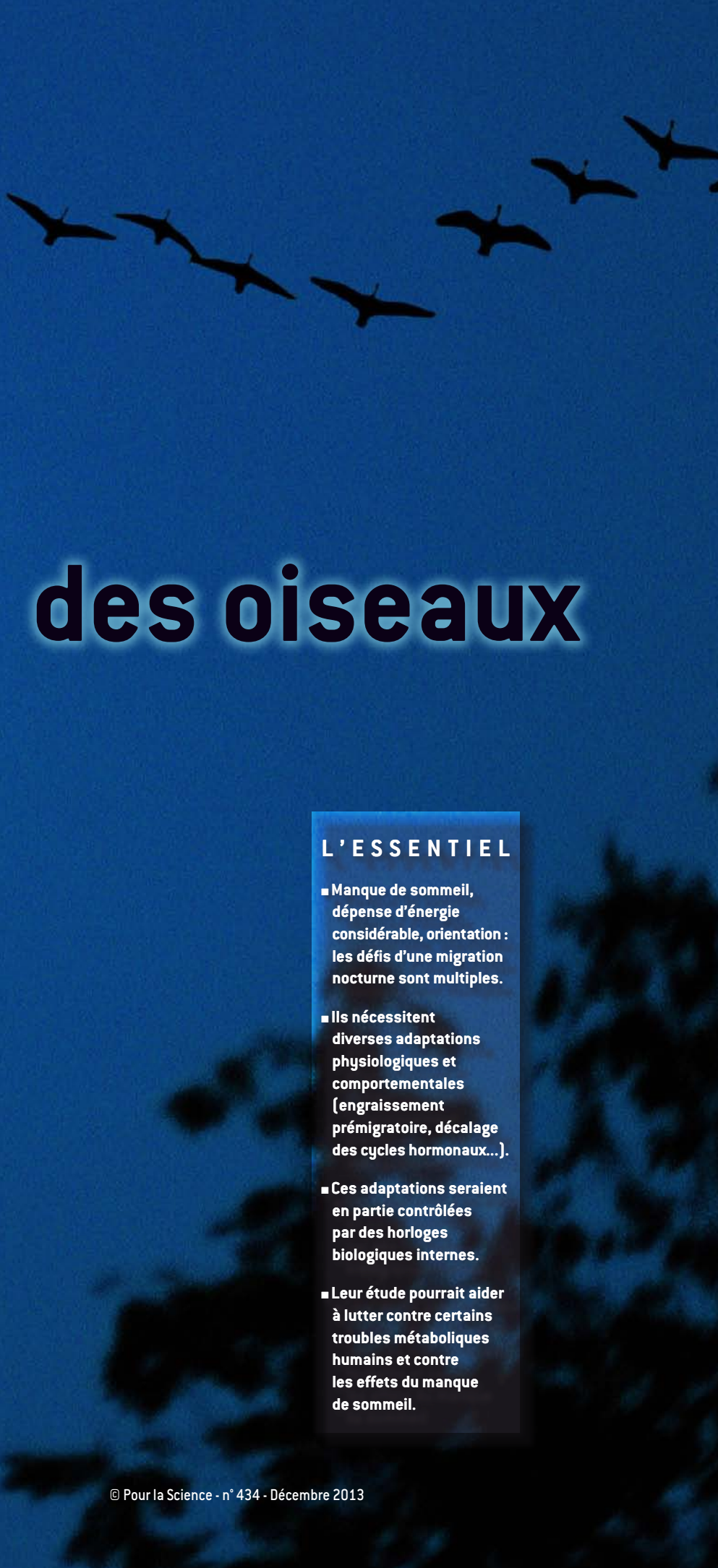




# des oiseaux

## L'ESSENTIEL

■ Manque de sommeil, dépense d'énergie considérable, orientation : les défis d'une migration nocturne sont multiples.

■ Ils nécessitent diverses adaptations physiologiques et comportementales (engraissement prémigratoire, décalage des cycles hormonaux...).

■ Ces adaptations seraient en partie contrôlées par des horloges biologiques internes.

■ Leur étude pourrait aider à lutter contre certains troubles métaboliques humains et contre les effets du manque de sommeil.

