Le vol des oiseaux

Auteur :
BLONDEL Jacques, Directeur de recherche émérite au CNRS, CEFE, Montpellier

28-01-2023



Remarquable invention de l'évolution, la conquête de l'air a ouvert de fabuleuses perspectives chez de nombreux groupes animaux, tant invertébrés que vertébrés. Une multitude d'organismes de toutes formes et de toutes tailles, des minuscules hyménoptères pesant moins de 0,2 mg à d'énormes ptérosaures pesant plusieurs centaines de kg, ont animé ou animent le ciel depuis plus de 250 millions d'années. Par la diversité de leurs tailles et de leurs techniques de vol, les oiseaux sont passés maîtres dans le développement de vols aussi sophistiqués que le vol stationnaire des oiseaux-mouches ou les foudroyants piqués d'un faucon poursuivant sa proie. Sans compter ces performances extraordinaires que sont les grandes migrations sur plusieurs milliers de km sans arrêt possible que pratiquent certaines espèces, y compris pour franchir de hautes chaînes de montagne. Une belle série de fossiles des ancêtres des oiseaux nous a permis de comprendre l'essentiel de l'évolution anatomique et morphologique des oiseaux, notamment celle de ces surfaces portantes que sont les ailes.

1. Principes de base

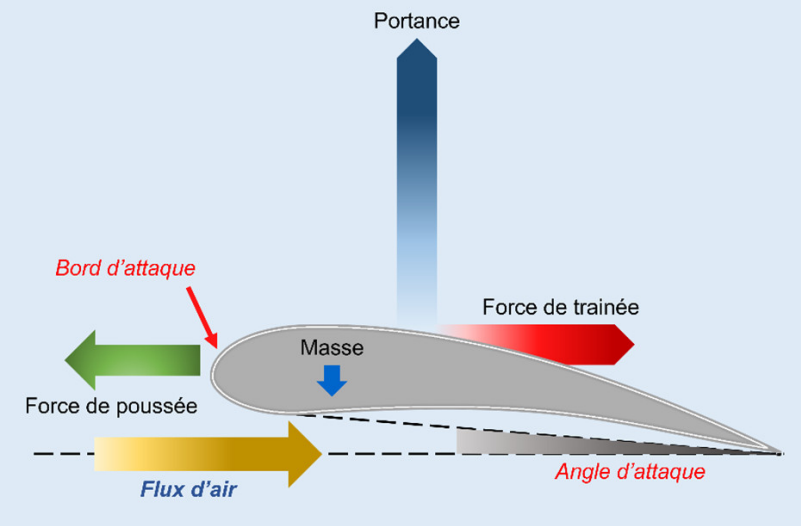


Figure 1. Forces impliquées dans le vol. [Source : Schéma de l'auteur]

La mécanique du vol des oiseaux relève de la dynamique des fluides, branche de la physique qui s'intéresse aux processus d'écoulement de l'air et leurs effets sur des éléments solides en suspension dans l'air (Lire Poussée d'Archimède et portance & Traînée subie par les corps en mouvement).

Le schéma ci-contre (Figure 1) [1] illustre la nature des forces impliquées lors du vol. Le battement de l'aile a deux fonctions :

la première -lorsque l'aile s'abaisse- consiste à **repousser l'air vers le bas** pour maintenir l'oiseau à niveau grâce au courant d'air porteur qui compense la force de gravité qui est d'autant plus élevée que la masse est plus grande ; c'est la **fonction de portance.**

la seconde fonction -la **force de propulsion** (aussi appelée force de poussée)- **propulse l'oiseau** vers l'avant en produisant un flux d'air qui glisse de part et d'autre de l'aile et du corps de l'oiseau, **générant** un **effet de portance** comme le font les ailes d'un avion.

Les deux fonctions des ailes d'oiseaux, portance et poussée, se complètent ce qui explique que leur forme et leur fonctionnement sont bien plus compliqués que ceux d'une aile d'avion qui n'assure que la fonction de portance, la propulsion étant assurée par les moteurs.

La **force de portance est générée par le flux d'air** qui s'écoule **sur et sous l'aile** tandis que la **force de propulsion est produite quand l'aile s'abaisse** lors de l'abattée, mais cette force est freinée -voire annulée- lorsque l'oiseau fait du vol sur place, par la **force de traînée** qui est due à la résistance de l'air et à son frottement sur le corps et l'aile de l'oiseau.

Lorsque l'oiseau est en **vol de croisière** à vitesse et altitude constantes, les **forces de gravité et de portance s'équilibrent.** Pour un **vol plané à vitesse constante**, la **force de propulsion** dirigée vers l'avant et la **trainée s'équilibrent** : **l'oiseau avance par inertie**. Si la portance est inférieure au poids, l'oiseau perd de l'altitude et si la force de propulsion est inférieure à la traînée, l'oiseau ralentit. En **vol battu**, chaque **battement induit** une **impulsion** dont la **composante vers le haut** est responsable de la **portance** qui permet à l'oiseau de monter ou de descendre suivant sa valeur, tandis que la **composante horizontale** vers l'avant, la **force de propulsion**, peut l'emporter sur la trainée et **permettre à l'oiseau d'accélérer**.

