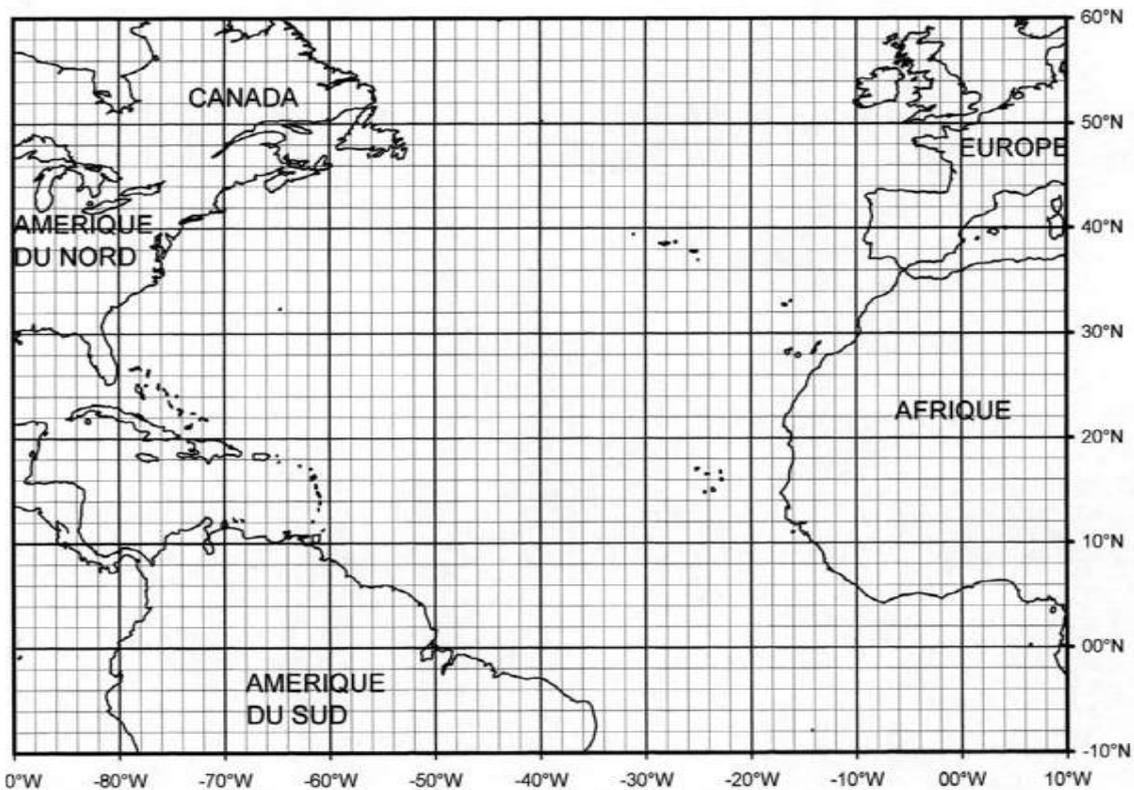
Grâce à cette technique, les déplacements

de ces six cigognes ont été suivis tous les deux à quatre jours, pour certaines jusqu'en Espagne (voir *Sur la Toile*). Mais, à la surprise des chercheurs, les cigognes nées de parents sédentaires sont, pour certaines, allées plus loin que celles nées de parents supposés migrateurs ! Bien entendu, ces quelques trajets ne permettent pas de généraliser ce comportement à toute l'espèce, mais ils ont pu mettre en lumière certaines particularités impossibles à révéler autrement que par un pistage aussi précis.

Dans une autre étude, une trentaine de cigognes adultes ont également été équipées ces dernières années de balises Argos par l'équipe du muséum de Fribourg, en Suisse. Grâce à une balise pourvue d'une batterie solaire, les chercheurs ont pu suivre un même individu plusieurs années de suite et donc comparer les trajets empruntés d'une année sur l'autre (voir les cartes p. 473). De plus, grâce au nombre de cigognes suivies, la connaissance des routes migratoires est désormais beaucoup plus précise, ce qui permet de confronter celles-ci aux zones dangereuses pour les oiseaux (lignes électriques non protégées par exemple).

