



Kira Dalmore, 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*).



P. Barrell

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].

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 physiciens 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).

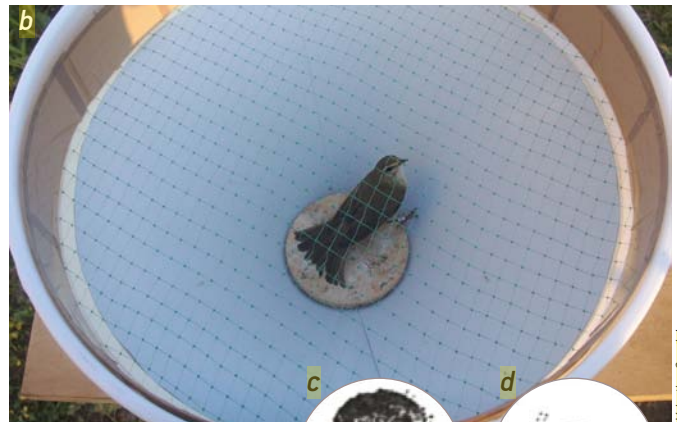
Contrairement aux athlètes humains, les oiseaux n'ont pas accès à des sources externes d'eau ou de nourriture pendant

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.

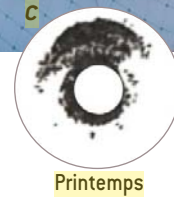
L'endurance est dans la graisse

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.

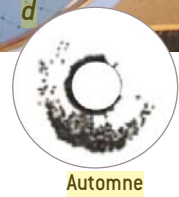
Chez les mammifères, la satiété est en grande partie déclenchée par une hormone nommée leptine : synthétisée par les cellules adipeuses constituant la graisse corporelle, elle est d'autant plus abondante que ces cellules sont nombreuses et indique donc l'importance des réserves de graisses. On a voulu 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.



6. LES ENTONNOIRS D'EMLÉN servent à déterminer la direction d'envol des oiseaux migrateurs, retenus captifs par un filet. Les empreintes des oiseaux, qui s'impriment sur le papier recouvrant la paroi de l'entonnoir (b), montrent que cette direction diffère entre la migration de printemps (c) et celle d'automne (d). Divers dispositifs permettent d'étudier les indices utilisés par les oiseaux pour s'orienter (a, un bobinage électrique qui crée un champ magnétique artificiel).



Printemps



Automne

Ils utilisent donc probablement un autre signal pour indiquer le niveau des réserves de graisse. L'un des candidats est l'adiponectine, une hormone également produite par les cellules adipeuses. Cette hormone favorise la mobilisation et la transformation du glucose et des acides gras.

Comme beaucoup d'autres facteurs métaboliques, l'adiponectine est produite selon un rythme circadien (voir la figure 7). Des chercheurs de notre laboratoire ont montré que pendant la migration des bruants à gorge blanche (*Zonotrichia albicollis*), le maximum de concentration en adiponectine survient pendant la nuit, tandis qu'il a lieu le jour aux autres périodes. En outre, le nombre de récepteurs de l'adiponectine augmente notablement durant la nuit dans le foie des oiseaux en migration. Ces deux changements favorisent la production d'énergie pour les vols nocturnes.

Le début de la période d'engraissement et sa durée sont liés à la distance de migration : plus cette dernière est longue, plus les oiseaux accumulent de graisses. Comment peuvent-ils alors décoller ? La taille de leurs organes digestifs diminue, compensant en partie le gain de poids associé aux graisses, et la masse musculaire augmente. Néanmoins, avant la migration, l'état physique d'un oiseau diffère de celui d'un athlète humain se préparant à une activité physique intense, pour laquelle un excès de poids n'est pas souhaitable. Chez un humain, l'augmentation de la masse corporelle, de la proportion de graisse et des concentrations de glucose et de lipides dans le sang

La carte et la boussole

Dans les années 1950, l'ornithologue néerlandais Albert Perdeck (1923-2009) a déplacé de plusieurs kilomètres des étourneaux lancés dans leur migration automnale. Ceux qui avaient déjà accompli la migration auparavant ont corrigé leur trajectoire et leur temps de vol, et sont arrivés à leurs quartiers d'hiver habituels. Ceux qui migraient pour la première fois ont continué leur route vers le Sud comme si de rien n'était.

Cette expérience montre, d'une part, que les oiseaux migrateurs ont une capacité déterminée génétiquement à maintenir une direction fixe et, d'autre part, qu'ils établissent une carte mentale de leur environnement au fil des voyages. En d'autres termes, ils utilisent une boussole pour suivre une direction, mais aussi une carte pour déterminer quelle direction suivre afin d'arriver à destination.

Si les mécanismes de boussole sont assez bien connus, ceux qui sous-tendent la carte mentale des oiseaux migrateurs restent à déterminer. Ils ne sont établis que chez le pigeon voyageur (une espèce non migratrice), qui se fonderait sur les odeurs lui parvenant pour construire une carte chimique. Ainsi, un pigeon qui n'est jamais sorti de son pigeonnier le retrouve même si on l'en éloigne de plusieurs dizaines de kilomètres. Pour les oiseaux migrateurs, certains chercheurs pensent qu'ils utilisent les étoiles pour déterminer non seulement la direction, mais aussi leur position ; les astres seraient à la fois la carte et la boussole. Toutefois, ils n'ont pas réussi à le prouver.

Francesco Bonadonna

Responsable de l'équipe Écologie comportementale, CEFE/CNRS (UMR 5175)

seraient même des marques d'obésité et de syndrome métabolique – expression désignant un ensemble de dysfonctionnements métaboliques associés à un risque élevé de diabète et de maladies cardiovasculaires. En d'autres termes, selon les critères humains, les oiseaux en période prémigratoire sont obèses, diabétiques et susceptibles d'être terrassés par une crise cardiaque à tout moment !

Un rendement dix fois supérieur à celui des mammifères

Toutefois, les oiseaux brûlent bien mieux les graisses que les mammifères et sont beaucoup plus résistants aux troubles métaboliques. Les graisses fournissent le plus d'énergie par unité de masse, ce qui en fait un carburant idéal. Cependant, comme elles sont insolubles, elles sont difficiles à transporter des sites de stockage jusqu'aux muscles. Les oiseaux y sont bien adaptés, ce qui leur permet d'utiliser la graisse avec un rendement dix fois supérieur à celui des mammifères, voire plus pendant la migration. Ainsi, la concentration en protéines assurant le transport des lipides augmente durant la migration.

Chez les oiseaux, des horloges circadiennes contrôlent la prise de nourriture et l'utilisation des réserves énergétiques. Ces horloges, qui se réorganisent pendant les migrations nocturnes, interagissent de façon complexe avec les voies métaboliques. Les liens entre le métabolisme des lipides et les