À l'évocation du mot migration, on pense souvent à une formation d'oiseaux en V. Cependant, dans de nombreux cas, les migrations d'oiseaux sont difficiles à observer. Ainsi, la plupart des passereaux (des oiseaux chanteurs et d'autres espèces apparentées) migrent de nuit. Quels sont les avantages de telles migrations nocturnes ? Comment les oiseaux en supportent-ils les contraintes physiologiques et de quelle façon s'orientent-ils ? Quand dorment-ils ? Des études récentes ont apporté quelques réponses, mettant notamment en évidence le rôle des horloges biologiques internes.

Les humains prennent des vols de nuit pour les divers avantages qu'ils offrent, tels des billets moins chers ou la possibilité de passer la journée sur le lieu de destination. Dans une étude publiée en 2011, Guy Beauchamp, de l'Université de Montréal, a analysé les migrations diurnes ou nocturnes de multiples oiseaux d'Amérique du Nord. Ses résultats suggèrent qu'un voyage de jour est bénéfique pour les espèces sociales, qui migrent en grands ensembles et restent groupées parce que les oiseaux voient leurs congénères. Les migrations nocturnes, quant à elles, permettraient d'éviter les prédateurs, de minimiser le stress thermique et les pertes d'eau par évaporation, et de réduire les dépenses énergétiques (en raison d'une plus faible turbulence de l'air). Ce serait particulièrement avantageux pour les petits oiseaux ; et, de fait, la plupart d'entre eux migrent de nuit. En outre, voler la nuit libère une partie de la journée pour la quête de nourriture.

## Des ombres devant la Lune

Comment sait-on que des oiseaux migrent la nuit ? On a d'abord remarqué que des groupes d'oiseaux changent d'endroit entre le soir et le lendemain matin. Depuis les années 1880, des ornithologues étudient les vols nocturnes en observant la Lune et en attendant que des oiseaux passent devant elle. On répertorie aussi les cris d'oiseaux en vol entendus la nuit : une liste a été publiée en 1899, mais cette technique n'a pris son essor que dans les années 1950, grâce à des avancées en matière d'enregistrement des sons. Lors du développement des radars, dans les années 1940, des « signaux fantômes » se sont révélés être des oiseaux migrants ; depuis, le radar est très utilisé pour l'étude des migrations. Nombre de

© John Churchill/Cortis

## LES AUTEURS



Paul BARTELL est maître de conférences en biologie aviaire à l'Université de Pennsylvanie, aux États-Unis.

Ashli MOORE est chercheuse à l'Université de Pennsylvanie.

Article publié avec l'aimable autorisation de la revue *American Scientist*.

ces méthodes sont encore en service ; elles ont juste été un peu perfectionnées.

L'activité migratoire nocturne est aussi étudiée en laboratoire, où diverses manifestations physiologiques et comportementales persistent. En période de migration, les oiseaux qui la pratiquent ont des comportements stéréotypés pendant la nuit, nommés *Zugunruhe* (littéralement, inquiétude migratoire). Ils battent par exemple rapidement des ailes, comme s'ils s'apprêtaient à s'envoler d'un perchoir. Le terme *Zugunruhe* a été inventé par des aviculteurs allemands ; ceux-ci avaient capturé des oiseaux sauvages et observé ce comportement, qui endommageait les plumes des oiseaux, à certaines époques de l'année. Le jour, les oiseaux captifs ont un comportement bien distinct consistant à sautiller ou à se nourrir.

En dehors des périodes migratoires, la plupart des passereaux migrant de nuit ne sont actifs que pendant la journée. Comme chez tous les animaux, une horloge interne, synchronisée sur le cycle quotidien d'alternance de la lumière et de l'obscurité, contrôle les comportements d'activité et de repos. Elle est dite circadienne, mot construit à partir des termes latins *circa* et *diem* (« environ un

jour »). Cette horloge est contrôlée par un ensemble de gènes (voir l'encadré page 58), dont l'expression peut être régulée par des stimulus externes tels que la lumière.

Durant la migration, les oiseaux deviennent actifs à la fois le jour et la nuit. Ce changement, qui survient avec les changements de saisons, entraîne une réorganisation physiologique et comportementale notable. L'horloge circadienne envoie-t-elle alors des signaux différents à l'organisme ? Ou le cerveau et le corps réagissent-ils différemment à ses signaux pendant la période migratoire ?