Quant à l'**angle d'attaque de l'aile**, c'est l'angle formé par la corde de son profil aérodynamique et le vecteur du flux d'air. L'oiseau s'abaisse ou s'élève en fonction de la valeur de cet angle, exactement comme le font les gouvernes de profondeur d'un avion. La vitesse du vol dépend du rapport entre la force de propulsion et la force de traînée mais elle dépend aussi de l'angle d'attaque de l'aile.

Une métrique d'importance majeure est l'**envergure relative** ou **allongement de l'aile** qu'on exprime de manière simple par le rapport de la longueur de l'aile à sa largeur (L/l). Ce rapport est élevé quand l'aile est longue et étroite comme celle d'un faucon et faible quand l'aile est courte et large comme celle d'un épervier. La **charge alaire**, enfin, est le rapport de la masse de l'oiseau à la surface de son aile.

2. De profondes modifications morphologiques et anatomiques

2.1. Transformation du squelette des théropodes à l'origine des oiseaux



Figure 2. Archæoptéryx. Ce théropode, ancêtre des oiseaux, ne volait pas vraiment mais se déplaçait sans doute en planant d'un arbre à l'autre. [Source : Aquarelle originale de Richard Bligny pour EEnv]

Le vol des vertébrés est l'une des activités les plus complexes que l'évolution ait réussi à mener à bien dans le règne animal car il nécessite de concilier puissance et légèreté, deux qualités qui ont entraîné de profondes modifications du squelette. Les oiseaux sont issus d'une branche particulière de dinosaures, les théropodes, qui étaient des animaux bipèdes dont beaucoup étaient déjà couverts de duvet et de plumes primitives (ou protoplumes) comme le révélèrent les fossiles du fameux Archæoptéryx qui portait déjà des plumes (Figure 2)

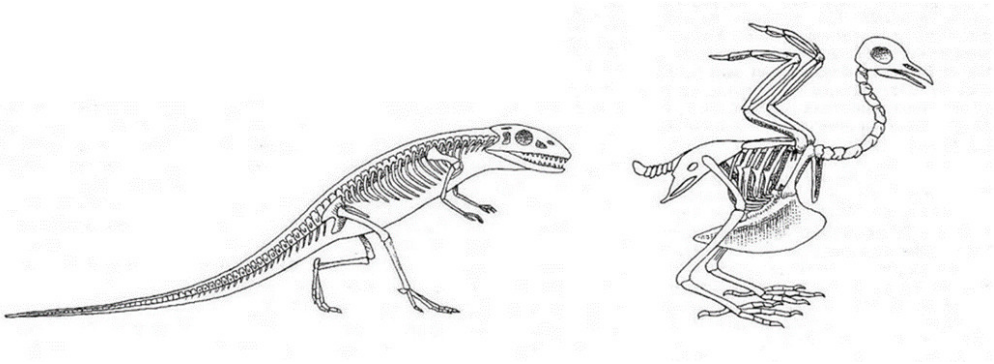


Figure 3. Transformation du squelette de théropode à celui d'un pigeon. Noter la compression antéro-postérieure du corps, la disparition de la queue et le positionnement du centre de gravité sous les ailes. [Source : Schéma de l'auteur]

Alors que le squelette des théropodes était allongé et pourvu d'une longue queue, il se contracte chez les oiseaux dans l'axe antéro-postérieur par une fusion des os du tronc en un « synsacrum » [2]. Cet os compact, rigide et léger correspond à la fusion des dernières vertèbres thoraciques, des vertèbres lombaires et sacrées et des premières vertèbres caudales (Figure 3).

2.2. Un organisme adapté au vol

L'appareil squeletto-musculaire entreprend une évolution spectaculaire avec un élargissement des ceintures pelvienne et pectorale, un allongement des membres antérieurs qui deviennent les ailes et l'apparition d'un puissant bréchet, sorte de quille sur laquelle s'insèrent les puissants muscles du vol. La forte compression antéro-postérieure du corps positionne le centre de gravité de l'oiseau juste sous les ailes. La queue se réduit en un court appendice, appelé « pygostyle » [3].

Les organes internes présentent aussi des adaptations clairement associées au vol :

Le **cœur**, **massif et puissant**, est bien plus développé que celui d'un mammifère de même taille (le cœur d'un moineau est trois

fois plus gros que celui d'une souris) ; il bat bien plus vite que celui des mammifères, jusqu'à 1000 pulsations par minute chez les oiseaux-mouches contre 500 chez la souris et 70 chez l'homme ;

Les **vaisseaux** sont **élargis** de manière à transporter la grande quantité d'oxygène nécessaire aux muscles du vol ;

Les **poumons** sont **ramifiés** en un système complexe de **sacs aériens** qui se répand partout dans le corps, y compris dans les os et les muscles pectoraux. La fonction de ces sacs est de faciliter les échanges d'oxygène et de gaz carbonique avec la circulation sanguine, notamment quand l'oiseau vole à haute altitude où l'oxygène se raréfie ; ils fonctionnent aussi comme système de réfrigération qu'exige le métabolisme élevé des oiseaux ;