Même si tous les animaux équipés n'atteignent pas leur destination ni ne « donnent de nouvelles », ces recherches apportent toujours plus d'informations sur les chemins migratoires, les zones de rassemblement et le comportement individuel d'animaux sélectionnés avec soin. L'équipement de ces animaux permet aussi de savoir si le voyage de migration se fait d'une seule traite ou pas. Chez la cigogne noire, il a pu être localisé chaque halte migratoire et le temps passé sur le site de chacune d'entre elles (voir la carte page 472). Une fois répertoriés, ces sites peuvent être soumis à des plans de conservation.

N° balise	Date	Heure (TU)	Localisation Latitude	1 (en degrés) Longitude	Localisation Latitude	2 (en degrés) Longitude
25532	29/06/2000	05:30:00	5,749 N	53,931 O	5,749 N	53,931 O
25532	13/07/2000	10:14:20	14,509 N	53,999 O	8,412 N	27,074 O
25532	30/07/2000	08:20:42	23,133 N	52,394 O	25,597 N	63,31 O
25532	16/08/2000	12:26:48	31,050 N	51,318 O	38,262 N	86,412 O
25532	05/09/2000	09:56:18	39,849 N	47,796 O	32,965 N	13,138 O
25532	15/10/2000	08:17:32	43,695 N	45,656 O	45,404 N	53,990 O
25532	05/11/2000	10:13:49	46,804 N	37,908 O	45,234 N	29,711 O
25532	20/11/2000	19:24:21	46,067 N	32,447 O	54,790 N	13,474 E
25532	08/12/2000	20:56:13	45,278 N	27,278 O	43,775 N	34,933 O
25532	30/12/2000	11:13:23	37,811 N	27,159 O	46,791 N	72,535 O



Cartographiez le trajet d'une tortue marine suivie par satellite

Sur le fond de carte vierge, reportez une à une les localisations obtenues en 2000 (tableau ci-dessus) pour une balise portée par une tortue luth migrant dans l'Atlantique. À chaque date, la société Collecte-Localisation-Satellite-Argos fournit deux points : à vous de déterminer quel est le bon, sachant que la tortue part de Guyane et effectue un trajet relativement linéaire, sans retourner à terre.

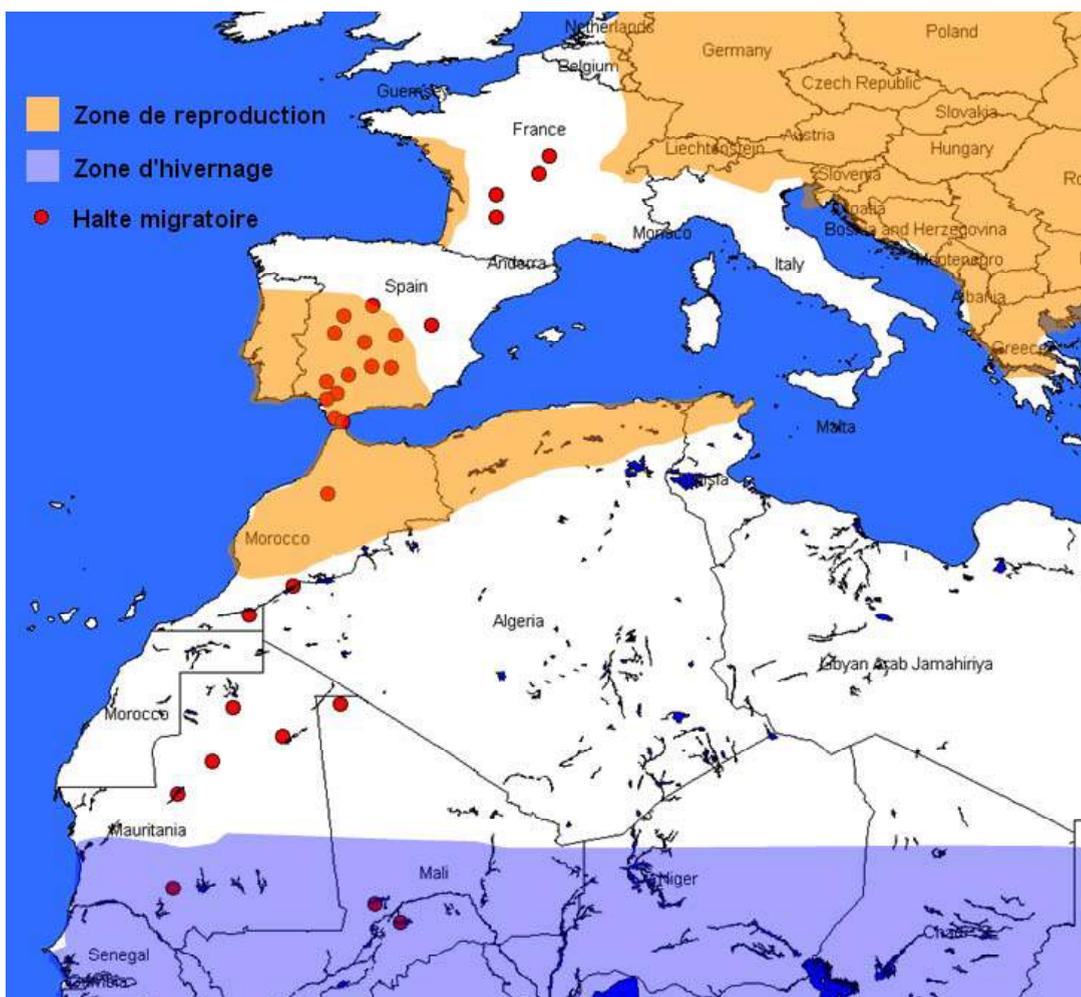
D'autres données sur <http://suivi-animal.u-strasbg.fr...>