## Un comportement réglé comme une horloge

Les ressorts neurobiologiques du comportement migratoire nocturne sont mal connus, mais avec l'ornithologue allemand Eberhard Gwinner (1938-2004), de l'Institut Max Planck, en Allemagne, l'un de nous (P. Bartell) a montré qu'une horloge circadienne contrôle le comportement de *Zugunruhe*. Lorsque le cycle lumière-obscurité est remplacé par une faible lumière constante au cours du temps, les activités d'un oiseau se déroulent selon un cycle d'environ 24 heures. Cela indique que ces activités sont contrôlées par une horloge interne.

En dehors des périodes migratoires, il n'y a qu'un seul pic d'activité par cycle, contre deux pics pendant ces périodes. L'horloge circadienne qui contrôle l'activité migratoire nocturne est distincte de celle qui contrôle l'activité diurne, du moins chez les espèces étudiées. Leurs interactions, qui dépendent de la saison, déterminent si l'oiseau manifeste ou non un comportement de *Zugunruhe* et une activité migratoire.

Gwinner et Leonida Fusani, de l'Université de Ferrare, en Italie, ont montré que durant la période migratoire, l'activité nocturne dépend aussi des réserves d'énergie et de la nourriture disponible. Les oiseaux doivent parfois se reposer et se ravitailler sur des sites de halte migratoire. Lorsque des oiseaux maigres trouvent un endroit où la nourriture abonde, ils suspendent parfois leurs vols nocturnes pendant plusieurs jours et restent sur place jusqu'à ce qu'ils aient recouvré un poids suffisant. Ce n'est pas le cas quand la nourriture est rare sur le site de halte : les oiseaux se remettent alors rapidement en chemin. Ainsi, des stimulus externes influent sur les comportements contrôlés par les horloges biologiques.



**1. LE CYCLE ANNUEL D'UN OISEAU MIGRATEUR** (ici le bruant à gorge blanche, *Zonotrichia albicollis*) comprend deux périodes de migration, au printemps et à l'automne. À la fin de l'été, après la reproduction, les oiseaux changent de plumage et grossissent en se nourrissant d'aliments gras, afin de stocker l'énergie nécessaire à leur vol vers des climats plus chauds. À la fin de l'hiver, les oiseaux muent et engraisser de nouveau, avant de retourner sur leurs sites de reproduction.

Le comportement migratoire nocturne est saisonnier : il se manifeste à l'automne, puis au printemps. Les variations de la durée du jour, ou photopériode, constituent un signe environnemental fiable et précis du moment de l'année. Elles sont d'autant plus prononcées que l'on est loin de l'équateur. Nombre d'organismes de la zone tempérée y sont sensibles, y compris des plantes, des insectes et des vertébrés.

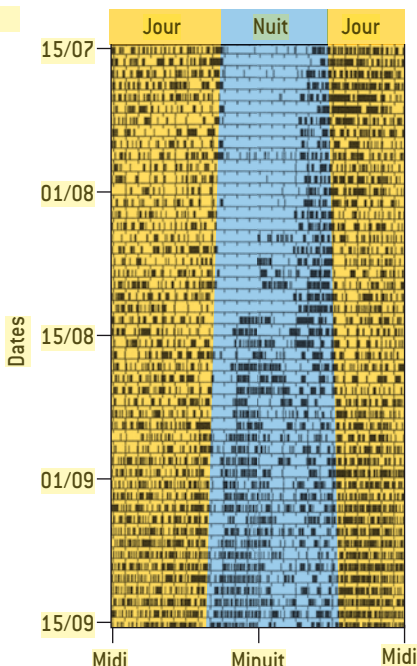
Au printemps, l'allongement des jours incite les oiseaux à passer des activités d'hivernage à la mue pré-migratoire, l'engraissement et la migration ; il entraîne aussi un développement des gonades, qui favorisera la reproduction. On a bien plus étudié le contrôle photopériodique de la reproduction que celui de la migration, mais certains principes sont les mêmes. La mesure de la photopériode s'effectue *via* l'horloge circadienne. Dans la nature, seuls les jours d'une longueur suffisante déclenchent des réactions telles que la migration ou la reproduction. En laboratoire, on peut provoquer ces réactions en éclairant un oiseau à différents moments de sa « nuit interne » – contrôlée par son horloge biologique –, afin de simuler la variation de son « matin ».

Les oiseaux perçoivent la photopériode grâce à des photorécepteurs situés dans le cerveau, où la lumière parvient à travers les plumes, la peau et le crâne. Même des oiseaux aveugles en sont capables. À la fin de l'hiver, quand les jours s'allongent, les photorécepteurs activent une cascade de modifications hormonales et physiologiques. Les mécanismes qui déclenchent la migration d'automne sont moins bien connus, mais on sait que le raccourcissement des jours est en cause.