Bien d'autres dispositifs anatomiques, morphologiques et physiologiques contribuent à diminuer le poids de l'oiseau : la **vessie disparaît**, les déchets urinaires étant évacués avec les fèces ;

Les **organes reproducteurs s'atrophient** et se résorbent en dehors de la saison de reproduction ;



Figure 4. Frégate superbe (Fregata magnificens) mâle. [Source photo Benjamint444, GFDL 1.2, via Wikimedia Commons]

Le **régime alimentaire** est aussi **énergétique** et **léger** que possible, excluant une nourriture aussi peu énergétique que les feuilles ou l'herbe ;

Si le **squelette** de l'oiseau est très **léger**, la **musculature** par contre est **massive** et puissante, totalisant jusqu'à 30% de la masse totale de l'oiseau chez certaines espèces. Les muscles pectoraux qui s'insèrent sur le bréchet se composent d'un puissant muscle pectoral qui fait descendre l'aile et assure la portance et la propulsion de l'oiseau lors de l'abattée, et d'un muscle bien moins puissant, le « supracoracoïde » [4], qui remonte l'aile.

C'est sans doute chez les frégates, oiseaux de mer proches des fous, que les adaptations au vol sont les plus remarquables. La frégate superbe (Figure 4) ne pèse que 2,5 kg dont la moitié pour le plumage et 100 g pour le squelette mais l'envergure atteint 2 m. Cet oiseau pélagique ne peut ni amerrir ni décoller d'une surface plane, ce qui l'oblige à nicher dans des buissons qu'il quitte en s'élançant dans le vide (Lire Focus S'envoler). Ayant sans doute la plus faible charge alaire de tous les oiseaux volants actuels d'envergure similaire, les frégates volent sans se poser pendant plusieurs mois, se nourrissant de poissons, calmars et jeunes tortues marines qu'elles attrapent au vol. Une de leurs spécialités est aussi de dérober les poissons capturés par d'autres oiseaux de mer.

Vidéo « Frégate superbe en vol »

2.3. Des plus grands aux plus petits

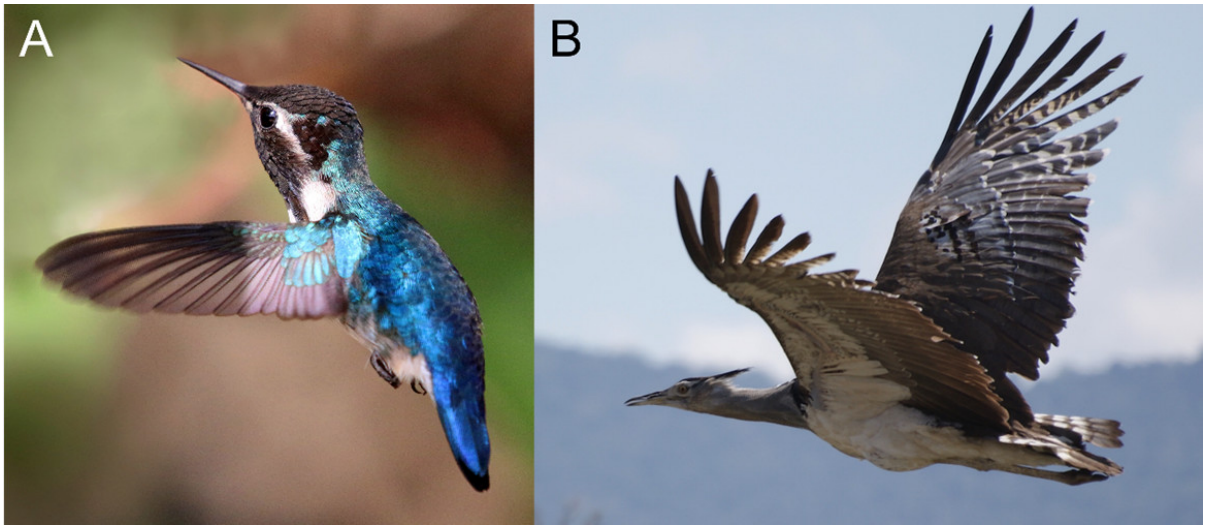


Figure 5. A, Colibri abeille (Mellisuga helenae) [Source photo © Charles J. Sharp, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons] ; B, Outarde kori (Ardeotis kori) [Source photo © Aeroceanaute, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons]

La maîtrise du vol provoqua un bouillonnement de biodiversité et une énorme diversité de tailles qui s'échelonnent de moins de 2 g pour le colibri-abeille (Figure 5A), le plus petit oiseau du monde, à près de 20 kg chez le plus grand oiseau volant actuel, l'outarde kori (Figure 5B). Certains des plus grands ptérosaures pesaient jusqu'à 400 kg ce qui suppose une puissance inimaginable chez les oiseaux d'aujourd'hui (Figure 6).