... et la réponse à la fin du chapitre

Avec l'étude de la tortue luth, il s'agissait également d'obtenir les trajets précis d'animaux au cours des périodes où ils échappent à la vue des hommes. En effet, ces énormes reptiles de plus de 350 kg viennent pondre sur les plages de Guyane pendant quelques heures, sept à dix fois par an, puis disparaissent pour plusieurs mois, voire plusieurs années. Les observations de tortues en mer sont très rares, mais les filets de pêche sont nombreux à en capturer accidentellement, et à provoquer ainsi leur mort par noyade. Le but de l'étude de ces animaux marins était donc de déterminer avec

précision les zones qu'ils fréquentaient afin de pouvoir contribuer à leur sauvegarde.

Les balises et les harnais utilisés pour les tortues peuvent être beaucoup plus lourds que ceux utilisés pour les cigognes, mais ils doivent résister aux plongées profondes en mer et durer si possible plus d'une année. La contrainte supplémentaire du suivi d'un animal aquatique est que les messages émis par les balises Argos ne traversent pas l'eau. Celles-ci doivent donc se trouver en surface pour être détectées, ce qui, dans le cas des tortues, ne pose pas de problème majeur puisqu'elles remontent régulièrement pour



Haltes migratoires sur le trajet de migration de cigognes noires entre l'Europe et l'Afrique (*Ciconia ciconia*). (Remerciements à D. Chevallier)



Les déplacements de Max, une cigogne suisse suivie depuis août 1999 jusqu'à nos jours.

© Adrian Aebischer/ muséum de Fribourg.

Avec une balise à pile solaire, les chercheurs du muséum de Fribourg (Suisse) suivent depuis août 1999 les déplacements de Max, une cigogne née à Avenches (Suisse) en mai 1999, qui dévoile ainsi son comportement aux scientifiques.

Le 12 août 1999, Max a commencé son voyage vers le sud pour passer son premier hiver au nord du Maroc. En avril 2000, il est de nouveau passé par Gibraltar pour revenir en Espagne. Au sud de Madrid, il a trouvé une décharge présentant suffisamment de nourriture pour y passer tout l'été. En 2002, Max a trouvé au nord du lac de Constance près de Salem (Allemagne) une partenaire sur un nid perché sur un arbre et y a élevé deux jeunes. Max âgé de quatre ans s'est reproduit à nouveau avec succès au printemps 2003 à proximité de son nid de 2002. Alors que cette cigogne rejoignait le continent africain chaque hiver, elle arrête sa migration depuis deux ans à la péninsule Ibérique.