Outre la photopériode, certains oiseaux utilisent un « calendrier interne » (une horloge circannuelle). Quand on les soumet à des jours artificiels de durée constante, ils présentent spontanément une activité de *Zugunruhe* deux fois par an. Gwinner a montré que des rythmes circannuels peuvent persister en captivité pendant 12 ans, soit la durée de vie maximale des passereaux captifs. Selon les espèces, ils sont plus ou moins réguliers et influent plus ou moins sur la régulation saisonnière de l'activité. En particulier, ils sont plus importants pour les oiseaux qui passent l'hiver près de l'équateur, où la longueur du jour ne varie pas assez pour déclencher la migration de printemps, ainsi que pour



**2. LE ZUGUNRUHE**, caractérisé notamment par des battements d'ailes doublés d'une grande agitation, est visible en infrarouge sur cette image prise dans une complète obscurité. Les oiseaux migrant la nuit adoptent ce comportement, quand ils sont captifs, aux périodes correspondant à leur migration.



**3. L'ACTIVITÉ D'UNE FAUVETTE DES JARDINS** (*Sylvia borin*) en captivité, indiquée par des barres noires, augmente quand on diminue artificiellement la durée du jour d'une façon caractéristique de la période précédant la migration d'automne. Cette augmentation concerne la période nocturne, tandis que l'activité diurne reste inchangée.

les migrateurs transéquatoriaux, confrontés à une inversion des changements de la photopériode : par exemple, des oiseaux migrant de l'hémisphère Nord vers l'hémisphère Sud à l'automne perçoivent d'abord un raccourcissement des jours, puis un allongement.

Dans la nature, le comportement migratoire résulte donc de facteurs multiples, tels que le rythme circannuel interne, les paramètres génétiques, les signes sociaux, l'état physique et les stimulus environnementaux (photopériode, température, disponibilité de nourriture).

Récemment, Heiko Schmaljohann, de l'Institut de recherche aviaire Vogelwarte Helgoland, en Allemagne, a montré que le traquet motteux (*Oenanthe oenanthe*), un petit migrateur nocturne, parcourt près de 15 000 kilomètres lors de ses migrations : il part d'Alaska et rejoint sa zone d'hivernage, en Afrique de l'Est, en passant par la Sibérie, l'Asie centrale et le désert d'Arabie. Comment les oiseaux se repèrent-ils sur une telle distance ? La mise au point de systèmes de localisation très légers permet de suivre leur périple, dont ils révèlent l'itinéraire. Ils indiquent aussi la distance parcourue, la vitesse et le nombre de haltes pour se reposer. Cette technique, encore récente, devrait être d'une grande aide pour étudier la navigation chez les oiseaux migrateurs : mécanismes sensoriels, mémoire spatio-temporelle, adaptations...

## S'orienter dans un entonnoir

Avant la mise au point de ces dispositifs, les recherches dans ce domaine se déroulaient en laboratoire, à l'aide d'enceintes nommées entonnoirs d'Emlen, du nom des deux chercheurs qui les ont développées en 1966. Un oiseau est placé dans un dispositif en forme d'entonnoir, dont le fond est constitué d'un tampon encreur et où un tamis fixé sur la partie supérieure empêche le volatile de s'échapper. Les empreintes laissées sur les parois de l'entonnoir indiquent dans quelle direction il tente de s'envoler. Les versions modernes du dispositif utilisent plutôt du papier recouvert d'une mince pellicule blanche (que les oiseaux enlèvent quand ils marchent dessus) ou des techniques électroniques d'enregistrement et d'analyse des données.

On constate ainsi qu'en période de migration, l'oiseau s'oriente dans la direction



Kira Delmore, Université Columbia

**4. DES SYSTÈMES DE GÉOLOCALISATION** très légers ont été développés pour étudier les itinéraires, les durées et les sites de halte des migrations. L'un d'eux est ici porté par une grive à dos olive (*Catharus ustulatus*).

appropriée : vers le Sud à l'automne et vers le Nord au printemps pour des oiseaux de l'hémisphère Nord. En faisant varier les paramètres de l'expérience (par exemple, en projetant la sphère céleste au plafond ou en créant des champs magnétiques), on détermine quels stimuli servent à l'orientation (voir la figure 6).