Figure 6. Reconstitution d'un Ptérosaure. Ce groupe d'animaux qui n'étaient pas des dinosaures comptaient probablement des centaines d'espèces, certaines toute petites tandis que les plus grosses atteignaient plusieurs centaines de kilos. [Source schéma © DinoTeam, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons]

3. Les différentes formes d'ailes

La forme des ailes d'oiseau telle qu'on peut la réduire à ces deux métriques que sont leur envergure relative (rapport L/l) et la charge alaire, est la résultante de nombreux compromis entre la masse de l'oiseau, son histoire évolutive, son régime alimentaire et les comportements d'acquisition de la nourriture :

Les petits passereaux forestiers insectivores comme les mésanges (Figure 7) et les pouillots ont intérêt à avoir un rapport L/l et une charge alaire aussi faibles que possible pour louvoyer aisément dans le sous-bois à la recherche des insectes dans le feuillage des arbres.



Figure 7. Mésange bleue (Cyanistes caeruleus). L'aile est construite pour permettre à l'oiseau de circuler aisément dans et sous le feuillage des arbres. [Source photo © J. Blondel.]

L'aile de l'épervier (Figure 8A) qui louvoie entre les arbres en poursuivant un oiseau se caractérise par une grande surface portante et une faible envergure relative qui permettent une bonne manœuvrabilité. En revanche, la faible surface portante d'une aile dont l'envergure relative est élevée caractérise le vol rapide et direct d'un faucon (Figure 8B) qui fond en ligne droite sur sa proie.

Les oiseaux comme les Alcidés, pingouins ou guillemots qui « volent » dans les deux fluides, l'air et l'eau, ont des ailes relativement courtes avec un faible rapport L/l, ce qui les favorise quand ils « volent » sous l'eau, mais les handicapent quand ils sont dans l'air.

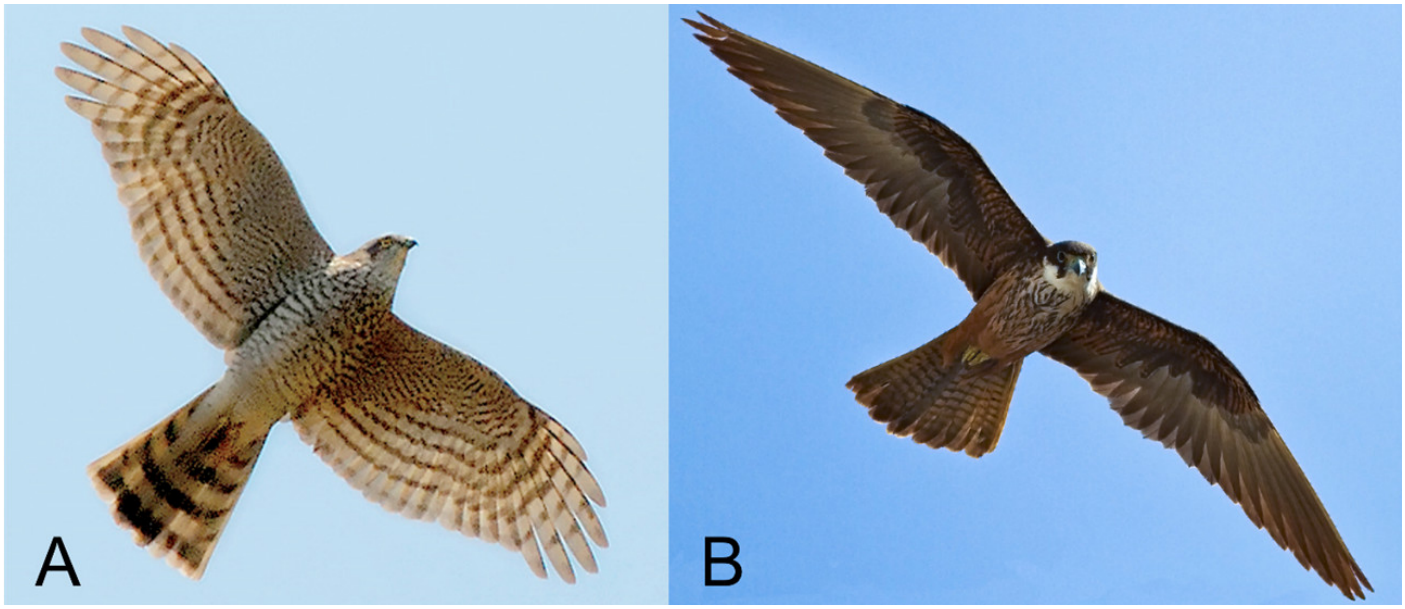


Figure 8. La surface portante de l'aile de l'épervier (A) est plus grande que celle du faucon (B). [Source : Epervier (Accipiter nisus) ; photo © Christian Knoch, CC BY-SA 2.0 DE, via Wikimedia Commons] ; Faucon d'éléonore (Falco eleonorae) ; Photo © Jürgen Dietrich, CC BY 3.0 DE, via Wikimedia Commons].