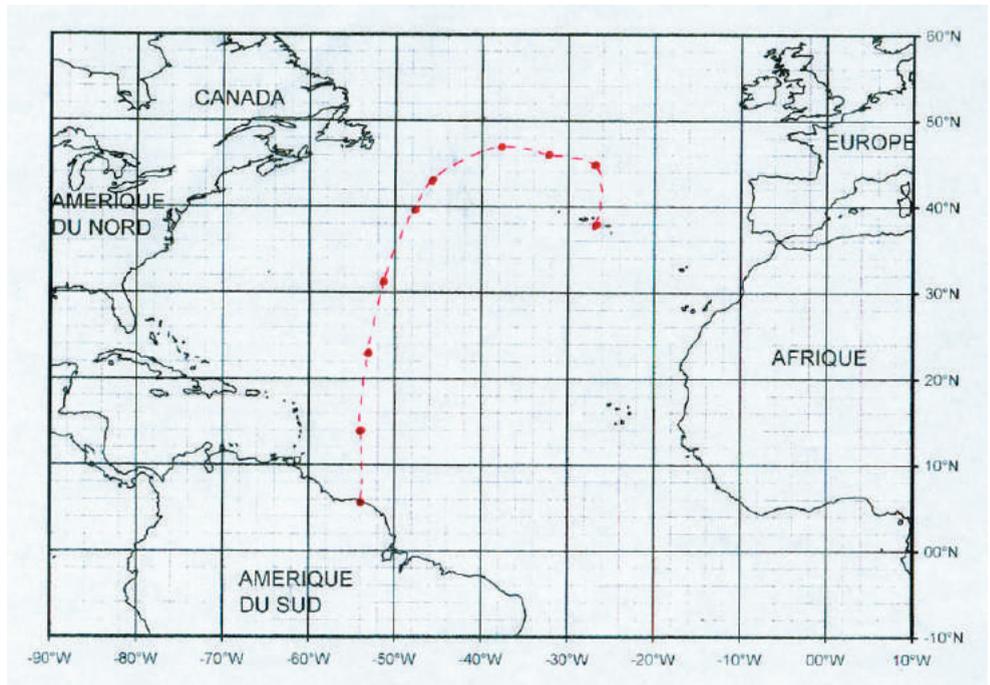


©Museum Fribourg (CH)

mise à jour le/ aktualisiert am: 17.3.2009



Ci-dessus, cartographie des trajets de tortues luths. Aquarelle d'Agnès Giraut, enseignante ayant participé à la session Graines de sciences 5. Et, ci-contre, la carte corrigée des « travaux pratiques » de la p. 471.



respirer. Grâce à un interrupteur sensible à l'immersion, les balises peuvent n'émettre qu'en surface, économisant leurs piles quand elles sont sous l'eau.

Jusqu'ici, les observations de tortues luths, venant de Guyane, vivantes ou mortes, sur les plages du monde entier, avaient révélé qu'elles effectuaient probablement de très longues migrations, de l'hémisphère Sud à l'hémisphère Nord, des Antilles aux côtes françaises. Les suivis par satellite réalisés par le CNRS ont mis en évidence que les tortues ne partent pas dans une direction unique mais que, selon les individus, le départ peut se faire vers le nord, le nord-ouest ou l'est. Ces suivis, longs de plusieurs mois, ont également révélé l'ampleur de ces trajets et les zones précisément traversées en fonction des moments de l'année (voir la carte ci-dessous).

Ces données, très récentes, encore en cours de traitement, seront transmises aux organismes de gestion des pêches sud-américaines. Grâce à ces nouveaux éléments, il faut espérer que des mesures seront prises pour protéger certaines zones sensibles à certains moments cruciaux du cycle annuel des tortues.

D'autres techniques ?

A côté des balises Argos, la technique de la géolocalisation par la lumière peut être appliquée à des animaux de petite taille. De petits appareils sont munis d'une horloge qui mesure la longueur du jour. Le fait de connaître l'heure à laquelle le Soleil se lève et se couche permet de déterminer la latitude et la longitude des lieux où se trouvent les animaux. Si la précision des données est beaucoup moins bonne, cela permet néanmoins de décrire des axes de migration encore inconnus pour différentes

espèces. L'exemple précédent sur le grand trajet migratoire du puffin fuligineux a été obtenu par cette technique.