On a ainsi montré que les oiseaux de l'hémisphère Nord adoptent la direction à suivre (Nord ou Sud) en se fondant sur les variations saisonnières de la photopériode. Ils s'orientent ensuite grâce à la position des astres, à l'inclinaison du champ magnétique terrestre et à la polarisation de la lumière, qui diffère selon qu'on regarde vers le Soleil ou ailleurs. Cette polarisation leur permettrait de repérer la direction de l'astre quand il vient de disparaître, à la tombée du jour.

L'horloge circadienne pourrait aussi aider à la navigation, mais ce point est controversé. Certains biologistes et physiologistes pensent que le cryptochrome, une protéine de l'horloge circadienne, joue un rôle dans la sensibilité des oiseaux au champ magnétique. D'autres chercheurs ont supposé que l'horloge circadienne leur permet de percevoir le décalage horaire, un indicateur de leur position, mais ils n'ont pu le prouver. Des expériences supplémentaires sont nécessaires pour confirmer le rôle de l'horloge circadienne.

## Bien plus dur qu'un ultramarathon

La migration des oiseaux ressemble à un sport d'endurance extrême, mais elle dépasse de loin les performances des meilleurs athlètes humains. L'ultramarathon de Badwater, l'une des courses les plus difficiles au monde, part de la Vallée de la Mort, en Californie, et s'étend sur une distance de 217 kilomètres ; c'est bien peu au regard de la migration de la barge rousse (*Limosa lapponica*), qui effectue un voyage de presque 11 000 kilomètres en huit jours ! Notons tout de même que le vol nécessite moins d'énergie par unité de masse que la course. En revanche, il mobilise 70 à 90 pour cent de la capacité aérobie maximale des oiseaux (le volume maximal d'oxygène qu'ils peuvent consommer par unité de temps).

Contrairement aux athlètes humains, les oiseaux n'ont pas accès à des sources externes d'eau ou de nourriture pendant

un exercice intense et prolongé. L'homme en a besoin, car les mammifères puisent d'abord leur énergie dans des hydrates de carbone – les sucres –, dont les réserves s'épuisent vite. Quand elles sont terminées, l'organisme consomme les lipides – les graisses. Or nos mécanismes de combustion des lipides sont peu efficaces, ce qui limite notre endurance, même si nous avons des graisses en excès. À l'inverse, les oiseaux migrateurs utilisent de préférence les graisses comme source d'énergie, et chaque individu en stocke avant son départ.

## L'endurance est dans la graisse

Ainsi, les oiseaux chanteurs doublent leur masse corporelle pour se préparer à la migration, essentiellement en augmentant les réserves de graisses sous-cutanées. L'engraissement prémigratoire est contrôlé par une horloge interne circannuelle chez de nombreuses espèces. La variation de la photopériode et la disponibilité en nourriture participent aussi à son déclenchement. Chez certaines espèces, des modifications métaboliques entraînent l'accumulation de graisses même sans augmentation de la quantité de nourriture absorbée. Cependant, dans la plupart des cas, les oiseaux mangent bien plus au cours de cette période. Ce comportement est associé à un accroissement saisonnier de la concentration en neurotransmetteurs (des molécules responsables de la communication entre neurones) dans l'hypothalamus, une aire cérébrale profonde qui contrôle l'appétit et la satiété.

Chez les mammifères, la satiété est en grande partie déclenchée par une hormone nommée leptine : synthétisée par les cellules adipeuses constituant la graisse corporelle, elle est d'autant plus abondante que ces cellules sont nombreuses et indique donc l'importance des réserves de graisses. On a voulu savoir si cette hormone intervient dans les modifications saisonnières de la prise de nourriture, du stockage des graisses et de leur utilisation chez les oiseaux migrateurs. Christopher Guglielmo, de l'Université de l'Ontario de l'Ouest, a montré que les oiseaux y sont aussi sensibles : ils ont un récepteur fonctionnel pour cette hormone, et des injections de leptine ont des effets notables sur leur métabolisme. Pourtant, le gène qui code la leptine est absent de leur génome.



P. Bartell

**5. QUAND ILS S'APPRÊTENT À MIGRER**, les oiseaux accumulent d'importantes quantités de graisse sous-cutanée (en haut et en bas, les états respectifs précédant et suivant l'engraissement).