Quelle que soit sa forme, la longueur de l'aile trouve ses limites quand, pour des raisons d'aérodynamisme, l'envergure ne peut dépasser un certain seuil au-delà duquel l'aile deviendrait structurellement fragile et le vol difficile à contrôler. C'est pourquoi les grands planeurs comme les vautours (Figure 9), les grues ou les cigognes ont des ailes relativement courtes par rapport à leur masse, mais leurs rémiges, très émarginées et écartées comme les doigts d'une main ouverte, réduisent la force de traînée et améliorent la portance (Lire Focus Les plumes).

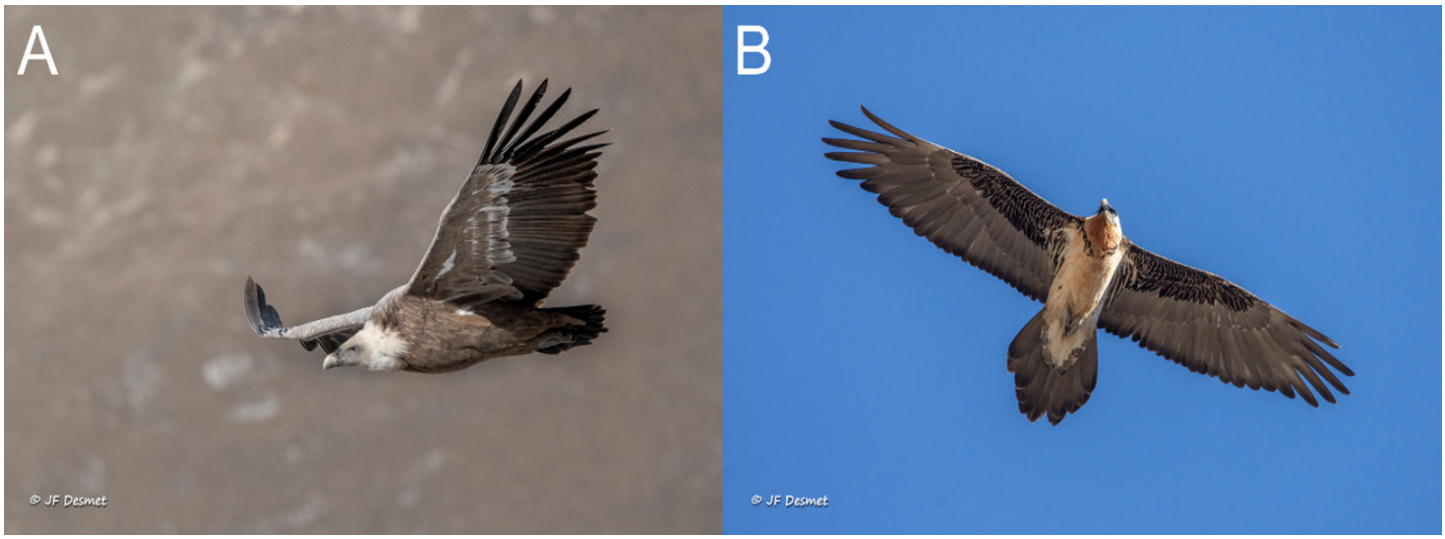


Figure 9. A, Vautour fauve (Gyps fulvus). Lorsque l'oiseau plane, l'écartement des rémiges primaires a pour fonction de stabiliser le vol à petite vitesse. ; B, Gypaète barbu (Gypaetus barbatus). Ce grand vautour peut planer très longtemps en scrutant le sol à la recherche de cadavres. [Source : photos © Jean-François Desmet/Droits réservés, reproduit avec la permission de l'auteur].

4. Les différents types de vol

En toute première approximation, car les variantes sont innombrables, on reconnaît deux grands types de vol, le vol **plané** et le vol **battu**, ou **ramé**.

4.1. Le vol plané

Le premier est un vol passif, au moins en apparence, qui met en œuvre des formes d'énergie extérieures à l'animal, à savoir les

forces générées par les courants d'air et ascendances thermiques produits par le contexte topographique des paysages, falaises, montagnes, bras de mer, espaces côtiers. Le vol plané est caractéristique des grands planeurs comme les cigognes, les grues, les vautours et les aigles et c'est parce qu'ils ont besoin des ascendances thermiques provoquées par la topographie, que les voies de migration de ces grands oiseaux sont toujours situées dans des régions où les traversées marines sont les plus courtes et les conditions topographiques favorables aux ascendances thermiques (Gibraltar, détroit du Bosphore ou côtes de Palestine par exemple). Deux raisons expliquent que seules les grandes espèces pratiquent le vol plané :

l'incapacité des grands oiseaux à emmagasiner les réserves énergétiques nécessaires à un vol battu soutenu ;

l'aérodynamique du vol : les grandes espèces ont un bien meilleur rapport portance/traînée que les petites, d'où un meilleur rapport de la distance parcourue horizontalement à la distance perdue verticalement, ce qu'on appelle la « **finesse** ». La structure et les propriétés des ailes des grands planeurs leur permettent de planer à des vitesses qui seraient bien trop lentes pour éviter le décrochage si leurs ailes étaient aussi rigides que celles d'un avion.