Puisque l'on ne peut équiper qu'une petite fraction d'une population, on peut avoir recours à l'utilisation de radars positionnés sur des passages migratoires (en général des cols de montagne) qui permettent non pas de suivre un animal sur son parcours de migration ou de distinguer les espèces entre elles mais de faire un suivi temporel (date des passages de migration d'une année sur l'autre) d'un grand nombre d'individus appartenant à des populations différentes. On peut ainsi évaluer l'intensité des passages, la vitesse des animaux (pas seulement des oiseaux mais aussi des insectes) et l'altitude.

Aujourd'hui, connaître le comportement migratoire d'une espèce ne relève donc plus de la simple curiosité scientifique. La protection d'une espèce passe par une connaissance approfondie des différentes zones traversées et des comportements adoptés durant toutes les phases du cycle annuel. Couplées à des caméras, des capteurs de température, de pression, d'activité ou de rythme cardiaque, les balises permettent aujourd'hui l'étude de l'écologie, des stratégies énergétiques et de la *PHYSIOLOGIE* des animaux. Suivis à la trace dans un environnement souvent hostile pour l'homme, les animaux deviennent même parfois des auxiliaires scientifiques, accumulant dans leurs capteurs des millions d'informations sur les milieux qu'ils traversent. Sous peu, le matériel sera tellement miniaturisé qu'il sera utilisable sur de tout petits animaux, pendant de longues périodes. Les vols migratoires n'auront alors plus de secrets pour nous... même si la technique idéale pour suivre un animal en migration restera toujours de monter

sur son dos et de voyager avec lui, tel Nils Holgersson avec les oies sauvages !

Bibliographie

Le Merveilleux Voyage de Nils Holgersson à travers la Suède, Selma LAGERLÖF, Pocket, 2002.

Les Migrations des oiseaux, Jean DORST, Payot, 1956 et 1962.

Histoire naturelle des oiseaux, Georges-Louis LECLERC, comte de Buffon, Paris, Imprimerie nationale, 1780.

Dictionnaire du comportement animal, Université d'Oxford, sous la direction de David McFARLAND, Robert Laffont, 1990.

Les Oiseaux d'Europe, Christopher PERRINS et Michel CUISIN, Delachaux et Niestlé, 1997.

« Pourquoi les oiseaux migrent », Jacques BLONDEL et Bernard FROCHOT, *La Recherche* n°25, juillet-août 1972, p. 621-629.

« Planeur contre Planeur », *La Hulotte* 56, 1986, p. 4-41.

« Les migrations des cigognes », Peter BERTHOLD et Ulrich QUERNER, *Pour la Science* n°304, février 2003, p. 58-63.

Sur la Toile

Pour tout public, et spécialement pour les enseignants, tout un choix de suivis d'animaux sauvages par satellite, provenant de programmes actuels de recherches du CNRS sur <http://suivi-animal.u-strasbg.fr>

Pour en savoir plus sur la technologie et les applications du système Argos, visitez le site de CLS-Argos : <http://www.cls.fr>

Deux laboratoires français du CNRS, spécialisés dans l'étude et le suivi des animaux sauvages, le Centre d'écologie et

physiologie énergétiques à Strasbourg, sur <http://www.iphc.cnrs.fr/-DEPE-.html>, et le Centre d'études biologiques de Chizé, sur <http://www.cebc.cnrs.fr>, vous présentent leurs recherches.

Les suivis de cigognes blanches par le muséum de Fribourg sur son site, <http://www.fr.ch/mhn/cigognes/default.htm>.