Figure 10. Albatros hurleur (Diomedea exulans) en cours de décollage. [Source : photo © Ryan Reisinger, avec la permission de l'auteur]

Mais tous les grands planeurs pratiquent aussi le vol battu, quand ce ne serait que pour décoller et prendre de l'altitude avant de planer. Le décollage des grands oiseaux est d'ailleurs laborieux parce qu'il nécessite une grande force instantanée (Lire Focus S'envoler). C'est le cas des grands oiseaux qui passent la plus grande partie de leur vie en planant comme les albatros et qui doivent courir pour prendre la vitesse nécessaire à leur envol (Figure 10). Les grands oiseaux d'eau comme les cygnes, les oies ou les flamants dont l'envergure relative et la charge alaire sont élevées doivent raser l'eau et s'aider de leurs pattes comme de rames pour obtenir la vitesse nécessaire à l'envol qui n'a lieu qu'au bout d'une longue course.

4.2. Le vol battu

Le vol battu fut une immense réussite évolutive que trois groupes seulement réussirent à maîtriser parfaitement, les ptérosaures, les chauves-souris et les oiseaux.

Un vol battu soutenu nécessite une grande **force de propulsion**, donc beaucoup d'énergie pour compenser la **force de traînée** due à la résistance de l'air, maintenir l'oiseau sur sa trajectoire et le propulser. La **propulsion** est assurée par le brassage de l'air que réalise l'aile lors de l'**abattée**. Quant au mouvement ascensionnel de l'aile qui remonte, il ne génère pas de propulsion mais une partie importante de la **force de portance** grâce à un mouvement de torsion de l'aile autour du poignet.

Vidéo *« Comment volent les oiseaux»*

La **fréquence des battements d'ailes** détermine en grande partie la vitesse de l'oiseau, laquelle dépend beaucoup de l'envergure relative de l'aile, à savoir sa forme et sa taille. La fréquence varie de moins de deux battements par seconde chez la grande aigrette à plus de 80 chez beaucoup d'oiseaux-mouches et jusqu'à 200 chez le colibri-abeille (voir Figure 5A), avec une moyenne de 25-27 chez la plupart des petits passereaux.

Un vol battu très particulier est le vol stationnaire pratiqué par de nombreux oiseaux pour s'alimenter. Le spectacle du faucon

crécerelle faisant le « Saint-Esprit » au-dessus d'un champ avant de fondre sur sa proie est une image familière. En réalité ce vol est techniquement assez différent d'un autre vol stationnaire, celui que pratiquent les oiseaux-mouches qui sont passés maîtres en la matière. Ce sont les seuls oiseaux qui peuvent voler « à reculons » comme un hélicoptère. Très coûteux en énergie ce vol ne peut être pratiqué que par des très petits oiseaux quand ils recherchent leur nourriture sur un substrat sur lequel ils ne peuvent se poser comme une fleur.

Vidéo *« Vol du « Saint-Esprit » (faucon crécerelle) »*

Vidéo *« Vol d'un oiseau mouche »*

4.3. L'atterrissage



Figure 11. Atterrissage d'un héron cendré (Ardea cinerea). La décélération de l'oiseau est maximale quand il met en œuvre tous ses « aérofreins » : rémiges étalées, alula ouverte (voir ref. [5]) et queue déployée. [Source : photo © Jean-François Desmet/Droits réservés, reproduit avec la permission de l'auteur].

Si l'atterrissage ne pose pas de problèmes particuliers pour les petits oiseaux, il peut être délicat pour les grandes espèces. Avant d'atterrir l'oiseau doit réduire sa vitesse au risque de voler sous la vitesse de décrochage, ce qui peut être problématique pour les grandes espèces dont la charge alaire les empêche de voler lentement. Ils sont donc obligés, quand ils arrivent en fin de course, de courir comme un avion roulant sur la piste avant de s'arrêter. De même qu'un avion déploie ses aérofreins à l'approche de la piste d'atterrissage pour augmenter sa **force de traînée**, l'oiseau relève ses ailes vers l'arrière, ce qui augmente leur portance et permet de ralentir jusqu'à la vitesse de décrochage (Figure 11) [5]. Celui-ci est évité par le repliement par torsion autour du poignet de la partie distale de l'aile, ce qui diminue son angle d'attaque.

Se poser sur l'eau se fait selon les mêmes principes mais l'opération est plus facile car l'oiseau peut arriver bien plus vite sans risque de dommages sur son point de chute, puis glisser plus ou moins longuement en relevant ses pattes comme des skis nautiques. L'arrivée sur l'eau des très grands oiseaux comme les cygnes ou les pélicans est particulièrement gracieuse et spectaculaire.

Vidéo « Atterrissage » d'un cygne sur le lac d'Annecy

5. La grande aventure des migrateurs



Figure 12. Vol de grues en migration [Source : photo © Jacques Blondel]

L'acquisition du vol a ouvert de fabuleuses perspectives pour conquérir toutes les régions habitables de la planète et profiter des ressources que la saisonnalité rend abondantes mais intermittentes. Les grandes migrations intercontinentales concernent des milliards d'oiseaux qui basculent selon les saisons entre l'Hémisphère Nord et l'Hémisphère Sud. Elles soulèvent de nombreux défis sur les mécanismes d'orientation, les altitudes de vol, les problèmes d'énergie nécessaire pour parcourir des milliers de kilomètres, parfois sans escale quand il s'agit de franchir des étendues marines ou de vastes déserts, et bien d'autres encore (Figure 12). Certains oiseaux -comme les martinets (Lire Focus le Martinet noir)- sont morphologiquement et physiologiquement adaptés pour passer la plus grande partie de leur vie en volant, ne se posant que pour nicher.

Le trajet migratoire sans escale le plus long enregistré à ce jour est celui d'une jeune barge rousse (Figure 13) -équipée d'une balise GPS- en octobre 2022. Elle réalisa en 11 jours et 1 heure un vol battu de 13 560 kilomètres sans escale depuis l'Alaska pour rejoindre sa zone d'hivernage à Ansons Bay au nord-est de la Tasmanie. [6]



Figure 13. Barge rousse (Limosa lapponica) en vol. [Source : photo © Kirkamon, CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons]

La performance consistant pour les petits oiseaux comme les passereaux à s'engager en mer pour des traversées sans escale de plusieurs milliers de kilomètres nécessite d'importantes **réserves de carburant** que l'oiseau **stocke dans ses tissus sous forme de graisse**. Les petits oiseaux peuvent porter en eux une masse de graisse proportionnellement bien plus élevée que les grandes espèces, jusqu'à 100% de leur propre poids initial. Cette graisse provient du métabolisme de baies riches en sucres l'oiseau ingurgite en masse juste avant la migration (on parle de boulimie prémigratoire). Connaissant la quantité d'énergie requise par un oiseau pour parcourir une distance donnée -environ 3 g de graisse par 1000 km- on peut prédire les distances qu'il peut parcourir quand on connaît la charge de graisse qu'il a accumulée. On a ainsi calculé qu'un phragmite des joncs ayant accumulé 15 g de

graisse avant de partir en migration -ce qui le fait doubler de poids- peut voler 85 heures de suite, ce qui lui permet de rejoindre sans s'arrêter l'Afrique subsaharienne à partir des côtes d'Europe s'il vole à 50 km/h.

La majeure partie des altitudes de vol se situent dans les 200 premiers mètres au-dessus du sol ou de la mer mais une proportion importante des migrateurs vole entre 1400 m et 2000 m avec une queue de distribution s'élevant jusqu'à 7000 m par vents arrière favorables. Les plus hautes chaînes de montagne comme l'Himalaya sont régulièrement survolées par des oies, et le record d'altitude fut battu par un vautour de Rüppel qui se fit aspirer par un avion de ligne à 11000 m d'altitude. **Voler à haute altitude implique des performances physiologiques** qu'aucun mammifère de la taille des oiseaux migrateurs ne pourrait réaliser mais présente plusieurs avantages : la pression atmosphérique baisse avec l'altitude, ce qui augmente le rapport portance/force de traînée. Un autre avantage du vol à haute altitude est d'éviter la plupart des sautes météorologiques, bourrasques et variations brutales de la vitesse du vent comme celles du mistral qui peut souffler à plus de 100 km/h mais ne dépasse pas 3000 m en altitude. Voler à de telles altitudes ne soulève aucune difficulté d'ordre physiologique car le système respiratoire très particulier des oiseaux leur permet de voler à des températures inférieures à -15°C.

6. Pourquoi ne plus voler ?

6.1. Les manchots : des oiseaux qui « volent » sous l'eau



Figure 14. Les ailes du manchot Adélie (Pygoscelis adeliae) sont transformées en puissantes « nageoires ». [Source : photo © David Grémillet, reproduit avec la permission de l'auteur]

Bien que les avantages du vol ne soient plus à démontrer, certains groupes l'ont abandonné secondairement. C'est le cas des manchots chez qui les pressions de sélection pour le déplacement en milieu marin ont été plus fortes que celles qui favorisent le déplacement en l'air, ce qui fit disparaître le « vol aérien » au profit d'un « vol aquatique » (Figure 14).

Le manchot royal, par exemple, « vole » sous l'eau à une vitesse de 10-15 km/h et, comme tous les manchots, peut descendre à de grandes profondeurs, jusqu'à 500 m.

Vidéo *« Les manchots papous, véritables fusées des mer »*

6.2. Les géants terrestres

Même chez les oiseaux exclusivement terrestres, la perte du vol peut être adaptative quand, pour des raisons physiques, il devient impossible, notamment lors de la phase de décollage. C'est ainsi que l'oiseau volant le plus lourd, l'outarde kori (voir Figure 5B), qui pèse une vingtaine de kilos, est au maximum de la masse possible pour voler. Si l'avantage sélectif à **l'augmentation de masse corporelle** se poursuit, c'est au prix d'une **perte définitive de l'aptitude au vol**, comme c'est le cas des grands ratites, émeus, casoars et autruches qui pèsent jusqu'à 150 kg. On a du mal à imaginer ce que devaient être la puissance et la masse musculaire des ptérosaures (voir Figure 6), ces géants qui ont régné pendant toute la durée du Mésozoïque (250 à 65 millions d'années) et qui arrivaient à décoller et à voler avec une masse de plus de 400 kg !

6.3. Les oiseaux en milieu insulaire

Il existe enfin un cas très particulier de perte de l'aptitude à voler, c'est celui de beaucoup d'oiseaux en milieu insulaire. Le revers de la médaille de la dispersion active que permet le vol est qu'elle peut devenir **dangereuse quand on habite un territoire exigu**, qu'on s'aventure trop loin de son habitat d'origine ou qu'on risque de se faire emporter par une tempête. En témoignent les multiples cas de réduction, voire de disparition de l'aptitude à voler observés à maintes reprises dans l'arbre de la vie, tant chez les oiseaux que chez les insectes, ainsi d'ailleurs que chez les propagules de nombreuses plantes.

Le cas des faunes et flores des îles perdues dans l'immensité des océans est particulièrement intéressant : alors que les oiseaux de ces îles reculées ont dû traverser des étendues océaniques considérables de plusieurs milliers de kilomètres pour atteindre par hasard l'île sur laquelle ils prennent pied, ils s'y trouvent en quelque sorte piégés s'ils parviennent à construire une population viable. Ils acquièrent alors peu à peu toute une série de dispositifs évolutifs dont la fonction est de les fixer au terrain qu'ils ont conquis [7]. D'où l'acquisition de comportements sédentaires puisque l'oiseau ne migre plus.



Figure 15. Le cagou de Nouvelle Calédonie (Rhynochetos jubatus), incapable de voler, est très vulnérable aux mammifères introduits comme les rats. [Source : photo © Jacques Blondel]

Par ailleurs, les îles étant moins riches en prédateurs que des espaces continentaux de superficie équivalente, les **mécanismes d'évitement des prédateurs disparaissent**, y compris les ailes comme on le voit chez de nombreuses espèces comme le Dodo -aujourd'hui disparu - de l'Île Maurice, le cagou de Nouvelle Calédonie (Figure 15) ou de très nombreux râles dans archipels de l'océan Pacifique. Si les communautés insulaires sont hautement adaptées à leur environnement, elles deviennent malheureusement terriblement vulnérables à tout changement de leur environnement. Ayant perdu depuis longtemps l'expérience de la prédation, donc la nécessité d'être en permanence sur le qui-vive dans un « paysage de la peur », des centaines d'espèces insulaires inaptes au vol furent massacrées par les humains quand ils envahirent les îles ainsi que par les espèces qu'ils introduisirent avec eux comme les rats, les chats ou les cochons...

7. Messages à retenir

La conquête de l'air par les animaux date de plus de **200 millions d'années**.

Une infinité d'organismes ont maîtrisé les **techniques de vol variées** depuis de minuscules hyménoptères pesant moins de 1 gramme à ces géants des airs que furent certains ptérosaures qui pesaient plus de 400 kg.

Le vol a favorisé la **conquête** d'une infinité d'habitats sous toutes les latitudes.

Certains groupes comme les manchots ou d'innombrables espèces insulaires ont **abandonné l'aptitude au vol**.

Les techniques de vol des oiseaux ont inspiré les constructeurs d'engins volants grâce à une discipline qu'on appelle le **biomimétisme**.

Notes & Références

Image de couverture. Grande Aigrette. [Source : © Alain Blanchard, reproduit avec la permission de l'auteur]

[1] Inspiré de Burton R. (1990) Birdflight: An Illustrated Study of Birds' Aerial Mastery. ISBN-13: 978-0816024100

[2] Le synsacrum est un os pneumatique (*i. e.* os creux dont la cavité est remplie d'air allégeant ainsi la structure) commun aux oiseaux et aux dinosaures.

[3] Le pygostyle est un os (issu de la fusion des dernières vertèbres) présent dans le croupion des oiseaux et sur lequel se fixent les grandes plumes de la queue (ou rectrices).

[4] Les supracoracoïdes interviennent au moment où l'oiseau relève l'aile. Reliés par des tendons sur le dessus de l'humérus, ils jouent le rôle de poulies. Ainsi, lorsqu'ils se contractent, ils tirent l'aile abaissée vers le haut. Ils sont donc complémentaires aux pectoraux : quand ces derniers sont contractés, les supracoracoïdes sont détendus, et inversement.

[5] Alula : partie du plumage de l'aile des oiseaux, permettant l'augmentation de la portance et de réduire le risque de décrochage. Cela correspondrait au bec d'une aile d'avion. Ce dispositif permet, comme pour les avions, de contrôler l'écoulement des filets d'air qui doivent rester laminaires à la surface de l'aile. La vitesse réduite de ce type de vol permet d'adoucir l'atterrissage. Voir : https://fr.wikipedia.org/wiki/Alula_(oiseau)

[6] Marshall A. (October 27, 2022) Bird Sets Record for Nonstop 13,560km Flight. Explorer web

[7] Blondel, J. 2000. Evolution and ecology of birds on islands: trends and prospects. *Vie et Milieu* 50, 205-220.

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteur :** BLONDEL Jacques (2023), Le vol des oiseaux, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=16418

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.