De belles images, une bande sonore agréable, mais aussi des informations sur de nombreux oiseaux sur le site du film *Le peuple migrateur* : <http://www.bacfilms.com/site/peuple/>

Le Centre de recherches sur la biologie des populations d'oiseaux, du Muséum national d'histoire naturelle à Paris, qui centralise le baguage des oiseaux au niveau national, est accessible par <http://www2.mnhn.fr/crbpo/>

Si vous trouvez un oiseau (ou une chauve-souris) bagué, envoyez les informations suivantes au Centre de recherches sur la biologie des populations d'oiseaux du Muséum national d'histoire naturelle (55, rue Buffon, 75005 Paris, France) :

Libellé complet de la bague :

Date de la découverte :

Heure :

Lieu (*en cas de lieu-dit, indiquer la commune*) :

Département :

Espèce présumée :

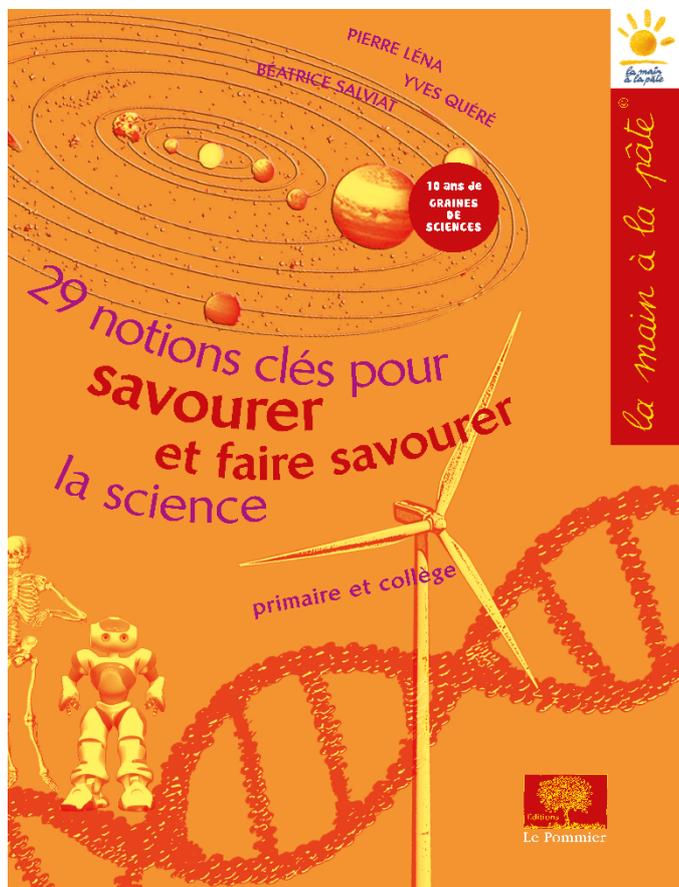
Conditions et circonstances de la découverte (*éventuellement, état de fraîcheur du cadavre*) :

Vos nom et adresse :

Observations complémentaires :

Si l'oiseau est mort, il est important de joindre la bague en métal dans ce courrier.

Cette ressource est issue de l'ouvrage *29 notions clés pour savourer et faire savourer la science*, paru aux Éditions Le Pommier.



Le meilleur des Graines de sciences

Vous êtes enseignant, parent, éducateur... et vous manquez parfois de « munitions » pour répondre aux questions des enfants...

Or, en classe, à la maison, au centre de loisirs, celles-ci fusent : « Le Soleil va-t-il s'éteindre ? » « Est-ce qu'il y a des tremblements de terre sous la mer ? » « Où va l'eau qui tombe du ciel ? » « Pourquoi le ciel est-il bleu le jour ? » « Qu'est-ce que l'effet de serre ? » « Pourquoi les animaux migrent-ils ? » « C'est quoi le clonage ? »

Cet ouvrage de référence va vous aider à répondre à ce bombardement de curiosité... en toute connaissance de cause !

Fruit d'une rencontre entre des scientifiques et des enseignants, désireux de partager savoir et expérience, il est précisément conçu pour vous permettre d'acquiescer ou d'approfondir une culture scientifique, si précieuse pour appréhender le monde qui nous entoure... et pour l'expliquer !

Du Soleil à la cellule, du cycle de l'eau aux énergies renouvelables, de l'origine de l'homme au nanomonde, les 29 notions réunies dans ce volume constituent le bagage indispensable pour pérégriner, avec les enfants, en sciences, et ce, de la maternelle au collège. On les retrouve d'ailleurs dans le Socle commun de connaissances et de compétences, qui définit ce que l'école puis le collège doivent, en France, s'imposer de transmettre à tous les enfants.



Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

 FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE