

Titre : La locomotion chez les animaux

Auteur : Pettigrew, James Bell

Mots-clés : Locomotion animale

Description : 1 vol. (360-32 p.) ; 22 cm

Adresse : Paris : G. Baillière, 1874

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 8 Ca 103

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?8CA103>

11. Vol. 12. 5.10

8^e col. 103.

BIBLIOTHÈQUE
SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE



Ca 388 et bis

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Volumes in-8° reliés en toile anglaise.

Prix : 6 fr.

VOLUMES PARUS.

- J. Tyndall. LES GLACIERS et les transformations de l'eau avec 8 planches tirées à part sur papier teinté et nombreuses figures dans le texte..... 6 fr.
- W. Bagehot. LOIS SCIENTIFIQUES DU DÉVELOPPEMENT DES NATIONS dans leurs rapports avec les principes de l'hérédité et de la sélection naturelle..... 6 fr.
- J. Marey. LA MACHINE ANIMALE, locomotion terrestre et aérienne, avec 117 figures dans le texte..... 6 fr.
- A. Bain. L'ESPRIT ET LE CORPS considérés au point de vue de leurs relations, suivis d'études sur les erreurs généralement répandues au sujet de l'esprit 6 fr.
- J. A. Pettigrew. LA LOCOMOTION CHEZ LES ANIMAUX, avec un très-grand nombre de figures dans le texte..... 6 fr.
- Herbert Spencer. LA SCIENCE SOCIALE. 6 fr.

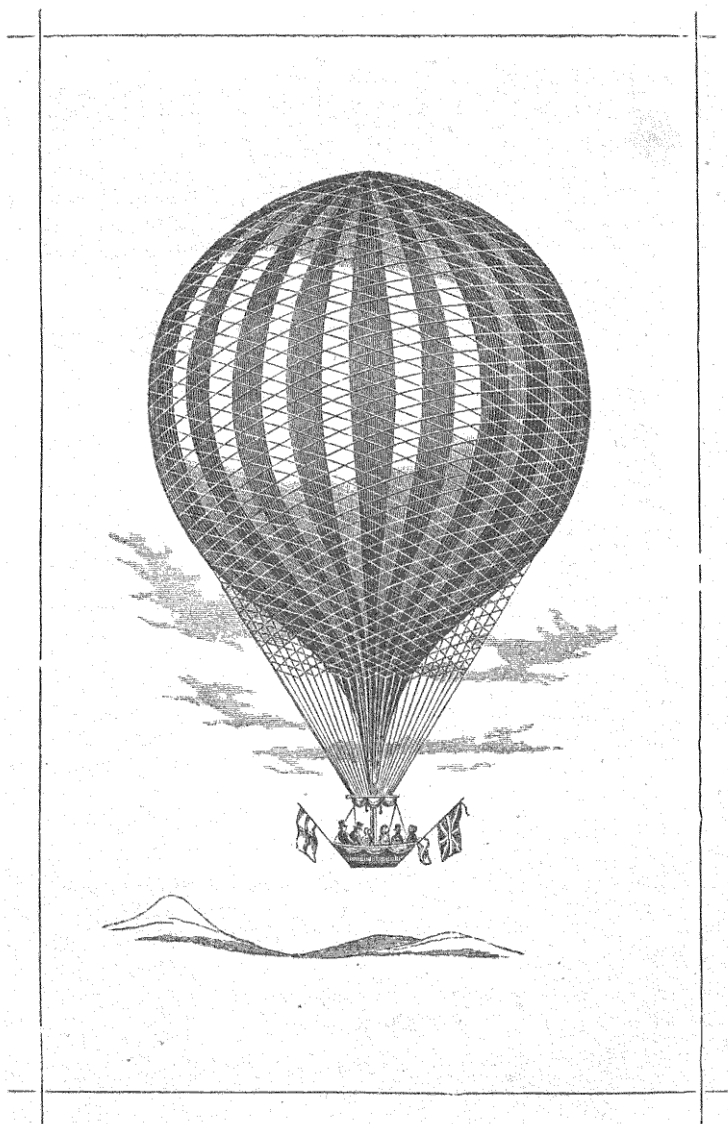
VOLUMES SUR LE POINT DE PARAÎTRE.

- Oscard Schmidt. LA THÉORIE DE L'HÉRÉDITÉ ET LE DARWINISME.
- P. J. Van Beneden. LES COMMENSAUX ET LES PARASITES dans le règne animal.
- Vogel. LES EFFETS CHIMIQUES DE LA LUMIÈRE.
- W. B. Carpenter. PHYSIOLOGIE DE L'ESPRIT.

Voir la liste complète à la fin du volume.

COULOMMIERS. — Typ. A. MOUSSIN.

FRONTISPICE



Le Vauxhall, ballon de M. Green.

LA 8^e Ca 10^e
LOCOMOTION

CHEZ LES ANIMAUX

OU

MARCHE, NATATION ET VOL

SUIVIE D'UNE DISSERTATION SUR

L'AÉRONAUTIQUE

PAR

J. BELL PETTIGREW

Membre des Sociétés Royales de Londres et d'Édimbourg; Professeur
au Collège Royal des chirurgiens d'Édimbourg

Ouvrage illustré de 131 Gravures sur bois



PARIS

LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE

17, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 17

—
1874

PRÉFACE

Dans le présent volume, je me suis efforcé d'expliquer, dans un langage simple, quelques problèmes difficiles de la Mécanique animale. Afin d'éviter des descriptions minutieuses, j'y ai introduit un grand nombre de dessins et de diagrammes originaux, extraits pour la plupart de mes articles et de mes mémoires « sur le Vol », et sur les autres formes de « Progression animale ». J'ai tiré des mêmes sources un grand nombre des faits que l'on trouvera dans cet ouvrage. Mes meilleurs remerciements sont dus à M. W. Ballingall, d'Édimbourg, pour la manière frappante et éminemment artistique avec laquelle il a gravé les divers sujets. Les figures, je suis heureux de le constater, n'ont rien perdu en passant par ses mains.

Collège Royal des Chirurgiens d'Édimbourg, Juillet 1873.

LA
LOCOMOTION
CHEZ LES ANIMAUX

LIVRE PREMIER

LES ORGANES DE LOCOMOTION

La locomotion des animaux représentée par la marche, la natation et le vol, est un sujet d'intérêt permanent pour tous ceux qui recherchent dans la créature les preuves de la bonté et de la providence du Créateur. Tous les animaux, quelque insignifiants qu'ils soient, ont une mission à remplir, une destinée à accomplir ; et leur manière de le faire ne peut être indifférente même à un observateur superficiel. La forme la plus exquise perd beaucoup de son élégance si elle est privée de mouvement, et l'animal le plus disgracié cache son manque de symétrie dans la coadaptation et l'exercice de ses diverses parties. La rigidité et l'immobilité de la mort seules sont contre nature. Tant que les choses « vivent, se meuvent, ont une existence » elles sont d'agréables objets dans le paysage.

PETTIGREW.

1

Ce sont les parties intégrantes du grand problème de la vie, et comme nous courons tous vers un terme commun, il est bien naturel que nous prenions intérêt aux mouvements de nos compagnons de voyage. Comme la locomotion des animaux est intimement associée à leurs habitudes, à leur genre de vie, un large champ nous est ouvert, fertile en incidents, en leçons et en amusements. Personne ne peut voir une abeille diriger sa course avec une admirable précision de fleur en fleur à la recherche du nectar ; une hirondelle se lancer comme un jet de lumière à travers les sentiers à la poursuite des insectes ; un loup courir hors d'haleine après un cerf ; un dauphin rouler comme une roue de moulin à la suite d'une bande de poissons volants, sans que son intérêt soit vivement éveillé.

Cet amour du mouvement ne se borne pas au règne animal. Nous admirons plus une cataracte qu'un canal ; la mer est plus grandiose dans la tempête que dans le calme ; et les nuages floconneux qui passent sans cesse au-dessus de nous, sont plus agréables à l'œil qu'un horizon d'un bleu tranquille, quelles que soient sa profondeur et sa beauté. Nous ne nous lassons point d'avoir en même temps et de l'ombre et l'éclat du soleil ; l'un ou l'autre seul nous fatigue vite. Les changements et les mouvements inorganiques sont à peine moins intéressants que les organiques. Le grondement redouté du tonnerre et l'affreux éclair, brûlant et flétrissant tout ce qu'il touche, nous rappellent forcément qu'au dessus, au-dessous, autour de nous tout est en mouvement. Comme le dit éloquemment M. Grove, la nature ne nous montre nulle part le repos absolu. Toute matière, vivante ou morte, solide, liquide

ou gazeuse, change constamment de forme, en d'autres termes, est constamment en mouvement. Il est bon qu'il en soit ainsi; car ces changements incessants dans la matière inorganique et dans les organismes vivants produisent cette fascinante variété qui ne blase ni l'œil, ni l'oreille, ni le toucher, ni le goût, ni l'odorat. Si un repos absolu prévalait quelque part; si plantes et animaux cessaient de croître; si le jour n'alternait plus avec la nuit, si les fontaines se desséchaient ou se glaçaient, si les ombres cessaient de s'étendre, l'air et les rochers de réfléchir la lumière, les nuages de s'amasser et la grande race des êtres animés de se mouvoir, le monde ne serait plus habitable pour l'homme. Dans le changement, il trouve sa consolation pour le présent, son espérance pour l'avenir. Le grand panorama de la vie est intéressant parce qu'il se meut. Un changement en amène un autre. L'existence simultanée des choses entraîne leur dépendance mutuelle. Cette coexistence, cette dépendance réciproque font que nous étudions non-seulement nous-mêmes mais encore tout ce qui nous entoure. Par la découverte des lois de la nature, la divine Providence nous permet d'imposer notre joug aux puissances naturelles, et déjà le géant Vapeur traîne avec une incroyable vitesse le wagon retentissant et le rapide bateau; le quadrupède sur la terre, et le poisson dans l'eau ont été mis littéralement hors de concours; chacun d'eux a, pour ainsi dire, été battu dans son propre domaine. Que le tramway de l'air puisse et doive être traversé par l'ingéniosité de l'homme à une époque ou à une autre, cela est, en raisonnant par analogie et d'après la nature des choses, également certain. S'il n'y avait aucun être volant, s'il n'y avait comme mo-

dèles, ni insectes, ni chauves-souris, ni oiseaux, le vol artificiel (tant sont grandes les difficultés de sa réalisation) pourrait bien être regardé comme une impossibilité. Mais comme les créatures volantes sont une légion, à la fois par leur nombre, leurs dimensions et leurs formes, et que les corps de toutes sont manifestement non-seulement plus lourds que l'air, mais composés de parties dures et de parties molles, semblables à tous égards à celles qui composent les corps des autres membres du règne animal, cela nous provoque à imiter les mouvements de l'insecte, de la chauve-souris et de l'oiseau dans l'air, comme nous avons déjà imité les mouvements du quadrupède sur la terre et du poisson dans l'eau. Nous avons achevé avec succès deux étapes ; il ne nous en reste qu'une à faire pour compléter le merveilleusement parfait et très-intelligible système de locomotion que nous présente la nature. Jusqu'à ce que ce troisième pas soit franchi, nos applications artificielles de transition ne doivent être regardées que comme partielles et incomplètes. Les auteurs qui regardent le vol comme impraticable, remarquent sagement que la terre soutient le quadrupède, et l'eau le poisson. C'est tout à fait vrai, mais il est également vrai que l'air soutient l'oiseau, et que les évolutions de l'oiseau sur ses ailes sont aussi sûres et infiniment plus rapides et plus belles que les mouvements du quadrupède sur la terre ou du poisson dans l'eau. Ce qui, en fait, assure la position du quadrupède sur la terre, du poisson dans l'eau, de l'oiseau dans l'air, c'est la vie ; et par là, j'entends cette puissance parfaite de se mouvoir et de se gouverner, qui coordonne les mouvements des *surfaces motrices* (pieds, nageoires ou ailes) de tous les animaux et les adapte au

milieu sur lequel ils sont destinés à opérer, soit la terre comparativement ferme, l'eau mobile ou l'air plus mobile encore. Supprimez tout à coup cette vie, le quadrupède tombe à terre, le poisson (s'il n'est spécialement muni d'une vessie natatoire) s'enfonce, et l'oiseau gravite fatalement. Il y a dans chaque cas suspension et cessation soudaines de la vie, mais ni le quadrupède ni le poisson n'ont à cet égard aucun avantage sur l'oiseau. Les savants qui s'opposent à cette manière de voir, s'écrient assez naturellement qu'il n'y a pas grande difficulté à faire avancer une machine soit sur la terre soit sur l'eau, en voyant que ces deux milieux la soutiennent. Il n'y a, je l'avoue, pas grande difficulté aujourd'hui, mais il y en avait apparemment d'insurmontables avant l'invention de la locomotive et du bateau à vapeur. De plus, le poids, au lieu d'être un obstacle au vol artificiel, lui est absolument nécessaire. Cette assertion est tout à fait opposée à l'opinion communément reçue, mais elle est néanmoins vraie. Il n'y a pas d'oiseau plus léger que l'air, et aucune machine construite dans le but d'y naviguer ne devrait viser à être spécifiquement moins pesante que lui. Ce qui manque c'est une quantité raisonnable, mais non excessive, de poids et une reproduction (en principe sinon en pratique) de cette structure et de ces mouvements qui permettent de voler à l'insecte, à la chauve-souris, à l'oiseau. Jusqu'à ce que l'on ait bien compris la structure et l'emploi des ailes, « la route de l'aigle dans les airs » doit nécessairement rester un mystère. L'étude du vol n'a jamais, si ce n'est tout récemment, été entreprise d'une manière systématique et rationnelle, et en somme, on ne sait que fort peu de chose des lois qui le régissent. Si nous con-

naissions bien ces lois, et si nous étions en possession de données dignes de foi pour nous guider dans nos projets d'ailerons artificiels, le formidable nœud gordien du vol, il y a des raisons pour le croire, serait rapidement débrouillé.

Que le vol artificiel soit possible, cela est mis hors de doute, d'abord par ce fait, que le vol est un mouvement naturel, et ensuite parce que les mouvements naturels de la marche et de la natation ont déjà été imités avec succès.

Les rapports évidents que les mouvements naturels ont avec les artificiels, et la relation qui existe entre les mouvements organiques et inorganiques revêtent notre sujet d'un intérêt tout particulier.

C'est l'alliance de la progression naturelle et de l'artificielle en théorie et en pratique qui donnent à l'une et à l'autre leur charme principal. L'histoire de la progression artificielle est indispensable à celle de la progression naturelle. Les mêmes lois les régissent et les déterminent toutes deux. La roue de la locomotive et l'hélice du bateau à vapeur diffèrent grandement en apparence de la jambe du quadrupède, de la nageoire du poisson, de l'aile de l'oiseau ; mais, comme je le démontrerai par la suite, les courbes que vont former la roue et l'hélice se retrouvent dans les surfaces motrices de tous les animaux, que ce soient des membres munis de pieds, des nageoires ou des ailes.

C'est une chose remarquable que l'ondulation ou la courbe tracée par l'aile d'un insecte, d'une chauve-souris ou d'un oiseau, lorsque ces animaux sont fixés ou suspendus devant un objet, et qu'ils volent, corresponde

d'une manière marquée avec la courbe décrite par l'ondulation stationnaire et progressive des fluides, et aussi avec les ondes sonores. Cette coïncidence paraît établir une relation intime entre l'instrument et le milieu dans lequel il est destiné à opérer ; — l'aile agissant suivant des courbes tout à fait semblables à celles que subit l'atmosphère dans la transmission du son. Peut-on admettre que le monde animé et le monde inanimé soient réciproques et que les corps des animaux soient faits pour produire sur les corps inanimés des impressions tout à fait semblables à celles que ces derniers produisent l'un sur l'autre ? Ceci paraît certain : — Le vent communique à l'eau des impulsions semblables à celles que le poisson lui communique en nageant ; et l'aile dans ses vibrations frappe l'air comme le fait un son ordinaire. De plus les extrémités des quadrupèdes décrivent en marchant ou en courant sur le vol des lignes ondulées ; de sorte qu'une grande loi paraît déterminer la course de l'insecte dans l'air, du poisson dans l'eau, et du quadrupède sur la terre.

Nous n'avons malheureusement appris en aucune manière à regarder les surfaces et les mouvements des oiseaux, comme corrélatifs aux milieux ambiants, et en conséquence, nous sommes disposés à considérer la marche comme distincte de la natation, la marche et la natation comme distinctes du vol ; il n'y a pas d'erreur plus grande. La marche, la natation, le vol, ne sont en réalité que des modifications l'un de l'autre. La marche se transforme en natation, la natation en vol par d'insensibles gradations. Les modifications qu'ont produites marche, natation et vol sont nécessitées par ce fait que la terre offre un sou-

tien plus ferme que l'eau, l'eau un plus ferme que l'air.

La preuve que la marche, la natation et le vol représentent les parties intégrantes du même problème, c'est que la plupart des quadrupèdes nagent aussi bien qu'ils marchent, et même que quelques-uns volent, tandis que beaucoup d'animaux marins marchent aussi bien qu'ils nagent, et que des oiseaux et des insectes marchent, nagent et volent indifféremment. Lorsque les animaux terrestres proprement dits, passent fréquemment dans l'eau ou dans l'air ; que les habitants de l'eau s'essaient constamment sur la terre ou dans l'air ; que les insectes ou les oiseaux qui sont plus particulièrement organisés pour le vol, passent la plus grande partie de leur temps sur la terre ou dans l'eau ; leurs organes de locomotion doivent posséder ces particularités de structure qui caractérisent comme classe les animaux qui vivent respectivement sur terre, dans l'eau ou dans l'air.

Ceci nous donne l'explication de l'aile réticulée de l'insecte, — de la main curieusement modifiée de la chauve-souris et de l'oiseau, — de la patte, du pied palmé de la Loutre, de l'Ornithorhynque, du Phoque et du Morse, — de la queue élargie de la Baleine, du Marsouin, du Dugong et du Lamantin, — du pied de l'Autruche, de l'Aptéryx et du Dodo exclusivement destinés à la course, — de la patte des Canards, des Mouettes et des Pétrels spécialement faites pour la natation, et des ailes et des pattes des grands et des petits Pingouins, et des Guillemots spécialement destinés à plonger. D'autres modifications intermédiaires se présentent dans le poisson-volant, le lézard-volant, l'écureuil-volant ; et d'autres animaux, tels que la grenouille, le triton, et plusieurs insectes aquatiques

(l'éphémère ou mouche de mai par exemple ¹), qui commencent leur carrière en nageant, et finissent par marcher, sauter ou même voler ².

Tous les degrés et toutes les variétés de mouvements, particuliers aux animaux vivant sur la terre et à ceux qui naviguent dans l'air ou dans l'eau, sont imités par d'autres qui n'abordent les éléments en question que d'une manière secondaire et par intervalles.

De tous les mouvements des animaux, le vol est sans contredit le plus beau. On peut le regarder comme la poésie du mouvement. Le fait qu'une créature aussi pesante, volume pour volume, que beaucoup de substances solides, peut, sans aide, par le seul mouvement de ses ailes, se transporter à travers les airs avec une vitesse peu inférieure à celle d'un boulet de canon, remplit l'esprit d'admiration. Le vol est (si je puis me permettre cette expression) un mouvement plus instable que la marche

¹ Les Ephémères à l'état de larves et de chrysalides résident dans l'eau, cachées pendant le jour sous les pierres ou dans les clapiers horizontaux qu'elles forment sur les bords. Quoique ressemblant à l'insecte parfait à plusieurs égards, elles en diffèrent matériellement par leurs antennes plus longues, leur manque d'ocelles, et la possession de mandibules cornées. Leur abdomen a en outre de chaque côté une rangée de palettes, le plus souvent disposées par paires, qui sont des sortes de fausses branchies, et qui sont employées non-seulement comme organes respiratoires, mais aussi comme rames. — Règne animal de Cuvier, p. 576. Londres, 1840.

² Kirby et Spence font observer que plusieurs insectes qui ne sont naturellement pas aquatiques savent cependant très-bien nager quand ils tombent dans l'eau. Ils citent une espèce de saute-relle (*Acrydium*), qui peut traverser un courant avec une grande rapidité à l'aide des coups puissants de ses pattes de derrière. — (Introduction à l'Entomologie, 5^e édition, 1828, p. 360.) Nous ne devons pas non plus passer sous silence la remarquable découverte faite par Sir John Lubbock d'un insecte nageur (*Polynema natans*), qui se sert de ses ailes exclusivement comme nageoires. — Linn. Trans., vol. xxiv, p. 135.

ou la natation, l'instabilité croissant à mesure que le milieu à traverser devient moins dense. Il ne diffère cependant pas des deux autres, et je pourrai vous montrer dans les pages suivantes que les matériaux et les forces employées dans le vol, sont littéralement les mêmes que ceux qui servent à la marche et à la natation. C'est une circonstance encourageante, en ce qui concerne le vol artificiel, que les mêmes éléments et les mêmes forces employés à la construction des locomotives et des bateaux à vapeur, puissent et doivent dans un avenir probablement peu éloigné être employés avec succès à la construction des machines volantes. Le vol est un problème purement mécanique. Il est inséparablement lié à celui des autres mouvements des animaux, et forme un anneau d'une grande chaîne de mouvements qui traîne sa longueur infinie sur la terre, dans l'eau et, malgré son poids, dans l'air. Pour comprendre le vol, il faut comprendre la marche et la natation, et c'est en vue de simplifier nos conceptions sur cette forme la plus délicieuse de la locomotion que ce livre est principalement écrit. Les chapitres sur la marche et la natation conduisent naturellement à ceux consacrés au vol.

Dans le règne animal, les mouvements sont adaptés à la terre, à l'eau ou à l'air, qui constituent les trois grands chemins de la nature. Il en résulte que les instruments à l'aide desquels la locomotion s'effectue sont spécialement modifiés. C'est nécessaire à cause des différentes densités et des différents degrés de résistance respectivement présentés par la terre, l'eau et l'air. Sur la terre les extrémités des animaux rencontrent le *maximum de résis-*

tance, et occasionnent le *minimum de déplacement*. Dans l'air les ailes éprouvent le *minimum de résistance* et effectuent le *maximum de déplacement*; l'eau est intermédiaire à la fois par rapport au degré de résistance offerte et à la somme de déplacement produit. La vitesse d'un animal est déterminée par sa forme, sa masse, sa puissance et la densité du milieu sur lequel ou dans lequel il se meut. Il est plus difficile de marcher sur le sable ou la neige que sur une route macadamisée. De même, à moins que les surfaces motrices ne soient spécialement modifiées, il est plus fatigant de nager que de marcher, de ~~voler~~ que de nager. Ceci provient du déplacement produit, et par suite, du manque de résistance. Le sol fournit des points d'appui aux leviers formés par les extrémités des surfaces motrices des animaux terrestres; l'eau fournit les points d'appui aux leviers formés par la queue et les nageoires des poissons, mammifères marins, etc.; et l'air des points d'appui aux leviers formés par les ailes des insectes, chauves-souris et oiseaux. Le point d'appui fourni par le sol est immobile, ceux fournis par l'eau et l'air sont mobiles. La mobilité ou l'immobilité des points d'appui constituent la principale différence entre marcher, nager et voler; les surfaces motrices de l'animal croissant en dimension à mesure que le milieu à traverser devient plus dense et le point d'appui plus mobile. Ainsi les animaux terrestres ont des surfaces motrices plus petites que les amphibiens, les amphibiens que les poissons, et les poissons que les insectes, les chauves-souris et les oiseaux. Il y a un autre point à étudier, connexe avec les points d'appui rigides ou mobiles, c'est la résistance présentée au mouvement en avant. Un animal

terrestre est soutenu par la terre, et éprouve peu de résistance de la part de l'air qu'il déplace à moins qu'il n'atteigne une grande vitesse. Son frottement principal est celui qu'occasionne le contact de ses surfaces motrices avec le sol. Si celles-ci sont petites, la vitesse est généralement grande comme chez les quadrupèdes. Un poisson, ou un mammifère marin est à peu près de la même pesanteur spécifique que l'eau qu'il habite; en d'autres termes, il est soutenu avec aussi peu ou moins d'effort que l'animal terrestre. Comme cependant le fluide dans lequel il se meut est plus dense que l'air, la résistance qu'il éprouve dans son mouvement en avant est plus grande que celle qu'éprouvent les animaux terrestres, les insectes, les chauves-souris et les oiseaux. Comme conséquence, les poissons ont pour la plupart une forme elliptique; cette forme étant celle qui leur permet de fendre l'eau avec le plus de facilité. Un animal volant est immensément plus lourd que l'air. Le soutien qu'il reçoit et la résistance qu'il éprouve dans son mouvement en avant sont réduites au minimum. Le vol, à cause de la légèreté de l'air, est infiniment plus rapide que la marche, la course, la nage. L'animal volant reçoit un appui de l'air en accroissant la dimension de ses surfaces motrices, qui agissent à la manière de plans inclinés tordus ou de cerfs-volants.

Quand un insecte, une chauve-souris ou un oiseau est lancé dans l'espace, son poids (à cause de la tendance qu'ont tous les corps à tomber verticalement) presse sur les plans inclinés ou cerfs-volants formés par les ailes, se convertit directement en force de *propulsion*, et indirectement en force de *suspension*, en puissance soutenance. Cela peut se prouver par expérience, comme je le mon-

treraï plus tard. Sans la part que le poids ou masse des créatures volantes prend au vol, les voyages prolongés des oiseaux de passage seraient impossibles. Quelques autorités sont même de l'opinion que les oiseaux dorment sur leurs ailes. Toujours est-il que l'albatros, ce prince de la tribu ailée, peut planer toute une heure sans battre une seule fois de l'aile. Cela ne peut se faire qu'en vertu du poids de l'oiseau agissant sur les plans inclinés ou cerfs-volants formés, comme il a été dit, par ses ailes.

Le poids du corps joue un rôle important dans la marche et la natation, aussi bien que dans le vol. On peut dire qu'un bipède qui avance pas à pas et non par sauts, roule sur ses extrémités¹, le pied de l'extrémité qui se trouve sur le sol à ce moment étant le centre du cercle dont la circonférence est décrite par le tronc dans son mouvement de progression. De même manière on peut dire que le pied qui ne touche pas le sol et se balance en arrière à la façon du pendule, roule ou tourne sur le tronc, la tête du fémur étant le centre du coude dont la circonférence est décrite par le pied qui s'avance. Un double mouvement de roulement est ainsi établi, le corps roulant sur une extrémité pendant le premier moment, l'extrémité roulant sur le tronc pendant le suivant. Durant ces mouvements, le corps s'élève et s'abaisse. Le double mouvement de roulement est nécessaire à la continuité du déplacement. S'il n'y avait qu'un mouvement, il y aurait des points morts ou haltes dans la marche et la course, semblables à ce qui se présente dans le saut. La

¹ Ceci est également vrai des quadrupèdes, c'est la partie postérieure du pied qui touche terre la première.

continuité de mouvement nécessaire à la progression de quelques bipèdes, l'homme par exemple, est en outre assurée par un mouvement de pendule des bras, aussi bien que des jambes, le bras droit se balançant en avant du corps pendant que la jambe droite se balance en arrière, et inversement. La jambe droite et le bras gauche avancent simultanément et alternent avec la jambe gauche et le bras droit, qui, de même, avancent ensemble. Cela donne lieu à une double torsion du corps aux épaules et aux reins. Quand les jambes et les bras s'avancent, ils se meuvent suivant des courbes; les convexités des courbes décrites par le pied droit et la main gauche qui s'avancent ensemble pendant qu'un pas se fait, se dirigent en avant et forment, quand on les rapproche, une ellipse, plus ou moins symétrique. Si les courbes formées respectivement par les jambes et les bras étaient réunies, elles formeraient des lignes ondulées se coupant à chaque pas. Cela provient de ce que les courbes décrites par la jambe droite et la gauche se trouvent alternativement de chaque côté d'une ligne donnée, la même chose étant vraie pour le bras gauche et le bras droit. On doit donc considérer la marche comme le résultat d'un mouvement de torsion diagonale dans le tronc et les extrémités. Sans ce mouvement, les vitesses acquises par les diverses portions de la masse mobile ne pourraient être utilisées. Comme la vitesse acquise par les animaux en marchant, nageant ou volant, forme un facteur important de ces mouvements, il faut que nous ayons une juste conception de la valeur à attribuer au poids pendant un déplacement. Chez le cheval en marche, l'enjambée est quelquefois d'environ cinq pieds, au trot de dix pieds, et au galop de

dix-huit pieds ou plus. L'enjambée est en effet déterminée par la vitesse acquise par la masse du corps du cheval, cette vitesse portant les membres en avant ¹.

Quand un poisson nage, son corps se projette en une courbe double ou en forme de 8, comme dans la marche du bipède. La torsion du corps et la continuité de mouvement que cette torsion engendre, reparaissent. Les courbes formées par un poisson nageant ne sont jamais en nombre moindre que deux, une caudale et une céphalique. Elles doivent excéder et excèdent en effet ce nombre chez les poissons à long corps. La queue du poisson est mise en vibration à la manière du pendule de chaque côté de l'épine, pendant qu'elle va et vient dans l'acte de la natation. Elle tourne sur une ou plusieurs vertèbres de l'épine dorsale, la vertèbre ou les vertèbres formant le centre d'une lemniscate décrite par la nageoire caudale. Il y a donc une analogie évidente entre la queue du poisson et l'extrémité du bipède. Cela est prouvé par la conformation et la manière de nager du phoque, animal chez lequel les extrémités postérieures sont modifiées de façon à ressembler à la queue d'un poisson. Quand un phoque nage, ses pieds de derrière pressent l'eau en godillant selon une courbe en forme de 8, absolument comme la queue d'un poisson. De semblables remarques peuvent se faire sur la natation de la baleine, du dugong, du laman-

¹ Selon Sainbell, le célèbre cheval Eclipse quand il galopait en liberté, et avec sa plus grande vitesse, franchissait un espace de vingt-cinq pieds à chaque enjambée, ce qu'il répétait deux fois et un tiers par seconde faisant ainsi environ quatre milles anglais en six minutes et deux secondes. On calcula que le cheval de course Flying Childers avait franchi quatre-vingt-deux pieds et demi par seconde, ou environ un mille anglais par minute.

tin ou du marsouin, mammifères marins dont la forme se rapproche encore plus de celle des poissons. La double courbe suivant laquelle le poisson se lance en nageant, et qui donne de la continuité à son mouvement, lui fournit aussi le degré requis de stabilité. Quand la queue frappe de côté et d'autre, il y a une tendance à produire un mouvement correspondant de la tête, que corrige immédiatement la courbe complémentaire. Et ce n'est pas tout : la courbe céphalique en conjonction avec l'eau qu'elle contient forme le point d'appui pour la caudale, *et vice versa*. Quand un poisson nage, la portion antérieure et la postérieure de son corps (en supposant que ce soit un poisson court) forment des courbes dont les convexités sont dirigées sur les côtés opposés d'une ligne donnée, comme cela se passe dans les extrémités du bipède qui marche. La masse du poisson, comme la masse du bipède, une fois mise en mouvement, contribue à la progression en augmentant le taux de la vitesse. La vélocité de certains poissons est excessive. Un requin peut folâtrer à l'avant d'un vaisseau à pleines voiles ; et l'on sait qu'un espadon (tant est grande sa force vive) a traversé de sa défense le doublage de cuivre d'un vaisseau, une couche de feutre, quatre pouces de sapin et quatorze pouces de chêne ¹.

L'aile de l'oiseau ne diffère pas matériellement de l'extrémité du bipède ou de la queue du poisson. Elle est construite sur un plan semblable et agit d'après le même principe. La queue du poisson, l'aile de l'oiseau et l'extrémité du bipède et du quadrupède sont des hélices comme

¹ Une pièce de bois, etc... d'un des navires de Sa Majesté portant implantée la défense d'un espadon, existe au Musée Hunterien du collège Royal des Chirurgiens d'Angleterre.

structure et comme fonctions. Comme preuve, comparons les os de l'aile d'un oiseau à ceux du bras d'un homme, du membre antérieur d'un éléphant ou de tout autre quadrupède. Dans tous ces cas les os sont tordus sur eux-mêmes comme une tarière. La queue du poisson, les extrémités du bipède et du quadrupède décrivent dans leurs mouvements des courbes ondulées. Ainsi l'aile d'un oiseau décrit en oscillant des courbes en forme de 8 comme le corps d'un poisson. Quand, en outre, l'aile monte et descend pour frapper, en haut et en bas, elle tourne dans les facettes ou dépressions situées sur les omoplates et les os coracoides, précisément de la même manière que le bras de l'homme tourne dans la cavité glénoïde, ou la jambe dans la cavité acétabulaire pendant l'acte de la marche. L'ascension et la chute de l'aile pendant le vol correspondent aux pas faits par les extrémités pendant la marche, l'aile tournant sur le corps de l'oiseau pendant le coup en bas, le corps de l'oiseau tournant sur l'aile pendant le coup en haut. Pendant que l'aile descend, elle décrit une courbe dirigée en bas et en avant. Quand le corps descend il décrit une courbe dirigée en bas et en avant, l'aile s'élevant suivant une courbe dirigée vers le haut en avant. Les courbes faites par les ailes et le corps pendant le vol forment, quand elles sont unies, des lignes ondulées qui se coupent à chaque coup d'aile. L'aile et le corps agissent alternativement l'un sur l'autre, l'un étant actif pendant que l'autre est passif, et la descente de l'aile n'est pas plus nécessaire à l'élévation du corps, que la descente du corps ne l'est à l'élévation de l'aile. C'est ainsi que le poids de l'animal volant est utilisé, les faux pas évités, la continuité de mouvement assurée.

Quant à la destruction effective de tissu produite par la marche, la natation et le vol, il y a beaucoup de divergence dans les opinions. On croit communément que l'oiseau développe une quantité de travail tout à fait énorme par rapport à celle du poisson ; un poisson en développant lui-même une beaucoup plus grande qu'un animal terrestre. C'est, on n'en peut douter, une erreur populaire. Un oiseau peut voler tout un jour, un poisson nager tout un jour, un homme marcher tout un jour. S'il en est ainsi l'oiseau n'a pas besoin de plus de force que le poisson, et le poisson que l'homme. La vitesse de l'oiseau comparée à celle du poisson, ou la vitesse du poisson comparée à celle de l'homme, ne sont pas des critères de la puissance exercée. La vitesse n'est qu'en partie due à la force. Comme on vient de le dire, elle est due surtout à la forme et à la dimension des surfaces motrices, à la densité du milieu traversé, à la résistance éprouvée dans le mouvement en avant, et au rôle joué par la masse de l'animal lorsqu'il se meut et agit sur ses surfaces motrices. C'est une erreur de supposer qu'un oiseau est plus fort à poids égal qu'un poisson, ou un poisson plus qu'un homme. Il est également erroné d'affirmer que les efforts d'un animal volant sont herculéens par rapport à ceux d'un animal nageant ou marchant. L'observation et l'expérience me portent à croire exactement le contraire. Une créature volante, une fois convenablement lancée dans l'espace (à cause du rôle joué par le poids pendant le vol, et du peu de résistance opposée à la progression) plane dans l'air presque sans effort ¹. La preuve en est

¹ Une créature volante exerce son plus grand effort pour s'élever. L'effort est de courte durée, et plutôt met en train qu'il ne

dans le planement de l'albatros, et dans ce fait que certains insectes peuvent voler après qu'on a enlevé les deux tiers de la surface de leurs ailes. (Cette expérience est ultérieurement détaillée). Ces observations ont pour but de montrer l'urgente nécessité d'étudier les milieux à traverser, les points d'appui que ces milieux fournissent, la dimension, la forme et les mouvements des surfaces motrices. Les surfaces motrices fournissent, comme on l'a déjà expliqué, les leviers par l'action desquels s'effectuent les mouvements de marche, de natation et de vol.

En comparant les pattes palmées du phoque, de l'ours marin et du morse à la nageoire et à la queue du poisson, de la baleine, du marsouin, etc.; et l'aile du pingouin (oiseau qui est incapable de voler et ne peut que nager et plonger) à l'aile de l'insecte, de l'oiseau, de la chauve-souris, j'ai pu montrer qu'il existe une étroite analogie entre les pattes, les nageoires et la queue des mammifères marins et des poissons, d'une part; les ailes des insectes, des chauves-souris et des oiseaux de l'autre; en fait, que théoriquement et pratiquement ces organes, ensemble et séparément, forment des hélices flexibles, des vis, qui en vertu de leur rapide mouvement réciproque, opèrent sur l'eau et sur l'air comme des coins, à la manière de plans tordus ou doublement inclinés. Les plans inclinés tordus agissent sur l'air et sur l'eau au moyen de surfaces courbes, renvoyant, réfléchissant et engendrant une pression ondulée qui peut se continuer indéfiniment à la volonté

continue le vol. Si l'animal volant peut se lancer dans l'espace d'un point élevé, l'effort préliminaire doit lui être épargné, puisque, dans ce cas le poids de l'animal acquiert sa vitesse initiale en agissant sur les plans inclinés formés par les ailes.

de l'animal. La pression ondulée provient d'une part, surtout de la queue du poisson, de la baleine, du marsouin, etc., et de l'autre de l'aile de l'insecte, de la chauve-souris, de l'oiseau, — les *courbes réciproques et opposées* selon lesquelles la queue et les ailes se projettent en volant et en nageant, constituant les *hélices mobiles ou vis* qui, pendant leur action, produisent le degré précis de pression adapté au milieu fluide, et auquel elles répondent avec la plus grande exactitude.

Afin de prouver que les mammifères marins et les poissons nagent, que les insectes, les chauves-souris et les oiseaux volent, à l'aide de surfaces courbées en forme de 8, qui exercent une pression ondulée intermittente, j'ai construit des queues de poisson, des nageoires, des pattes palmées et des ailes artificielles, qui se courbent et s'effilent des divers côtés, et qui sont flexibles et élastiques, particulièrement vers les extrémités des doigts et aux marges postérieures. Ces queues de poisson, nageoires, pattes palmées et ailes artificielles sont légèrement tordues sur elles-mêmes, et, quand elles appliquent à l'air ou à l'eau un coup de rame contourné en forme de 8, reproduisent assez curieusement dans la natation et le vol les surfaces courbes et les mouvements particuliers de réelles queues de poisson, nageoires, pattes palmées et ailes.

Des propulseurs formés sur le modèle de la queue de poisson et de l'aile sont, à mon avis, les plus efficaces que l'on puisse imaginer pour naviguer soit sur l'eau soit dans l'air. Pour opérer efficacement dans les fluides, c'est-à-dire dans des milieux flexibles, le propulseur lui-même doit flechir. J'en suis pleinement assuré par l'observation

et l'expérience. Les propulseurs employés aujourd'hui dans la navigation sont à mon avis doublement défectueux dans leur principe et dans leur application.

Les observations et les expériences rappelées dans le présent volume datent de 1864. En 1867, j'ai fait une conférence sur la Mécanique animale à l'Institution Royale de la Grande-Bretagne ¹. En juin de la même année (1867), j'ai lu un mémoire « sur le Mécanisme du vol » à la Société Linnéenne de Londres ; et en août 1870, j'ai communiqué un mémoire « sur la Physiologie des ailes » à la Société Royale d'Edimbourg ². Ces mémoires ont 200 pages in-quarto, et sont illustrés de 190 dessins originaux. Les conclusions auxquelles j'arrive, après une étude minutieuse des mouvements de la marche, de la natation, du vol sont brièvement exposées dans une lettre adressée à l'Académie des sciences de France en mars 1870. L'Académie m'a fait l'honneur de la publier en avril de la même année (1870) dans les Comptes-Rendus, p. 875. J'y réclame d'avoir le premier décrit et expliqué les points suivants :

Que les quadrupèdes marchent, les poissons nagent, les insectes, les chauves-souris, les oiseaux volent en faisant des mouvements en forme de 8.

Que les pieds palmés de l'ours marin, l'aile-nageoire du pingouin, et l'aile de l'insecte, de la chauve-souris et de l'oiseau, sont des vis *par leur structure* et ressemblent à une lame de l'hélice propulsive ordinaire.

¹ « Les divers modes de vol dans leurs rapports avec l'aéronautique ». *Revue des cours scientifiques*, 1^{re} série, tome IV, 21 septembre 1867, p. 673.

² « Sur les procédés mécaniques à l'aide desquels s'effectue le vol dans le règne animal ». *Transactions de la Société Linnéenne de Londres*, vol. xxvi.

Que ces organes sont des vis *par leurs fonctions*, par leurs torsions et leurs détorsions, et par leurs rotations dans le sens de leur longueur pendant qu'elles oscillent.

Qu'elles ont une action réciproque et renversent leurs plans plus ou moins complètement à chaque coup.

Que l'aile décrit une figure *en forme de 8* dans l'espace quand l'animal volant est artificiellement fixé.

Que l'aile, pendant que l'animal s'avance avec une grande vitesse dans une direction horizontale, décrit une courbe tantôt *bouclée*, tantôt *ondulée*, à cause de ce fait que le 8 de chiffre s'ouvre graduellement et se déroule à mesure que l'animal avance.

Que les ailes agissent à la manière d'un cerf-volant à la fois pendant leurs ascensions et leurs chutes.

Je fus amené à envoyer cette communication à l'Académie de France, en trouvant qu'à peu près deux ans après la publication de mes vues sur la courbe en 8, les mouvements bouclés et ondulés faits par les ailes, etc., le professeur E. J. Marey (Collège de France, Paris) avait publié une série de leçons dans lesquelles la forme particulière des mouvements en 8, d'abord décrits et figurés par moi, étaient présentés comme une nouvelle découverte. L'exactitude de cette affirmation sera suffisamment évidente quand je dirai que ma première conférence « sur les divers modes du vol dans ses rapports avec l'Aéronautique » fut publiée dans les procès-verbaux de l'Institution royale de la Grande-Bretagne, le 22 mars 1867, et traduite en français (Revue des cours scientifiques de la France et de l'Étranger) le 21 septembre 1867; tandis que la première leçon du professeur Marey « sur les Mouvements de l'aile de l'insecte » (Revue des cours scien-

tifiques de la France et de l'Étranger) ne parut que le 13 février 1869.

Le professeur Marey, dans une lettre adressée à l'Académie de France en réponse à la mienne, admet ma réclamation de priorité dans les termes suivants :

« J'ai constaté qu'effectivement M. Pettigrew a vu avant moi, et représenté dans son Mémoire, la forme en 8 du parcours de l'aile de l'insecte : que la méthode optique à laquelle j'avais recours est à peu près identique à la sienne..... Je m'empresse de satisfaire à cette demande légitime, et de laisser entièrement la priorité sur moi à M. Pettigrew, relativement à la question ainsi restreinte. » — (Comptes-Rendus, 16 mai 1870, p. 1093).

La théorie de la marche, de la natation, du vol en forme de 8, telle qu'elle fut originellement proposée dans les leçons, articles et mémoires ci-dessus, a été confirmée non-seulement par les recherches et les expériences du professeur Marey, mais aussi par celles de M. Senecal, M. de Fastes, M. Ciotti et autres. Son exactitude ne peut plus être mise en doute. Comme les limites de ce volume ne me permettront pas d'entrer dans les diverses dispositions par lesquelles la locomotion s'effectue dans le règne animal dans son ensemble, je ne décrirai que les mouvements qui expliquent d'une manière graduelle les diverses espèces de progression sur terre, dans et sur l'eau et dans l'air.

Je me propose d'abord d'analyser les mouvements naturels de marche, natation et vol, après quoi j'espère pouvoir montrer que certains de ces mouvements peuvent être reproduits artificiellement. La locomotion des animaux dépend d'adaptations mécaniques que l'on re-

trouve dans tous les animaux qui changent de milieu. Ces adaptations sont très-variées; mais sous quelque forme qu'elles apparaissent, ce sont en substance celles auxquelles nous avons recours quand nous voulons mouvoir artificiellement les corps. Ainsi en mécanique animale, nous avons à considérer les divers genres de leviers, la poulie, le centre de gravité, le poids spécifique, la résistance des solides, des demi-solides, des fluides, etc. Comme les lois qui régissent la locomotion des animaux sont essentiellement celles qui régissent le mouvement des corps en général, il est nécessaire de considérer brièvement en ce moment, les propriétés de la matière à l'état de mouvement et de repos. Elles ont été très-bien établies par M. Bishop, dans une série de propositions que je prends la liberté de transcrire :

« *Axiomes fondamentaux.* — 1. Chaque corps persiste dans l'état de repos, ou de mouvement rectiligne et uniforme, jusqu'à ce qu'un changement soit effectué par l'action d'une force mécanique. 2. Tout changement effectué dans l'état de repos ou de mouvement d'un corps a lieu dans le sens de la force perturbante et est proportionnelle à son intensité. 3. La réaction est toujours égale et contraire à l'action, autrement dit, les actions mutuelles de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et dans des directions opposées.

Du mouvement uniforme. — Si un corps se meut constamment de la même manière ou s'il franchit des espaces égaux dans des temps égaux, son mouvement est uniforme. La vitesse d'un corps animé d'un mouvement uni-

forme est mesuré par l'espace parcouru dans un temps donné.

Les vitesses engendrées ou communiquées à diverses masses par la même force sont inversement proportionnelles à ces masses.

Du mouvement uniformément varié. — Quand le mouvement d'un corps est uniformément accéléré, l'espace parcouru pendant un temps quelconque est proportionnel au carré du temps.

Quand les animaux sautent, s'élancent, se précipitent dans une direction quelconque (excepté la verticale), les courbes qu'ils décrivent dans leur passage d'un point à un autre dans le plan de leur mouvement sont des paraboles.

Les jambes se meuvent par l'action de la pesanteur comme le pendule. — Le professeur Weber a démontré que quand les membres d'un animal se balancent d'arrière en avant pendant le mouvement de progression, ils obéissent aux mêmes lois qui régissent les oscillations périodiques du pendule.

Résistance des fluides. — Les animaux se mouvant dans l'air et l'eau, éprouvent dans ces milieux une résistance sensible qui est plus ou moins grande en proportion de la densité et de la tenacité du fluide, de la forme, de la surface et de la vitesse de l'animal.

Une recherche sur le total et la nature de la résistance de l'air et de l'eau à la progression des animaux nous fournira aussi des données pour estimer les valeurs proportionnelles de ces fluides agissant comme points d'appui

pour leurs organes locomoteurs, soit nageoires, soit ailes ou tout autre forme de levier.

Les mouvements de l'air et de l'eau et leurs directions exercent de très-importantes influences sur la vitesse résultant de l'action musculaire.

Effets mécaniques des fluides sur les animaux qui y sont plongés. — Quand un corps est plongé dans un fluide quelconque, il perd une portion de son poids égale au poids du fluide qu'il déplace. Pour s'assurer si un animal s'enfoncera ou nagera, ou sera soutenu sans aide de la force musculaire, ou pour estimer la quantité de force requise pour que l'animal puisse plonger ou flotter dans l'eau, ou voler dans l'air, il faut avoir recours aux poids spécifiques à la fois de l'animal et du fluide dans lequel il est placé.

Les poids spécifiques ou poids comparatifs de différentes substances sont les poids respectifs de volumes égaux de ces substances.

Centre de gravité. — Le centre de gravité d'un corps est le point autour duquel, si la force de la pesanteur agissait seule, il se contrebalancerait dans toutes les positions; ou c'est un point tel que s'il était soutenu, le corps serait soutenu quelle que fût d'ailleurs sa situation; il s'en suit que les effets produits et subis par un corps sont les mêmes que si toute sa masse était réunie en son centre de gravité.

Les attitudes et les mouvements de tout animal sont régis par la position de son centre de gravité, qui, dans l'état de repos, si aucune force étrangère n'agit, doit se

trouver sur les lignes verticales qui passent par la base de sustentation.

Chez la plupart des animaux qui se meuvent sur des solides, le centre est soutenu par des organes diversement disposés; pendant le vol des insectes et des oiseaux il est suspendu; mais chez les poissons qui se meuvent dans un liquide dont la densité est à peu près égale à leur poids spécifique, le centre subit des actions égales en tous sens ¹. »

Comme la locomotion des animaux les plus élevés, auxquels mes remarques s'appliquent plus particulièrement, est dans tous les cas effectuée par des leviers qui ne diffèrent en aucune façon de ceux employés dans l'industrie, il peut être utile d'en dire quelques mots en passant. Cela fait, je m'occuperai des os et des articulations du squelette qui forment les leviers et des muscles qui les font mouvoir.

« *Le levier*. — Les leviers sont communément divisés en trois genres selon les positions relatives du point d'appui, de la puissance et de la résistance ou poids. Les leviers rectilignes de chaque genre sont en équilibre quand la puissance multipliée par sa distance au point d'appui est égale au poids multiplié par sa distance; autrement dit, la puissance P et le poids W se font équilibre quand ils sont en raison inverse des bras du levier auxquels ils sont attachés. Cependant la pression sur le point d'appui varie.

Dans le levier rectiligne du premier genre, le point

¹ Encycl. d'Anatomie et de Physiologie, Art. « Mouvement » par M. John Bishop.

d'appui est entre la puissance et la résistance, comme dans la figure 1, où F est le point d'appui du levier AB; P, la puissance, et W le poids ou la résistance. Nous avons $P : W :: BF : AF$, d'où $P \cdot AF = W \cdot BF$, et la pression sur le point d'appui est la somme de la puissance et de la résistance ou $P + W$.

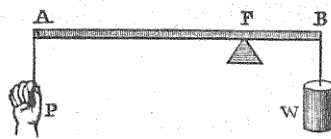


FIG. 1.

Dans le deuxième genre de leviers (fig. 2), la résistance est entre le point d'appui et la puissance; et comme précédemment $P : W :: BF : AF$, mais la pression sur le point d'appui est égale à $W - P$, ou le poids moins la puissance.

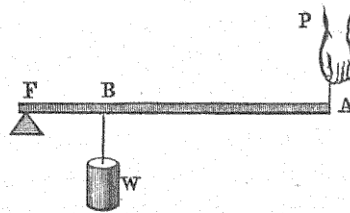


FIG. 2.

Dans le troisième genre de leviers la puissance agit entre le point d'appui et la résistance (fig. 3), où l'on a aussi $P : W :: BF : AF$, et la pression sur le point d'appui est $P - W$ ou la puissance moins le poids.

Dans les calculs précédents, le poids du levier lui-même est négligé pour plus de simplicité, mais il forme évidem-

ment une partie des éléments à considérer, spécialement quand il s'agit des bras et des jambes des animaux.

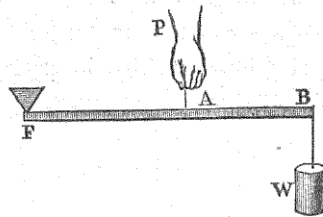


FIG. 3.

Pour introduire le poids du levier, nous avons les équations : $P \cdot AF + \overline{AF} \cdot \frac{1}{2} AF = W \cdot BF + \overline{BF} \cdot \frac{1}{2} BF$; dans le premier genre, où \overline{AF} et \overline{BF} représentent les poids respectifs de ces portions du levier. De même dans le deuxième genre, $P \cdot AF = W \cdot BF + \overline{AF} \cdot \frac{AF}{2}$, et dans le troisième genre $P \cdot AF = W \cdot BF + \overline{BF} \cdot \frac{BF}{2}$.

Dans cette esquisse de la théorie du levier, les forces ont été considérées comme agissant verticalement, ou parallèlement à l'action de la gravité.

Organes passifs de locomotion. Os. — La charpente solide du squelette des animaux qui soutient et protège leurs tissus plus délicats, qu'elle soit chimiquement composée de chytine, de carbonate ou de phosphate de chaux; qu'elle soit placée intérieurement ou extérieurement, ou quelles que soient sa forme et ses dimensions, présente des leviers et des points d'appui pour l'action du système musculaire, chez tous les animaux soutenus par des solides terreux, et possédant la puissance locomotrice. ¹ »

¹ Bishop, *op. cit.*

Les leviers et les points d'appui se voient très-bien dans les extrémités du cerf, dont on a choisi le squelette à cause de son extrême élégance.

Tandis que les os des animaux forment des leviers et des points d'appui pour les parties du système musculaire, il ne faut jamais oublier que la terre, l'eau et l'air sont

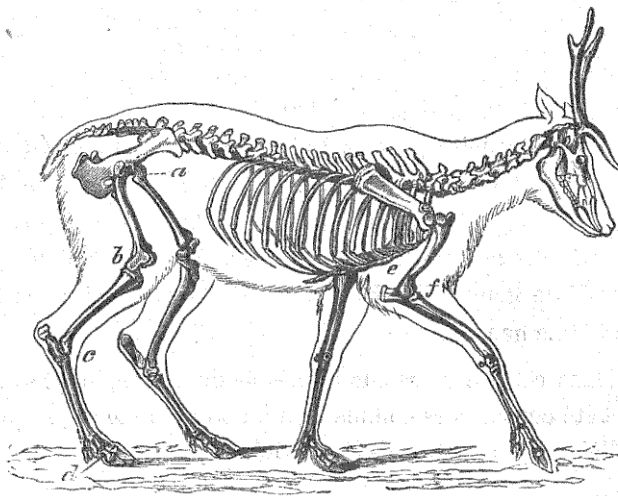


FIG. 4. — Squelette de cerf (d'après Pander et D'Alton). Les os chez ce quadrupède, le plus agile de tous, sont inclinés très-obliquement l'un vers l'autre, et vers les os scapulaires et iliaques. Cette disposition augmente l'action du système musculaire, et procure une grande rapidité aux parties mobiles. Il accroît l'élasticité, diminue les chocs, et contribue indirectement à la continuité du mouvement. A. Angle formé par le fémur et l'ilium. B. Angle formé par le tibia et le péroné, avec le fémur. C. Angle formé par le tarse avec le tibia et le péroné. D. Angle formé par les phalanges avec le tarse. E. Angle formé par l'humérus avec l'omoplate. F. Angle formé par le radius et le cubitus avec l'humérus.

les points d'appui des surfaces motrices de l'animal tout entier. Il faut donc toujours considérer deux groupes de points d'appui, c'est-à-dire ceux qui sont représentés par les os, et ceux qui sont respectivement représentés par la

terre, l'eau ou l'air. Les premiers, quand les muscles agissent sur eux, produisent dans les diverses parties de l'animal un mouvement (pas nécessairement de progression); les derniers quand ils sont influencés de même produisent la locomotion. La locomotion est grandement favorisée par la tendance que possède le corps une fois mis en mouvement à avancer en ligne droite. La forme, la force, la densité et l'élasticité du squelette varient en raison du volume, du pouvoir locomoteur de l'animal, et des milieux dans lesquels il est destiné à se mouvoir.

« Le nombre des articulations mobiles d'un squelette détermine le degré de sa mobilité intrinsèque; et le genre et le nombre des articulations de ses organes locomoteurs déterminent le nombre et la disposition des muscles agissant sur eux.

Les muscles des animaux vertébrés, spécialement ceux qui sont entièrement terrestres, sont beaucoup plus élastiques, plus durs que ceux des vertébrés aquatiques, et ont une composition chimique qui leur permet de subir les chocs et les efforts qui se produisent dans la progression terrestre; les os de ces derniers sont plus fibreux et plus spongieux dans leur texture, leur squelette est plus mou et plus flexible.

Les os des animaux des ordres les plus élevés sont construits selon les meilleurs principes mécaniques. Ainsi ils sont convexes extérieurement, concaves intérieurement et renforcés par des crêtes traversant leur disque, comme dans les os iliaques et les omoplates; disposition qui offre de larges surfaces pour l'attache des puissants muscles de locomotion. Les os des oiseaux, dans bien des cas, ne sont pas remplis de moelle, mais d'air, — circons-

tance qui leur assure une grande force et une grande légèreté.

Dans les os des cuisses de la plupart des animaux, la tête et le col de l'os forment un angle avec l'axe du corps, ce qui empêche le poids de la partie supérieure de presser verticalement sur le tube, convertit l'os en une arche élastique et la rend capable de supporter le poids du corps dans la station, le saut, et dans la chute d'une hauteur considérable.

Articulations. — Quand les membres sont simplement destinés à se mouvoir en avant et en arrière dans un même plan, la ginglyme ou articulation en charnière est appliquée ; mais quand des mouvements plus étendus sont requis l'articulation enarthrodiale, ou en boule et emboiture, s'introduit. Ces deux sortes d'articulation prédominent dans les organes locomoteurs de tout le règne animal.

L'articulation enarthrodiale a la mobilité de beaucoup la plus étendue, et sert par conséquent à unir les membres au tronc. Elle permet les nombreux mouvements des membres, appelés pronation, supination, flexion, extension, abduction, adduction, et révolution sur l'axe du membre ou de l'os suivant une surface conique dont le sommet est à la tête de l'axe de l'os, et la base décrite par l'autre extrémité du membre¹. »

Les articulations en ginglymes ou en charnières sont pour la plupart d'une nature spirale. Elles admettent dans certains cas un degré limité de déplacement latéral. Une grande attention a été donnée à l'étude des arti-

¹ Bishop, op. cit.

culations (particulièrement à celles de l'homme) par les frères Weber, le professeur Meyer de Zurich, et également par Langer, Henke, Meissner et Goodsir. Langer, Henke et Meissner ont réussi à démontrer la « configuration hélicoïdale » des surfaces articulaires du coude, de la cheville, de l'articulation calcanéo-astragaloïde, et Goodsir a montré que la surface articulaire du genou consiste en « une combinaison d'une double vis conique. » Ce dernier observateur a aussi exprimé sa croyance que des combinaisons articulaires à sinuosités opposées sur les côtés opposés du corps, semblables à celle du genou, existent dans les articulations de la cheville et du tarse, et du coude et du carpe, et que les articulations de la hanche et de l'épaule se composent de couples à simple filet, mais ayant aussi des sinuosités opposées sur les côtés opposés du corps. » J'ai réussi à démontrer une semblable configuration en spirale dans les divers os et articulations de l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau et dans les extrémités de la plupart des quadrupèdes. Les os des animaux, particulièrement les extrémités, sont, règle générale, des leviers tordus et agissant à la manière de vis. Cette disposition permet aux animaux d'appliquer leurs surfaces motrices aux milieux sur lesquels ils sont destinés à opérer, avec tous les degrés d'inclinaison voulue pour obtenir le maximum de propulsion avec le minimum de glissement latéral. Si les surfaces motrices de l'animal ne formaient pas des vis comme structure et comme fonction, elles ne pourraient ni saisir ni abandonner les points d'appui sur lesquels elles agissent, avec la rapidité requise pour assurer la vitesse, particulièrement dans l'eau et l'air.

« *Ligaments.* — L'office des ligaments par rapport à la locomotion est de restreindre dans des limites définies le degré de flexion, d'extension et des autres mouvements des membres.

Effet de la pression atmosphérique sur les membres.

— L'influence de la pression atmosphérique sur la suspension des membres fut remarquée pour la première fois par le D^r Arnott, quoique cette découverte ait été attribuée par erreur à Weber par le professeur Müller. Des expériences subséquentes faites par le D^r Todd, M. Wormald et d'autres, ont pleinement établi l'influence mécanique de l'air pour le maintien en contact des parties de l'articulation. Le montant de la pression atmosphérique sur les jointures dépend de la surface présentée à son influence et de la hauteur barométrique. Suivant Weber, la pression atmosphérique sur l'articulation de la hanche est d'environ 26 livres. La pression sur la jointure du genou est estimée par le D^r Arnott à 60 livres ¹.

Organes actifs de locomotion. Muscles et leurs propriétés, dispositions, modes d'action, etc. — Si le temps et l'espace me l'avaient permis, j'aurais considéré comme de mon devoir de décrire plus ou moins complètement les dispositions musculaires de tous les animaux dont je me propose d'analyser les mouvements. C'eût été d'autant plus désirable que les mouvements présentés par les animaux des types les plus élevés se rapportent directement aux changements produits dans leur système mus-

¹ Bishop, op. cit.

culaire. Comme, cependant, je ne pourrais espérer d'accomplir cette tâche dans les limites prescrites pour le présent volume, je me contenterai d'énoncer simplement les propriétés des muscles ; la manière dont ils agissent, et la manière selon laquelle ils sont groupés, en vue de mouvoir les leviers osseux qui forment la charpente ou squelette des animaux à considérer. Jusqu'à ce jour, et d'un commun consentement, on a cru que chaque fois qu'un muscle fléchisseur est situé sur un côté d'un membre, et son extenseur correspondant de l'autre côté, ces deux muscles doivent être opposés et antagonistes. Cette croyance est fondée sur ce que je regarde comme une présomption erronée, c'est-à-dire que les muscles n'ont que le pouvoir de raccourcir, et que quand un muscle, par exemple le fléchisseur, se raccourcit, il doit tirer et forcément allonger l'extenseur correspondant et inversement. Ce serait une simple perte de force. La nature ne travaille jamais contre elle-même. Il y a de bonnes raisons pour croire, comme je l'ai indiqué ailleurs ¹, qu'il n'y a rien de semblable à un antagonisme dans les mouvements musculaires ; les divers muscles connus comme fléchisseurs et extenseurs, abducteurs et adducteurs, pronateurs et supinateurs, étant simplement corrélatifs. Les muscles, quand ils agissent, opèrent sur les os ou quelque chose de différent d'eux-mêmes, et non les uns sur les autres. Les muscles se replient autour des extrémités et du tronc des animaux dans le but d'opérer en masses. Pour cela ils sont disposés en cycles, et c'est

¹ « Leçons sur la Physiologie de la circulation dans les plantes, les animaux inférieurs, et l'homme. » — Journal médical d'Edimbourg, janvier et février 1873.

ainsi que se forment les cycles extenseurs et fléchisseurs, les cycles abducteurs et adducteurs, les cycles pronateurs et supinateurs. C'est dans ces cycles musculaires que sont placés les os ou autres substances à mouvoir, et

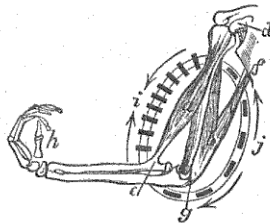


FIG. 5. — Elle montre le cycle musculaire formé par le biceps (a) ou muscle fléchisseur, et le triceps (b) ou muscle extenseur, du bras humain. On voit en *i* l'action centripète ou raccourcissante du biceps, et en *j* l'action centrifuge ou d'allongement du triceps (voyez les flèches). Cette figure représente l'avant-bras fléchi sur le bras. Comme conséquence les grands axes des éléments fibreux ou les dernières particules du biceps (*i*) sont dirigées plus ou moins horizontalement; les grands axes des éléments fibreux du triceps sont dans une direction à peu près verticale. Quand l'avant-bras est étendu, les grands axes des éléments fibreux du biceps et du triceps, sont dans une direction inverse. La figure montre comment les os des extrémités forment levier, et comment ils sont mus par l'action musculaire. Si, *e. g.*, le biceps (a) se raccourcit et le triceps (b) s'allonge, ils font que l'avant-bras et la main se rapprochent de l'épaule (*d*); si, au contraire, le triceps (b) se raccourcit, et le biceps (a) s'allonge, il arrive que l'avant-bras et la main s'éloignent de l'épaule. Dans les actions le biceps (a) et le triceps (b) sont la puissance, la jointure du coude le point d'appui, l'avant-bras et la main (*h*) le poids à élever ou à abaisser. Si la main représente une surface motrice opérant sur la terre, l'eau et l'air, il n'est pas difficile de comprendre comment, si elle est mise en mouvement par les muscles du bras, elle fera mouvoir à son tour le corps auquel elle appartient. *d* Apophyse coracoïde de l'omoplate, où s'insère la tête interne ou courte du biceps (a). Insertion du biceps dans le radius, *f* Longue tête du triceps (b). *g* Insertion du triceps sur l'apophyse olécrane du cubitus. — Originale.

quand un côté du cycle se raccourcit, l'autre s'allonge. Les muscles sont donc doués d'une action centripète et d'une action centrifuge. Ces cycles sont placés dans toute sorte d'obliquité et même à angles droits, l'un par rapport à l'autre, mais ils sont toujours disposés dans le

corps et les membres des animaux de telle sorte qu'ils agissent toujours avec accord et harmonie.

Il y a dans les animaux très-peu de mouvements simples, c'est-à-dire de mouvements ayant lieu dans un même plan, et produits par l'action de deux muscles. La locomotion est le plus souvent produite par l'action simultanée d'un grand nombre de muscles ; eux-mêmes ou leurs fibres poursuivant des directions différentes. Ceci est particulièrement vrai des mouvements des extrémités dans la marche, la natation et le vol.

Les muscles sont divisés en muscles volontaires, en involontaires et en mixtes, suivant que la volonté de l'animal peut entièrement, partiellement ou pas du tout contrôler leurs mouvements. Les muscles volontaires s'appliquent particulièrement à la locomotion des animaux. Ce sont les puissances qui meuvent les leviers des divers genres en lesquels se résout le squelette d'un animal.

Les mouvements des muscles volontaires et des involontaires sont d'une nature essentiellement ondulée, c'est-à-dire qu'ils émanent de certains centres suivant un ordre déterminé et vers des directions données. Dans les extrémités des animaux, l'onde musculaire centripète ou convergente sur un côté de l'os à mouvoir, est accompagnée par une onde centrifuge ou divergente sur l'autre côté, l'os ou les os étant par cette disposition parfaitement contrôlés et mus à l'épaisseur d'un cheveu près. L'onde centripète ou convergente, et l'onde centrifuge ou divergente sont, comme on l'a déjà dit, corrélatives ¹. De

¹ Les muscles possèdent un pouvoir de traction et de pulsion, le pouvoir de pulsion étant faible et obscurci par la flaccidité de la masse musculaire. Pour pousser effectivement, la substance poussante doit être plus ou moins rigide.

semblables remarques peuvent être faites sur les diverses parties du corps du serpent quand il rampe, du corps du poisson quand il nage, de l'aile de l'oiseau quand il vole, et de nos extrémités quand nous marchons. Dans tous les cas, les parties mobiles se déplacent suivant des courbes corrélatives d'une manière déterminée.

On peut largement dire que, dans tous les cas, la locomotion est le résultat de l'extension et de la compression des côtés opposés des cycles musculaires. Par la compression ou le raccourcissement, par exemple des côtés fléchisseurs des cycles, et l'extension ou l'allongement des côtés extenseurs, les angles formés par les leviers osseux sont diminués ; par le rapprochement ou le raccourcissement des côtés extenseurs des cycles, le développement ou l'allongement des côtés fléchisseurs, les angles formés par les leviers osseux sont accrus. Cette diminution et cette augmentation alternatives des angles formés par les leviers osseux produisent les mouvements de marche, de natation et de vol. Les cycles musculaires du tronc et des extrémités sont disposés par rapport aux os, de manière à produire dans chaque cas le résultat maximum avec le minimum d'effort. Les origines et les insertions des muscles, la direction des muscles et la distribution des fibres musculaires, assurent que si de la puissance se perd en mettant le levier en mouvement, de la vitesse se gagne, de manière qu'il y a une perte apparente mais jamais réelle. La variété et l'étendue des mouvements sont assurées par l'obliquité des fibres musculaires sur leurs tendons ; par l'obliquité des tendons sur les os qu'ils doivent mouvoir ; par la proximité de l'attache des muscles et des différentes articulations, comme

les muscles sont capables de s'allonger ou de se raccourcir d'environ un quart de leur longueur, ils produisent exactement le degré précis de mouvement requis dans chaque cas particulier ¹.

La force des muscles, suivant les expériences de Schwann, s'accroît avec leur longueur, et *vice versa*. C'est une curieuse circonstance, et digne de l'attention de ceux qui s'intéressent aux homologues, que les muscles volontaires des extrémités supérieures et inférieures, et plus particulièrement du tronc, soient disposés en lignes spirales longitudinales, transverses et obliques et en couches ou strates précisément comme dans le ventricule du cœur et en général les muscles creux ².

Si, en conséquence, j'élimine l'élément de l'os de ces diverses régions, je reproduis un muscle creux typique; et ce qui est encore plus remarquable, si je compare les os enlevés (par exemple les os de l'extrémité antérieure d'un quadrupède ou d'un oiseau), avec le moule obtenu par la cavité du muscle creux (par exemple le ventricule gauche du cœur du mammifère), je trouve que les os et

¹ Les muscles extenseurs l'emportent en masse et en poids sur les fléchisseurs mais on peut facilement se rendre compte de ce fait, parce que les extenseurs, quand les membres doivent être redressés, opèrent toujours avec un désavantage mécanique. Cela est dû à la forme des os, à la conformation des articulations, et à la position occupée par les extenseurs.

² « Sur la disposition des fibres musculaires dans les Ventricules du cœur des vertébrés, avec des remarques physiologiques, par l'auteur. — Transactions physiologiques, 1864.

Sur les dispositions musculaires de la Vessie et de la Prostate, et la manière dont se ferment les urètres et l'urètre, par l'auteur. — Transactions physiologiques, 1867.

Sur les Tuniques musculaires de l'Estomac, chez l'homme et les autres mammifères, par l'auteur. — Procès-verbaux de la Société Royale de Londres, 1867.

le moule sont tordus sur eux-mêmes, et forment d'élégantes vis dont les filets ou crêtes courent dans la même direction. Ceci nous donne la preuve que les muscles creux involontaires fournissent le type ou patron d'après lequel sont formés les muscles volontaires. La figure 6



FIG. 6. — Aile de l'oiseau. Elle montre comment les os du bras (*a*), de l'avant-bras (*b*) et de la main (*c*) sont tordus et forment une vis conique. Comparez aux figures 7 et 8. — *Originale*.



FIG. 7.



FIG. 8.

FIG. 7. — Extrémité antérieure de l'éléphant. Elle montre comment les os du bras (*q*), de l'avant-bras (*q'*) et du pied (*o*) sont tordus pour former une vis osseuse. Comparez aux fig. 6 et 8. — *Originale*.

FIG. 8. — Moule de l'intérieur du ventricule gauche du cœur du cerf. Il montre que la cavité ventriculaire gauche est conique et spirale de sa nature; *a*, portion de la cavité ventriculaire droite; *b*, base de la cavité ventriculaire droite; *x*, *y*, sillons spiraux occupés par les muscles spiraux, *musculi papillares*; *j*, crêtes spirales courant entre les *musculi papillares*. Comparez aux fig. 6 et 7. — *Originale*.

représente les os de l'aile de l'oiseau; la fig. 7 les os de l'extrémité antérieure de l'éléphant; et la fig. 8 le moule antérieur de la cavité du ventricule gauche du cerf.

On a l'habitude presque invariable dans l'enseignement de l'anatomie et des parties de la physiologie relatives

aux mouvements des animaux, d'insister avec force sur la configuration détaillée du squelette osseux et en particulier sur la configuration de ses diverses surfaces articulaires. Cela est très-naturel, car le système osseux résiste à l'usure et aux ravages du temps pendant que ce qui l'entoure se détruit en grande partie. C'est le lien qui unit les espèces éteintes et les vivantes, et nous vénérons et aimons naturellement ce qui est durable. Il n'est pas étonnant que Oken, Goethe, Owen et d'autres aient essayé de si splendides généralisations à propos du système osseux, aient prouvé avec tant de puissance que la tête est une vertèbre élargie. Le squelette osseux est un miracle de composition, merveilleux et splendide à sa façon. Mais quand tout a été dit, le fait reste que le squelette, quand il existe, ne forme qu'un accessoire de la locomotion et du mouvement en général. Tous les mouvements réellement essentiels d'un animal ont lieu dans les parties molles. On doit donc regarder le système osseux comme d'une importance inférieure à celle du musculaire, duquel il peut être considéré comme une différence. Au lieu de regarder les muscles comme adaptés aux os, il faut regarder les os comme adaptés aux muscles. Les os n'ont le pouvoir ni de créer ni de continuer le mouvement. Celui-ci commence et se termine dans les muscles. Il ne faut pas non plus perdre de vue que l'os ne fait apparition que comparativement tard dans l'échelle des êtres ; qu'il existe d'innombrables créatures dans lesquelles on ne peut trouver de trace de squelette ni interne ni externe ; que ces créatures circulent librement, digèrent, font circuler leurs liquides nourriciers, leur sang quand ils en ont, se multiplient et accomplissent toutes les

fonctions de la vie. Tandis que le squelette ne se trouve que dans une certaine proportion des animaux existant sur notre globe, on rencontre chez tous les parties molles; et cela me semble une raison bien suffisante pour attacher une grande importance aux mouvements des parties molles, telles que le protoplasme, les masses gélatineuses, les muscles volontaires ou involontaires, etc¹. Comme les muscles des vertébrés sont exactement appliqués les uns contre les autres, et contre les os, et que ceux-ci sont rigides, ne cèdent pas et sont incapables de mouvement, il s'en suit que le système osseux agit en trouant et en limitant le système musculaire; — de là vient la division arbitraire des muscles en extenseurs et fléchisseurs, pronateurs et supinateurs, et abducteurs et adducteurs. Cette division, quoique utile, est propre à induire en erreur. L'animal le mieux organisé ne doit, à proprement parler, être regardé que comme une masse vivante dont les parties (dures, molles et autres) sont exactement adaptées les unes aux autres, chaque partie étant scrupuleusement réciproque, et rendant difficile de déterminer où commence et où finit le mouvement. La fig. 9 montre la plus superficielle des masses musculaires qui meuvent les os ou leviers solides du cheval, dans la marche, le trot, le galop, etc. Un examen attentif de ces masses charnues ou muscles montrera qu'elles courent longitudinalement, transversalement et obliquement, les muscles longitudinaux et les muscles transverses se croisant à peu près à angles droits, les obliques

¹ Leçons « sur la physiologie de la Circulation des plantes dans les animaux inférieurs et dans l'homme », par J. Bell Pettigrew. — Journal médical d'Edimbourg, septembre 1872.

tendant à se croiser suivant des angles variables comme dans la lettre X. Les croisements sont les plus nombreux dans les muscles profonds.

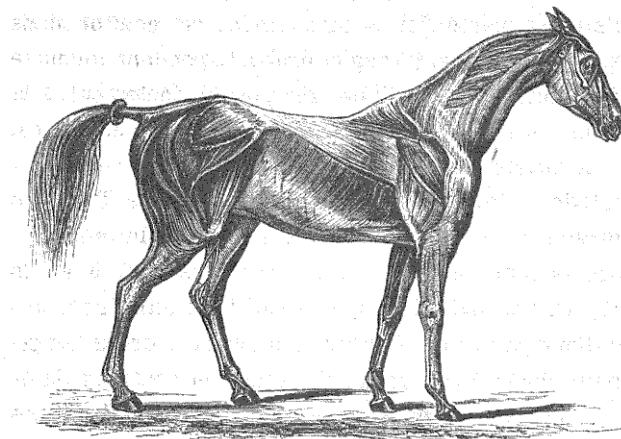


Fig. 9. — Muscles superficiels du cheval (d'après Bagg).

Afin de comprendre la torsion qui se présente en plus ou moins grande étendue dans le corps et les extrémités de tous les animaux vertébrés, il est nécessaire de réduire les systèmes osseux et musculaires à leur plus simple expression. Si le mouvement doit avoir lieu dans une direction dorsale, ventrale ou latérale seulement, un groupe de muscles longitudinaux dorsaux et ventraux, ou latéraux gauches et droits, agissant sur des os droits articulés par une énarthrose ordinaire, devra suffire. Dans ce cas les muscles dorsaux, ventraux et latéraux gauches et droits forment des *cycles musculaires*; la contraction ou le raccourcissement de l'un des côtés du cycle

étant accompagnée par le relâchement ou l'allongement de l'autre, les os et les articulations formant comme les diamètres des cercles et oscillant en avant, en arrière ou latéralement, suivant le degré et la direction des mouvements musculaires. Ici le mouvement est confiné dans deux plans se coupant à angles droits. Cependant, quand le système musculaire se différencie plus distinctement, à la fois sous les rapports du nombre des muscles employés, et de la variété des directions qu'ils suivent, les os et les articulations deviennent aussi plus compliqués. Dans ces circonstances, les os, comme règle, sont tordus sur eux-mêmes, et leurs surfaces articulaires présentent à divers degrés des formes spirales pour satisfaire aux demandes du système musculaire. Entre les muscles droits longitudinaux disposés en groupes dorsaux et ventraux, latéraux gauches et droits, et ceux qui courent dans une direction plus ou moins transverse, et entre les simples articulations où le mouvement est limité à un seul plan et l'articulation en boule et emboîture dont les mouvements sont universels, on peut donc trouver tous les degrés d'obliquité dans la direction des muscles et toute modification possible des surfaces articulaires. Chez le poisson les muscles sont pour la plupart disposés en groupes dorsaux, ventraux et latéraux qui s'étendent longitudinalement; et comme résultat, les mouvements du tronc, particulièrement vers la queue, se font d'un côté à l'autre et sont sinueux. Mais comme il y a également des muscles obliques, et comme les tendons des muscles longitudinaux, en quelques cas, se croisent obliquement vers la queue, le poisson peut aussi incliner et tordre le tronc, particulièrement la moitié inférieure, aussi bien que la

nageoire caudale. Dans un maquereau que j'ai examiné les muscles obliques étaient représentés par les quatre masses latérales s'étendant entre les muscles longitudinaux dorsaux, ventraux et latéraux, deux d'entre elles se trouvant de chaque côté du poisson, et correspondant au myocommas ou « *grand muscle latéral* » de Cuvier. Le système musculaire du poisson semblerait donc disposé suivant un quadruple plan, — puisqu'il y a quatre groupes de muscles longitudinaux et un nombre correspondant de muscles plus ou moins obliques, ceux-ci étant d'une nature spirale, et tendant à se croiser ou à se couper suivant des angles variables, une arête de l'intersection donnant, me paraît-il, naissance au myocommas et à cet arrangement concentrique de leurs parties constituantes si évident sur une section transverse. Cette tendance des fibres musculaires à se croiser à divers degrés d'obliquité peut aussi se reconnaître dans plusieurs parties du corps humain, par exemple dans le muscle deltoïde du bras et les muscles profonds de la jambe. De nombreux exemples de muscles penniformes peuvent être cités. Quoique les fibres du myocommas aient une direction plus ou moins longitudinale, les myocommas eux-mêmes suivent un parcours spiral oblique de devant en arrière et de dedans en dehors, c'est-à-dire de l'épine vers la périphérie, où ils reçoivent des fibres légèrement obliques des muscles longitudinaux, dorsaux, ventraux et latéraux. Comme les myocommas spiraux obliques, et les fibres obliques partant des muscles longitudinaux agissent directement sur les saillies et les vertèbres elles-mêmes auxquelles elles appartiennent spécialement, comme les deux groupes de fibres obliques sont engrenés par interdigitation avec le

groupe quadruple des muscles longitudinaux, les mouvements latéraux, sinueux et rotatoires du corps et de la queue du poisson se comprennent aisément. La colonne vertébrale du poisson facilite les mouvements de torsion latérale et sinueuse de la queue et du tronc, par ce fait que les vertèbres qui le composent sont unies les unes aux autres par une série d'articulations universelles modifiées, — les vertèbres présentant la dépression concave ou emboîture, la substance intervertébrale la proéminence ou boule.

On peut en dire autant de l'arrangement général des muscles du tronc et de la queue des cétacés, les principaux muscles dans ce cas étant distribués non sur les côtés mais sur les faces dorsale et ventrale. Le coup de queue de la baleine se donne en conséquence de haut en bas ou verticalement et non d'un côté à l'autre. La colonne vertébrale est articulée comme chez le poisson, avec cette différence que les vertèbres spécialement vers la queue forment les proéminences arrondies ou boules, les ménisques ou pièces concaves intervertébrales, les réceptacles ou emboîtures.

Quand il y a des membres, on peut regarder l'épine comme idéalement divisée, les mouvements, spiraux dans ces circonstances, se transmettant aux extrémités par des articulations typiques en boule et bassinets se trouvant à l'épaule et au ventre. C'est particulièrement le cas du phoque où les mouvements spiraux sinueux de l'épine se transmettent directement aux extrémités postérieures¹.

Les extrémités, quand il y en a, sont munies de leurs

¹ Les facultés remarquables possédées par les serpents rendent probable que les mouvements des extrémités émanent originaire-

propres cycles musculaires, extenseur et fléchisseur, abducteur et adducteur, pronateur et supinateur, — ceux-ci s'étendant longitudinalement et à divers degrés d'obliquité, et enveloppant les parties dures suivant leur direction — les os étant tordus sur eux-mêmes et fournissant les surfaces articulaires qui réfléchissent les mouvements des cycles musculaires soit que ceux-ci courent en droites lignes antérieurement, postérieurement ou latéralement, ou en lignes obliques dans des situations intermédiaires. Les muscles droits et obliques sont principalement mis en jeu dans les mouvements des extrémités des quadrupèdes, bipèdes, etc., pendant la marche; dans les mouvements de la queue et des nageoires des poissons, des baleines, etc., pendant la natation; et dans les mouvements des ailes des insectes, chauves-souris et oiseaux pendant le vol. Les muscles obliques et droits se rencontrent ordinairement ensemble et coopèrent à la production des mouvements en question; le total de la rotation dans une partie croissant avec la prépondérance des muscles obliques. La combinaison des articulations en boule et emboîture et en charnière avec leurs cycles musculaires concomitants obliques et longitudinaux (les dernières se trouvant dans les formes les plus parfaites où

ment de l'épine dorsale. « Il est vrai, » écrit le professeur Owen (op. cit., p. 261), « que le serpent n'a pas de membres; il peut cependant grimper plus vite que le singe, dépasser le poisson à la nage, sauter plus loin que la gerboise, et en déroulant tout d'un coup les anneaux serrés de sa spirale rampante, il peut sauter en l'air et saisir les oiseaux au vol. »... « Le serpent n'a ni mains ni serres, il peut cependant vaincre l'athlète, et écraser le tigre en l'embrassant de ses formidables replis. » Les avantages particuliers qui accompagnent la possession des extrémités se présentent, à mon avis, sous une forme inachevée ou latente dans le tronc du reptile.

les extrémités sont unies au tronc, les dernières dans les extrémités elles-mêmes) permettent à l'animal de présenter, quand il est nécessaire, une surface résistante étendue pendant un instant, et une surface grandement diminuée et comparativement non résistante pendant le suivant. Cette disposition assure la rapidité et l'élégance du mouvement demandé pour les divers milieux aux diverses phases de la progression.

Les surfaces motrices des animaux modifiées et adaptées aux milieux sur ou dans lesquels ils se meuvent. — Chez les animaux terrestres qui vont occasionnellement



FIG. 10.

FIG. 11.

FIG. 12.

FIG. 13.

FIG. 14.

FIG. 10. — Forme extrême de pied comprimé, tel qu'on le voit dans le cerf, le bœuf, etc., spécialement propre à la locomotion terrestre. — *Originale.*

FIG. 11. — Forme extrême du pied élargi, tel qu'on le voit dans l'*Ornithorhynque*, etc., plus particulièrement propre à la natation. — *Originale.*

FIG. 12 et 13. — Forme intermédiaire de pied tel qu'on le voit dans la loutre (fig. 12), la grenouille (fig. 13), etc. Ici le pied peut également servir dans l'eau et hors de l'eau. — *Originale.*

FIG. 14. — Pied de Phoque qui s'ouvre et se forme dans l'acte de la natation, l'organe se repliant sur lui-même pendant le coup inefficace ou de retour, et se développant pendant le coup efficace ou en arrière. Le Phoque tire, en nageant, grand avantage de cette disposition, cet animal tournant sur son grand axe, de manière à présenter la partie la plus faible du corps et des pieds obliquement à l'eau pendant le coup de retour, et le plat ou la plus grande surface utile de tous deux, pendant le coup effectif ou de l'avant. — *Originale.*

dans l'eau, les pieds, règle générale, sont munis d'expansions membraneuses s'étendant entre les doigts. Parmi eux

on peut citer la Loutre (fig. 12), l'Ornithorhynque (fig. 11), le Phoque (fig. 14), le Crocodile, l'Ours marin (fig. 37, p. 105), le Morse, la Grenouille (fig. 13) et le Triton. Le Crocodile et le Triton ont en plus de l'expansion membraneuse s'étendant entre les doigts une puissante queue en forme de rame qui ajoute matériellement à la surface engagée dans la natation. Tous ces animaux marchent péniblement, et il arrive souvent que quand les extrémités sont modifiées pour agir sur deux milieux essentiellement différents (comme, par exemple, la terre et l'eau) le maximum de vitesse n'est atteint dans aucun. C'est pour cette raison que les animaux qui nagent le mieux, marchent en général avec le plus de difficultés, et *vice versa*, comme l'attestent amplement les mouvements du pingouin et du phoque dans l'eau et hors de l'eau.

Outre ces animaux terrestres qui courent et nagent, il y en a qui se précipitent, comme des parachutes, d'immenses hauteurs, et même d'autres qui volent. Chez eux, les expansions membraneuses sont grandement accrues, le soutien nécessaire étant fourni par les côtes chez le Dragon ou Lézard-volant (fig. 15), par les extrémités antérieures et la queue chez le Maquis-volant (fig. 16, p. 50) et la chauve-souris (fig. 17, p. 51).

Quoiqu'on ne connaisse plus de lézards capables de voler, on ne peut douter que les Ptérodactyles éteints (qui, selon le professeur Huxley, sont intermédiaires entre les lézards et les crocodiles) aient possédé ce pouvoir. La Chauve-souris est intéressante comme étant actuellement le seul animal mammifère pourvu d'ailes suffisamment

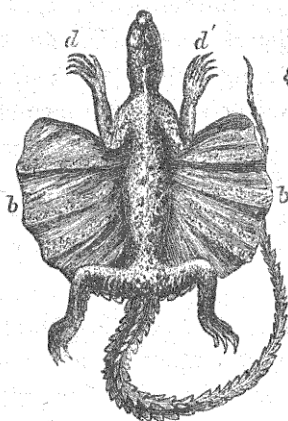


FIG. 15.

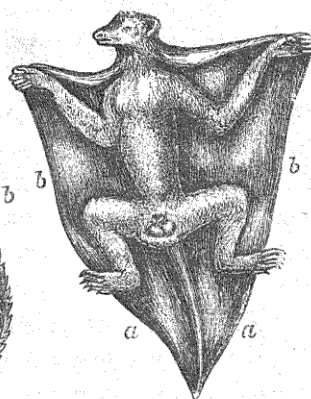


FIG. 16.

FIG. 15 — Le dragon à gorge rouge (*Draco haematopogon*, Gray) présente de larges expansions membraneuses (*bb*) situées entre les extrémités antérieures (*dd*) et postérieures, et supportées par les côtes. Le dragon, grâce à cette disposition, peut faire des sauts étendus avec une parfaite sécurité. — *Originale*.

FIG. 16. — Le Maquis-volant (*Galeopithecus volans*, Shaw). — Dans le Maquis-volant, l'expansion membraneuse (*a b*) est plus étendue que dans le Dragon volant. Elle est soutenue par le cou, le dos et la queue, et par les extrémités antérieures et postérieures. Le Maquis-volant fait des sauts énormes, ses tunique membraneuses ne lui permettant pas complètement de voler. La chauve-souris, *Phyllorhina gracilis* (FIG. 17) vole avec un très-faible accroissement de surface. La surface développée par la chauve-souris, excède celle que développent beaucoup d'insectes et d'oiseaux. Les ailes de la chauve-souris sont profondément concaves et ressemblent ainsi aux ailes des scarabées et des animaux à corps lourd et courtes ailes. Les os du bras (*r*), de l'avant-bras (*d*) et de la main *n, n, n* de la chauve-souris (FIG. 17) soutiennent la marge antérieure ou épaisse et l'extrémité de l'aile, et peuvent être comparées non sans raison aux nervures dans des positions correspondantes de l'aile du scarabée. — *Originale*.

larges pour lui permettre de voler ¹. Elle présente un exemple extrême des modifications faites dans un but spé-

¹ La chauve-souris vampire de l'île de Bonin, peut, selon le Dr. Buckland, également nager; et cet auteur pensait que le Ptérodactyle jouissait des mêmes avantages. — Eng. cycl., vol. IV, p. 495.

cial — son corps aminci, à la partie postérieure rapetissée, ses extrémités antérieures excessivement allongées, avec leurs énormes doigts et leurs membranes étendues, tout à fait impropres à la progression terrestre. Cela est instructif, en montrant que le vol peut être atteint sans l'aide d'os creux et de sacs à air, par des efforts musculaires, et simplement par la diminution et l'accroissement d'une membrane continue.

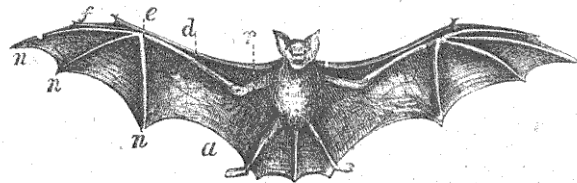


FIG. 17. — La chauve-souris (*Phyllorhina gracilis*, Péters). Ici les surfaces motrices (*r d e f, a n n*) se sont énormément accrues comparativement à celles des animaux terrestres et aquatiques en général. Comparez aux figures de 10 à 14, p. 48. *r* Bras de la chauve-souris; *d*, Avant-bras; *e f n n* main de la chauve-souris. — Originale.

De même que le lézard-volant, le maquis-volant et la chauve-souris (fig. 15, 16 et 17), unissent la progression terrestre à la progression aérienne, de même le macareux, le pingouin (fig. 46, p. 126), le poisson-volant (fig. 51, p. 135), possèdent à la fois la progression dans l'eau et dans l'air. Les surfaces motrices de ces créatures anormales transforment l'un dans l'autre les mouvements qui conviennent aux trois grands chemins de la nature, et servent de pont aux abîmes qui séparent naturellement les locomotions sur la terre, dans l'eau et dans l'air.

LIVRE II

LA PROGRESSION SUR LA TERRE

Marche du quadrupède, bipède, etc. — Comme le sol en raison de sa solidité supporte toute pression à laquelle il peut être soumis, la forme, la dimension, et le poids des animaux destinés à parcourir sa surface n'ont que peu ou pas d'importance. Comme, de plus, la surface foulée aux pieds est rigide et inflexible, les extrémités des quadrupèdes sont, règle générale, terminées par de petits pieds. La fig. 18 contraste avec la fig. 17.

En cela il y a un double objet : la surface limitée présentée au sol apporte à l'animal une résistance et un appui suffisants, et lui permet de dégager ses pieds avec la plus grande facilité ; car c'est une condition de rapidité pour la progression terrestre que les points présentés à la terre soient peu nombreux et limités en étendue, ce qui rapproche les pieds de l'animal de la roue en mécanique, où la surface en contact avec le plan de progression est

réduite au minimum. Quand la surface présentée à un milieu dense et résistant s'accroît, la vitesse est diminuée, comme on le voit par les mouvements lents du mollusque, de la chenille, de l'orvet, et aussi quoique dans une moindre étendue, chez les serpents dont quelques-uns se meuvent avec une considérable célérité. Chez le Gecko, et

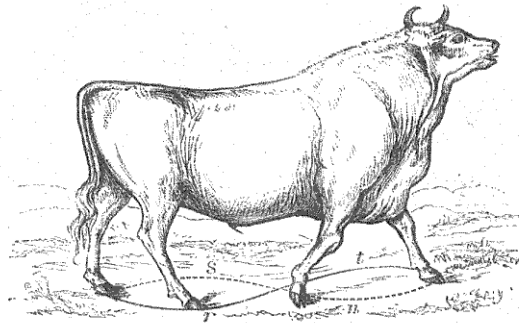


FIG. 18. — Bœuf ehillingham (*Bos scoticus*). Il présente un corps lourd, puissant, et les petites extrémités propres à la locomotion terrestre. On voit aussi la forme en 8 des mouvements faits par les pieds et les membres en marchant et en courant. *u t*, Courbes faites par les extrémités antérieures gauche et droite. *r s* Courbes décrites par les extrémités postérieures gauche et droite. Le pied de devant et le pied gauche de derrière se meuvent ensemble pour former la ligne ondulée (*s, u*). Le pied gauche de devant et le pied droit de derrière se meuvent ensemble pour former la ligne ondulée (*r, t*), les courbes formées par les extrémités antérieures (*t, u*) et les postérieures (*r, s*) forment des ellipses. Comparez à la fig. 19, p. 56 — *Originale*.

chez la mouche commune, on sait que les surfaces motrices sont munies de disques aspirants qui permettent à ces êtres de marcher, s'il le faut, dans une position renversée; et « les rainettes (*Hyla*) ont un disque concave à l'extrémité de chaque doigt pour grimper et adhérer à l'écorce et aux feuilles des arbres. Des crapauds d'autre part peuvent à l'aide de tubercules ou d'excroissances particulières de la paume ou de la plante des pieds, grimper sur

de vieux murs ¹. » Une disposition semblable mais plus compliquée se rencontre dans les bras de la seiche.

Les mouvements des extrémités chez les animaux terrestres varient considérablement.

Le Kangaroo et la Gerboise ² ne se servent que des extrémités postérieures, ces animaux avançant *per saltum*, c'est-à-dire par une série de sauts ³.

Le cerf bondit aussi en l'air dans ses mouvements lents; dans ses plus rapides il galope comme un cheval, ainsi qu'il est expliqué aux pages 57 à 65. Les extrémités postérieures du Kangaroo sont développées à l'excès dans le cheval, le lapin ⁴, l'agouti, et le cochon d'Inde. Comme conséquence ces animaux descendent difficilement les pentes. Ils sont plus propres aux terrains légèrement ascendants. Chez la girafe, les extrémités antérieures sont plus longues et plus puissantes, comparativement, que les postérieures, ce qui est juste le contraire de ce qu'on rencontre dans le Kangaroo.

Chez la girafe, les jambes des côtés opposés se meuvent ensemble et alternent, tandis que chez la plupart des quadrupèdes, les extrémités se meuvent en diagonale,

¹ Anat. et Phys. comp. des Vertébrés par le Professeur Owen, vol. I, p. 233, 263, Londres, 1866.

² Quand la gerboise est poursuivie, elle peut franchir en sautant une distance de neuf pieds, et répéter les sauts avec tant de rapidité qu'elle ne peut être atteinte même par un cheval agile. La grenouille-taureau, animal beaucoup plus petit, peut, quand elle est serrée de près, faire des bonds de six à huit pieds, et franchir une clôture de cinq pieds de haut.

³ La longue et puissante queue du Kangaroo l'aide à se maintenir en équilibre avant le saut; les extrémités postérieures et la queue forment un véritable trépied.

⁴ Le lapin fait parfois plusieurs petits pas avec les pattes de devant et un grand avec les pattes de derrière: de sorte qu'il marche avec les pattes de devant et saute avec celles de derrière.

— remarque également vraie pour nous-mêmes, quand nous marchons ou nous patinons, la jambe droite et le bras gauche avançant ensemble et alternant avec la jambe gauche et le bras droit (fig. 19).

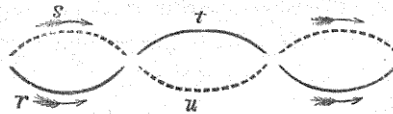


Fig. 19. — Diagramme montrant la figure en 8 ou la courbe doublement ondulée décrite par le mouvement alternatif des extrémités de l'homme, pendant la marche et la course, la jambe droite (*r*) et le bras gauche (*s*) avançant simultanément, pour former un pas, et alternant avec la jambe gauche et le bras droit (*u*), qui avancent pareillement pour faire le second pas. La ligne continue (*r*, *t*) donne la courbe ondulée décrite par les jambes, la ligne interrompue (*s*, *u*) celle décrite par les bras. Les courbes décrites par la jambe gauche et le bras droit, et par la jambe gauche et le bras droit, forment des ellipses. Comparez à la figure 18, p. 54 — *Originale*.

Chez les insectes hexapodes, suivant Müller, le pied de devant et celui de derrière d'un côté, et celui du milieu de l'autre côté se meuvent ensemble pour former un pas, les trois autres forment ensemble le second. D'autres combinaisons semblables se rencontrent chez les décapodes.

Les mouvements alternatifs des extrémités sont intéressants comme annonçant un certain degré de flexibilité ou de torsion, soit dans le tronc ou les membres, ou en partie dans l'un, en partie dans l'autre.

La torsion produit les mouvements en forme de 8 observés dans la marche, la natation ou le vol. (Comparez les figures 6, 7 et 26 *x*, p. 40 et 77 ; les fig. 18 et 19, p. 54 et 56 ; les fig. 32 et 50, p. 95 et 133 ; les fig. 71 et 73, p. 199 ; et la fig. 81, p. 216.)

Locomotion du cheval. — Comme les limites du présent ouvrage m'empêchent de considérer les mouvements de tous les animaux à habitudes terrestres, je décrirai

rapidement, comme exemples, ceux du cheval, de l'autruche et de l'homme. Chez le cheval, comme chez tous les quadrupèdes doués d'une grande vitesse, les os des extrémités sont inclinés obliquement l'un sur l'autre de manière à former des angles; ces angles diminuant à mesure que la vitesse s'accroît. Ainsi les angles formés par les os des extrémités les uns avec les autres, et avec les omoplates et les os iliaques sont moindres chez le cheval que chez l'éléphant. Pour la même raison ils sont plus petits chez le cerf que chez le cheval. Chez l'éléphant, duquel n'est pas requise une grande vitesse, les membres sont presque droits, cet arrangement étant le meilleur pour soutenir le poids de la partie supérieure. Les angles formés par les divers os de l'aile de l'oiseau sont plus petits que ceux du plus agile des quadrupèdes, les mouvements des ailes étant plus rapides que ceux des extrémités des quadrupèdes et des bipèdes. Ce sont autant de dispositions pour amortir les chocs, accroître l'élasticité, assurer la vitesse. Les allures du cheval sont justement divisées en pas, trot, amble et galop. Si le cheval commence à marcher en élevant le pied gauche antérieur, l'ordre dans lequel les pieds sont soulevés est le suivant : — D'abord le pied gauche antérieur, puis le pied de derrière droit ou diagonal, puis le pied droit de devant, enfin le pied de derrière gauche ou diagonal. Il y a donc là une torsion du corps et un recouvrement en spirale des extrémités du cheval dans l'acte de la marche, à tous égards analogue à ce qui a lieu dans les autres quadrupèdes¹ et les bipèdes

¹ Si l'on regarde de haut un chat en marche, on observe un continuel mouvement ondulé le long de son épine dorsale d'avant en arrière. Ce mouvement ressemble de très-près à la reptation du serpent et à la natation de l'anguille.

(fig. 18 et 19, p. 54 et 56). Dans la marche la plus lente, M. Gamgee remarque « qu'il y a constamment trois pieds agissant sur le sol, d'où il suit que dans le pas franc, quand le pied de derrière passe à la position que vient de quitter le pied antérieur du même côté, il y a une fraction de temps où seulement deux pieds touchent le sol, mais l'intervalle est trop petit pour que l'œil puisse le mesurer. La proportion du temps employé par les pieds à agir sur le sol à celui qui est occupé par leur passage à une nouvelle position est donc de trois à un dans la marche lente, et un peu moindre dans la marche rapide. Dans le grand galop, ce rapport est le même que de cinq à trois. Dans toutes ces allures la puissance du cheval s'exerce sur tout un membre de devant et un de derrière, *les deux pieds touchant le sol en diagonale*. Il y a aussi constamment une ligne parallèle de positions conservées par un pied de devant et un pied de derrière, *changeant de côté* dans chaque déplacement successif. Ces positions relatives sont renouvelées et conservées. Ainsi chaque membre antérieur prend, en s'abaissant, la position avancée parallèle au pied postérieur qui vient de se lever et est en mouvement ; les pieds de derrière se meuvent tour à tour à la suite de leurs antérieurs diagonaux et en avance sur leurs compagnons de même côté auprès desquels ils restent à peu près pendant la moitié de leur course, après laquelle le pied antérieur est à son tour soulevé et transporté à la place qui lui est destinée, le pied postérieur touchant à terre moitié chemin. Tous les pieds franchissant la même distance et gardant la même mesure, il ne se présente aucune rencontre de l'un et de l'autre ; chaque pied de derrière en s'appuyant successivement, forme une nouvelle diagonale avec le

ped antérieur opposé, ce dernier formant l'avant des positions parallèles pendant un instant, et des diagonales dans le suivant : quant à ceux de derrière ils sont en diagonale en descendant et deviennent la parallèle finale dans la dernière partie de leur action. »

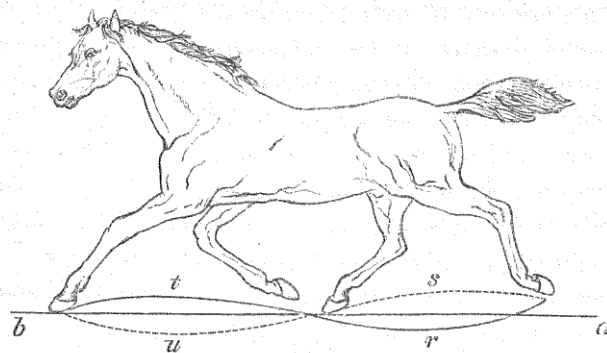


FIG. 20. — Cheval en train de trotter. Dans cette allure, comme dans toutes les autres, le corps du cheval est soulevé en avant par une torsion diagonale du tronc et des extrémités, les extrémités décrivant une courbe en forme de S (*s u r t*). La figure en S est produite par le jeu alternatif des extrémités et des pieds, dont deux sont toujours sur le sol (*a, b*). Ainsi le pied droit antérieur décrit la courbe *t*, le pied gauche de derrière, celle marquée *r*, le pied gauche de devant celle marquée *u*, et le pied droit de derrière, celle marquée *s*. Les pieds touchant le sol dans cet exemple sont le pied gauche antérieur et le pied droit postérieur. Comparez aux fig. 18 et 19, p. 54 et 56. — *Originale*.

Dans le trot, suivant Bishop, les jambes se meuvent par paires en diagonale. La même jambe se meut pendant une partie un peu plus grande de la période, en trotant qu'en marchant, dans le rapport de six à cinq. La vitesse acquise en mouvant les jambes par paires au lieu de les mouvoir consécutivement, dépend de cette circonstance que dans le trot chaque pied ne repose sur le sol que pendant un court intervalle et se balance pendant

un long ; tandis que dans la marche chaque pied voyage pendant une courte période et s'appuie pendant une longue. Les ondulations provenant de la projection du tronc dans le trot sont surtout dans un plan vertical ; dans la marche elles sont davantage dans un plan horizontal.

On a cru à tort que le galop consistait en une série de bonds et de sauts, les deux pieds postérieurs étant sur le sol pendant que les deux antérieurs sont en l'air et *vice versa*, et qu'il y a une période où tous les quatre sont en l'air. Ainsi Sainbell dans son « Essai sur les proportions d'Eclipse, » dit que le galop consiste en une répétition de bonds ou de sauts, plus ou moins hauts, plus ou moins étendus en proportion de la force et de la légèreté de l'animal. » Un peu de réflexion montrera que cette définition ne peut être correcte. Quand un cheval saute un fossé ou une barrière, il se ramasse sur lui-même, et par un vigoureux élan (particulièrement des jambes de derrière), il se jette en l'air. Ce mouvement demande un grand effort, et est de courte durée. Il n'est pas au pouvoir d'un cheval de répéter ces bonds pendant plus de quelques minutes, d'où il suit que le galop qui peut se continuer pendant une période considérable, doit matériellement différer beaucoup du saut.

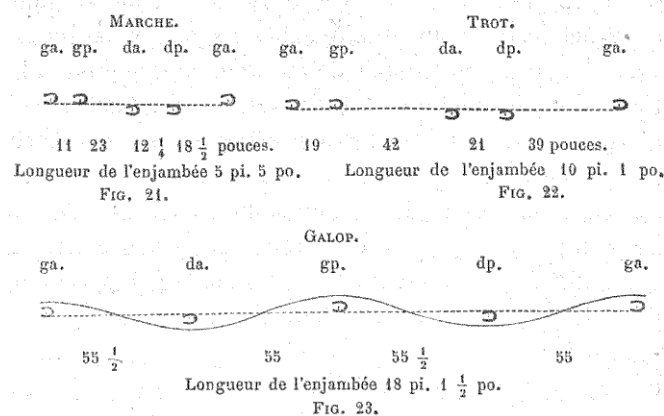
L'allure connue sous le nom d'amble est un mouvement artificiel produit par l'art de l'éleveur. Elle ressemble à celle de la girafe, où les pieds droits antérieur et postérieur se meuvent ensemble pour former un pas ; les pieds gauches antérieur et postérieur se mouvant ensemble pour en former un second. Par la rapide répétition de ces mouvements les côtés droit et gauche du corps avancent alter-

nativement par un mouvement latéral de balancement, très-confortable pour le cavalier, mais rien moins que gracieux. L'amble est un pas défectueux d'autant plus qu'il met obstacle aux mouvements diagonaux des membres et altère la continuité de mouvement que produit la torsion ou mouvement transversal. De semblables remarques devraient être faites sur le galop s'il consistait (ce qui n'est pas) en une série de bonds ou de sauts, car à chaque bond succéderait une halte, ou point mort, qui ne pourrait manquer de compromettre sérieusement la continuité du mouvement en avant. Dans le galop, comme dans les mouvements plus lents, le cheval n'a jamais moins de deux pieds sur le sol à chaque instant, deux quelconques des quatre pieds ne se trouvant jamais exactement dans la même position.

M. Gamgee, qui a très-soigneusement étudié les mouvements des chevaux, a donné des diagrammes de la marche, du trot et du galop, dessinés d'après l'empreinte des pas d'un poulain de deux ans, qu'on avait fait dans ce but marcher, trotter et galoper sur le terrain. Ce qu'il cherchait à déterminer était la distance exacte, à laquelle était transporté un pied, du point où il était soulevé au point où il redescendait. Les diagrammes sont reproduits fig. 21, 22 et 23. Dans la figure 23, j'ai ajouté une ligne ondulée continue pour indiquer les mouvements alternatifs des extrémités; M. Gamgee n'ayant pas connaissance, m'informe-t-il, à l'époque où il écrivait ¹ de la théorie de la progression animale en forme de 8 que j'ai développée

¹ « Sur l'élève des chevaux de chasse et des bidets. » Essai couronné. — Journal de la Société Royale d'Agriculture d'Angleterre pour 1863.

ultérieurement. Comparez la fig. 23 aux fig. 18 et 19, p. 54 et 56, à la fig. 59, p. 175; et aux fig. 71 et 73, p. 159.



..... Un point à remarquer dans ces figures est la relation qui existe entre les pieds antérieurs et postérieurs des côtés droit et gauche du corps. Dans la marche lente, le pied gauche postérieur se pose derrière l'empreinte faite par le pied gauche antérieur. Dans la marche rapide au contraire le pied gauche postérieur se pose six, douze pouces ou plus, en avant de l'empreinte faite par le pied gauche antérieur (dans la figure 21 cette distance est de 11 pouces). Dans le trot, le pied gauche de derrière se pose douze, dix-huit pouces ou plus en avance de l'empreinte faite par le pied gauche de devant (la figure 22 donne 19 pouces à cette distance). Dans le galop, le pied gauche postérieur se plante 100 pouces ou plus en avant de l'empreinte faite par le pied gauche antérieur (dans la figure 23 cette distance est de 110 pouces $\frac{1}{2}$). La distance de laquelle le pied gauche postérieur dépasse le

pied gauche antérieur dans la marche rapide, le trot ou le galop, croît progressivement, et est due en grande partie à la vitesse ou à la force vive acquise par la masse du cheval en mouvement rapide; le corps de l'animal portant en avant et posant les membres à des distances relatives plus grandes dans le trot que dans la marche rapide, dans le galop que dans le trot. J'ai choisi les pieds gauches antérieur et postérieur, mais de semblables remarques peuvent, bien entendu, être faites des pieds droits de devant et de derrière.

« Dans la figure 23 qui représente le galop, la distance entre deux empreintes successives, par exemple par le pied gauche antérieur, est 18 pieds un pouce et demi. A moitié chemin entre ces deux empreintes est la marque du pied gauche postérieur, qui divise cet espace en deux parties de neuf pouces et six huitièmes, et chacune d'elles est encore subdivisée en deux moitiés par les empreintes produites par les pieds droits de devant et de derrière. On voit ainsi que le corps du cheval, au lieu d'être entraîné dans l'air par bonds ou sauts, même lorsqu'il va avec la plus grande vitesse possible, agit sur un système de leviers, la moyenne distance entre les points d'appui de ces leviers étant de quatre pieds six pouces. La longueur exacte de l'enjambée, bien entendu, ne s'applique qu'au cheval observé, et à la vitesse avec laquelle il allait. Dans le cas de tout autre animal, plus grande est la vitesse, plus grande est l'enjambée individuelle. Dans la progression, le corps se meut avant qu'un membre n'ait quitté le sol, comme on le voit aisément dans l'action très-lente du cheval au commencement d'une traction ¹. »

¹ Gamgee, Journal d'Anatomie et de Physiologie, vol. III, p. 375, 376.

Dans la figure 22 qui représente le trot, l'enjambée est de dix pieds un pouce. Dans la figure 21 qui représente la marche, elle n'est que de cinq pieds cinq pouces. La vitesse acquise, remarque M. Gamgee, détermine la longueur de l'enjambée; la longueur de l'enjambée est le résultat et la preuve de la vitesse, et n'en est pas la cause. La force vive acquise dans le galop, comme on l'a déjà expliqué, augmente grandement la vitesse.

En considérant la longueur des enjambées par rapport aux points d'appui, il faut tenir compte de la longueur du pied qui doit être déduite de celle de l'enjambée, parce que le sommet ou l'avant du sabot du pied postérieur du cheval forme le point d'appui à un moment, et le talon du pied antérieur pendant le suivant, et *vice versa*. Ce phénomène est très-visible dans l'action du pied humain, et il est aussi remarquable par l'étendue de la surface d'appui ainsi offerte à quelques-uns des animaux les plus agiles, de diverses espèces. Chez le lièvre, par exemple, entre son jarret et le bout de ses doigts, il y a un espace de plus de six pouces pour l'étendue de la surface de sustentation et de point d'appui variable; et dans le membre antérieur, du corps aux ongles (dont il ne faut pas déprécier l'importance pour la progression), on trouve plus de trois pouces de surface d'appui, ce qui fait environ dix pouces pour chaque bipède latéral, et le double de cela pour l'action des quatre pieds. Vue de cette manière, l'enjambée n'est pas réellement aussi grande qu'on le supposerait si on l'estimait simplement d'après la distance entre les empreintes.

On peut faire bien des remarques intéressantes sur la longueur de l'enjambée des divers animaux; dans le

grand galop du lévrier, elle est par exemple de seize pieds ; celle du lièvre est au moins égale ; tandis que celle du chien de Terre-Neuve est d'un peu plus de neuf pieds ¹. »

Locomotion de l'autruche. — Les naturalistes ont divisé les oiseaux en huit ordres : — Les *Natatores* ou Oiseaux Nageurs ; les *Grallatores* ou Echassiers ; les *Cursores* ou Coureurs ; les *Scansores* ou Grimpeurs ; les *Rasores* ou Gratteurs ; les *Columbæ* ou Colombes ; les *Passeres* ou Passereaux ; et les *Raptores* ou Oiseaux de proie.

Les cinq premiers ordres ont été classés d'après leurs mœurs et leur mode de progression. Je parlerai des *Natatores* quand j'en arriverai à la natation comme mode de progression ; et comme il n'y a rien dans les mouvements des oiseaux échassiers, gratteurs et grimpeurs ² ou dans les passereaux et les rapaces qui demande une attention spéciale, je passerai de suite à la considération des coureurs, dont les meilleurs exemples sont l'autruche, l'emeu, le casoar et l'aptéryx.

L'autruche est remarquable par la grande longueur et le développement de ses pattes en comparaison de ses ailes (fig. 24). Sous ce rapport elle est, parmi les oiseaux, ce que le kangaroo est parmi les mammifères. L'autruche

¹ Gamgee, journal d'Anatomie et de Physiologie, vol. III, p. 375, 376.

² Les piveris grimpent en s'aidant des plumes raides de leur queue ; les pattes et la queue formant une ferme base de sustentation.

³ Dans cet ordre, il y a certains oiseaux, — les moineaux, les grives par exemple — qui avancent par une série de sauts vigoureux ; les sauts ayant un caractère intermittent.

atteint une hauteur de six à huit pieds et est le plus grand oiseau vivant connu. Sa grande hauteur provient de son cou et de ses jambes effilées. Ces dernières sont d'une

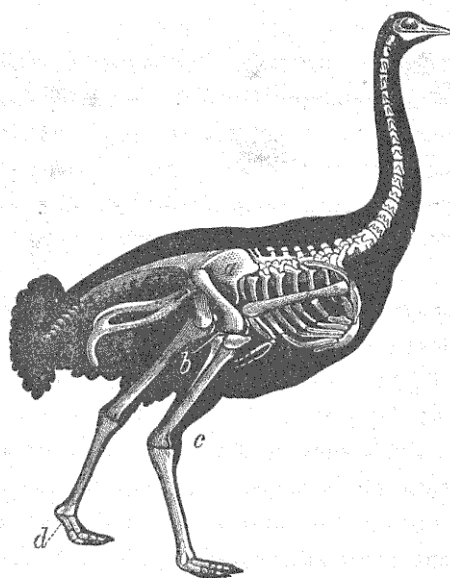


FIG. 24. — Squelette de l'Atruche. On voit les jambes puissantes, les petits pieds et les ailes rudimentaires de l'oiseau; l'obliquité de la position des os des jambes et des ailes, et les ongles relativement petits que deux os quelconques forment à leur point de jonction. *a*. Angle fait par le fémur et l'ilium. *b*. Angle fait par le tibia et le péroné avec le fémur. *c*. Angle fait par l'os tarso-métatarsien avec le tibia et le péroné. *d*. Angle fait par les os des pieds avec l'os tarso-métatarsien. *r*. Os des ailes se rencontrant à peu près à angle droit. Comparez aux fig. 4, p. 30, fig. 26, p. 77, et fig. 27, p. 83. — Arrangée d'après Dallas.

très-puissante structure et ressemblent beaucoup dans leur conformation générale aux extrémités postérieures d'un cheval pur-sang ou d'un grand cerf. Comparez à la fig. 4, p. 30. Elles sont expressément faites pour la vitesse. Ainsi les os des jambes et des pieds sont inclinés très-

obliquement les uns sur les autres, et le fémur est très-oblique sur l'os iliaque. Comme conséquence, les angles compris entre les divers os des jambes sont comparativement petits; plus petits en effet que chez le cheval ou le cerf.

Les pieds de l'autruche, comme ceux du cheval et du cerf, sont réduits au minimum de dimension, de sorte qu'ils occasionnent très-peu de frottement dans l'acte de la marche et de la course. Le pied est composé de deux doigts articulés, qui s'étendent quand le poids du corps porte sur eux, de manière que l'oiseau est capable de s'appuyer sur le sol et de l'abandonner avec une égale facilité. L'avantage d'un tel arrangement pour la rapidité de la locomotion ne peut être trop apprécié. L'élasticité et la flexibilité du pied contribuent grandement à la rapidité de mouvement qui rend cet oiseau fameux. Le membre de l'autruche, avec ses grands os disposés très-obliquement pour former un système de puissants leviers, est la véritable personnification de la vitesse. Le pied est tout à fait digne de la jambe, et possède, à quelques égards, la plus admirable structure qui existe. Il diffère considérablement de ceux de tous les autres oiseaux, ceux de la famille de l'autruche exceptés. Ainsi sa partie inférieure est plate, et spécialement propre à agir sur des surfaces planes particulièrement solides ¹.

Les extrémités des doigts sont armées supérieurement d'ongles courts, puissants, dont les extrémités s'avancent inférieurement pour protéger les doigts et donner de l'élasticité au pied quittant le sol. Le pied comme la jambe est remarquable par sa grande force. Les jambes de l'au-

¹ Les doigts de l'emeu sont au nombre de trois.

truche sont rapprochées, autre trait favorable à la vitesse¹. Les ailes de l'autruche sont d'une nature très-rudimentaire par rapport aux jambes². Tous les os s'y retrouvent



FIG. 25. — Autruches poursuivies par un chasseur.

mais ils sont si réduits qu'ils sont tout à fait inutiles comme organes de vol. Les angles que forment entre eux les os de l'aile sont encore plus petits que les angles formés par les os de la jambe. C'est justement ce que nous devions attendre à *priori*, la vélocité avec laquelle les ailes se meuvent dépassant de beaucoup celle des jambes.

¹ Les pieds destinés à nager, à grimper sur les arbres, à saisir une proie, n'opèrent pas à leur avantage sur une surface plate. Les démarches gauches de l'oie, du perroquet et de l'aigle quand ils sont sur le sol, en donnent des exemples.

² Dans l'aptéryx les ailes sont si petites qu'il est communément appelé « l'oiseau sans ailes ».

Les os des ailes de l'autruche se rencontrent à peu près à angle droit. Les ailes de l'autruche, quoique inutiles comme organes de vol, forment d'importants auxiliaires pour la course. Quand l'autruche court dans la plaine, elle étend ses ailes de manière qu'elles agissent comme balanciers et l'aident à se maintenir en équilibre (fig. 25). Les ailes, à cause de l'angle que leur surface inférieure forme avec l'horizon et la grande vitesse avec laquelle les autruches voyagent, agissent à la façon des cerfs-volants, élèvent et amènent en avant par une adaptation mécanique une certaine portion de la masse de l'oiseau déjà en mouvement.

La puissance élévatrice et propulsive de plans inclinés même minimes, est très-considérable quand ils agissent dans une direction horizontale et avec une très-grande vitesse. Les ailes, outre leur puissance élévatrice et propulsive, contribuent, par leurs balancements courts et rapides, à la continuité du mouvement des jambes. Aucun oiseau à grandes ailes ne court aussi bien. L'albatros, par exemple, marche avec difficulté, et l'on en peut dire autant de l'aigle et du vautour. Donc, ce qui paraît un défaut chez l'autruche, est un avantage positif, quand on tient compte de ses mœurs et de son mode de locomotion.

Des coureurs de profession, dans beaucoup de cas, réduisent la longueur de leurs extrémités supérieures en fléchissant les bras et les amenant au niveau de leur poitrine (fig. 28, p. 86). Il semblerait que dans une course rapide, les bras n'ont pas le temps d'osciller naturellement, et que dans cette circonstance, si on les laissait balancer, ils diminueraient la vitesse au lieu de l'accroître. Le centre de gravité est bien en avant chez l'autruche, et

sa position est réglée par les mouvements de la tête et du cou, et l'obliquité du corps et des jambes. Pendant la course, le cou se déploie, le corps s'incline en avant et les jambes se meuvent avec une grande rapidité. Quand la jambe droite est fléchie et élevée, elle se balance en avant à la façon du pendule, et décrit une courbe dont la convexité est dirigée du côté droit. Quand la jambe gauche est fléchie et élevée, elle se balance en avant, et décrit une courbe dont la convexité est dirigée du côté gauche. Les courbes formées par les jambes droite et gauche forment quand on les unit une ligne ondulée (voyez fig. 18, 19 et 20, p. 54, 56 et 59). Quand la jambe droite est fléchie, relevée et avancée, elle tourne sur la portion iliaque du tronc de l'oiseau; le tronc se trouve pendant ce temps soutenu par la jambe gauche qui est étendue et en contact avec le sol. Quand la jambe gauche est fléchie, élevée et avancée, elle tourne de la même manière sur le tronc, soutenu dans ce cas par la jambe droite étendue. La jambe qui est sur le sol pendant ce temps fournit le levier nécessaire, et le sol le point d'appui. Quand la jambe droite est fléchie et relevée elle tourne sur la portion iliaque du tronc vers l'avant, le pied droit décrivant un arc de cercle. Quand la jambe droite et le pied sont étendus et fixés sur le sol, le tronc tourne sur le pied droit vers l'avant, forme un arc de cercle qui est l'inverse de celui qui est formé par le pied droit. Si les arcs alternativement fournis par le pied droit et le tronc sont placés en opposition, il se produit un cercle plus ou moins parfait, et c'est ainsi que la locomotion animale se rapproche du mouvement de la roue en mécanique. On doit faire de semblables remarques sur le pied gauche et le tronc. Le

roulement alternatif du tronc sur les extrémités et des extrémités sur le tronc, emploie, utilise l'inertie de la masse en mouvement, et contribue puissamment à la continuité et à la fermeté de l'action des parties mobiles. En avançant la tête, le cou et les parties antérieures du corps, l'autruche commence le mouvement de roulement du tronc, qui est perpétué par les mouvements de roulement des jambes. Le tronc et les jambes de l'autruche sont tour à tour actifs et passifs. Les mouvements du tronc et des membres sont coordonnés d'une manière définie. Sans cette réciprocité l'action des diverses parties du corps en jeu ne serait ni si rapide, ni si sûre, ni si continue. La vitesse de l'autruche excède celle de tout autre animal, circonstance due à ses longues et puissantes jambes et à sa grande enjambée. Elle dépasse sans peine les chevaux les plus agiles ; on ne peut la capturer qu'en l'attaquant simultanément de divers points, ou à l'aide d'une succession de chasseurs ayant des montures fraîches. Si la vitesse de l'autruche qui ne mesure que six à huit pieds est si supérieure, que devait être la vitesse des animaux éteints, l'*Æpyornis maximus* et le *Dinornis giganteus*, que l'on suppose avoir mesuré de seize à dix-huit pieds de haut. Quoique cela puisse paraître incroyable, l'autruche, avec ses pieds réduits au minimum d'étendue, et particulièrement organisée pour la marche et la course sur les solides, peut aussi nager. M. Darwin, le plus soigneux de tous les observateurs, nous informe que l'autruche se met facilement à l'eau, et non seulement traverse des rivières rapides, mais encore va d'une île à l'autre. Elle nage à loisir, le cou étendu, et la plus grande partie du corps submergée.

Locomotion chez l'homme. — La vitesse atteinte par l'homme, quoique considérable, n'est pas remarquable. Elle dépend de circonstances variables telles que la hauteur, l'âge, le sexe et l'énergie musculaire de l'individu, la nature de la surface franchie, et la résistance au mouvement en avant, due à la présence de l'air tranquille ou en mouvement. Un examen du squelette humain, particulièrement de ses extrémités inférieures, expliquera pourquoi la vitesse doit être modérée.

En comparant les extrémités inférieures de l'homme aux pattes des oiseaux, ou aux extrémités postérieures des quadrupèdes, tels que le cheval ou le cerf, nous trouvons que les os qui les composent ne sont pas placés obliquement les uns par rapport aux autres, et que les angles qui forment deux os quelconques sont moins aigus. De plus nous observons que chez les oiseaux et les quadrupèdes les os tarsiens et métatarsiens sont modifiés de manière à accroître effectivement le nombre des angles eux-mêmes. Dans les extrémités des oiseaux et des quadrupèdes, il y a quatre angles qui peuvent augmenter ou diminuer dans l'opération de la locomotion; ainsi chez le quadrupède et l'oiseau (fig. 4, p. 30 et fig. 24, p. 66) le fémur forme avec l'ilium un premier angle (*a*); le tibia et le péroné avec le fémur un second angle (*b*); l'os tarso-métatarsien avec le tibia et le péroné un troisième angle (*c*), et les os du pied avec les os tarso-métatarsien un quatrième angle (*d*). Chez l'homme il n'y a que trois angles respectivement marqués *a*, *b* et *c* (fig. 26 et 27, p. 77 et 83). Le quatrième angle *d* (des fig. 4 et 24) est absent. L'absence du quatrième angle est due à ce fait que chez l'homme les os du tarse et du métatarse sont raccourcis et rapprochés;

tandis que dans les quadrupèdes et les oiseaux, ils sont allongés et séparés.

Comme la vitesse d'un membre croît en raison du nombre et de l'acuité des angles formés par ses divers os, il n'est pas difficile de comprendre pourquoi l'homme ne peut être aussi agile que la majorité des quadrupèdes. L'accroissement du nombre des angles augmente le pouvoir qu'a l'animal de raccourcir ou d'allonger ses extrémités et les leviers que forment ces extrémités. Accroître la longueur d'un levier, c'est accroître à une extrémité sa puissance, et à l'autre la distance qu'il parcourt. De là la faculté de bondir ou de sauter que possèdent à une telle perfection un grand nombre de quadrupèdes¹. Si l'aile est considérée comme un levier, un faible degré de mouvement à sa base produit un déplacement considérable au bout des doigts. C'est ainsi que l'aile peut employer, utiliser la faible résistance présentée par un milieu aussi peu dense que l'air.

Un autre obstacle à la grande vitesse chez l'homme est sa station verticale. Une partie de la puissance qui servirait à mouvoir ses membres est consacrée à soutenir le tronc. Pour la même raison, les os des jambes au lieu d'être obliquement inclinés l'un sur l'autre comme dans le quadrupède et l'oiseau sont disposés presque en ligne verticale spirale. Cette disposition augmente l'angle formé par deux os quelconques, et, par conséquent, diminue, comme on l'a expliqué, la vitesse des membres. Une disposition ana-

¹ « Les extrémités postérieures du lion et du tigre sont plus longues et les os y sont inclinés plus obliquement l'un sur l'autre que dans les antérieures, ce qui leur donne plus de puissance et d'élasticité pour sauter.

logue des os se retrouve dans les extrémités antérieures de l'éléphant chez lequel le poids à supporter est considérable, et la vitesse comparativement peu remarquable. Les os de la jambe humaine sont élégamment adaptés pour soutenir le poids du corps et amortir les chocs ¹. Ainsi le fémur ou os de la cuisse possède à son extrémité supérieure une articulation en boule qui l'unit à la dépression concave (*acetabulum*) de l'ilium (os des reins). Il est muni d'un col qui porte le corps ou tube de l'os dans une direction oblique par rapport à l'ilium, ce tube étant arqué en avant et tordu sur lui-même en vis cylindrique allongée. L'extrémité inférieure du fémur possède des surfaces articulaires spirales exactement adaptées aux extrémités supérieures des os de la jambe tibia et péroné, et à la rotule. Les os de la jambe (tibia et péroné) forment une hélice qui dans ce cas est fendue suivant sa longueur. A la cheville les os de la jambe se joignent à ceux du pied par des articulations semblables à celle que l'on trouve au genou. Le poids du tronc se porte ainsi sur les pieds, non par des lignes droites, mais par une série de courbes. Le pied lui-même est merveilleusement adapté pour recevoir la pression d'en haut. Il consiste en une série de petits os, tarsiens, métatarsiens et phalangiens, arrangés en double arcade ; l'une s'étendant du talon aux orteils, l'autre transversale au pied. Le pied est construit de manière à être à la fois ferme, élastique et mobile, qualités qui lui permettent de supporter la pression supérieure et d'exercer une pression ascendante. Dans la marche, le talon touche et quitte le sol, le premier. Quand le talon

¹ Le ventre reçoit tout le poids du tronc et des organes superposés, et le transmet aux têtes des fémurs.

s'élève, le poids du corps porte de plus en plus sur le centre du pied et des orteils, les derniers s'étalant ¹ comme chez les oiseaux, pour appuyer sur le sol et pousser le corps en avant. C'est dans ce mouvement que l'admirable mécanisme du pied se déploie dans tout son avantage, la totalité des articulations du pied cèdent toutes légèrement pour donner à la démarche cette élasticité qui est si agréable à voir, et est un des traits caractéristiques des jeunes gens. On peut dire que le pied roule sur le sol dans une direction d'arrière en avant. J'ai constaté que les angles formés par les os de la jambe humaine sont plus grands que ceux de la jambe du quadrupède et de l'oiseau. Ceci est particulièrement vrai de l'angle formé par le fémur avec l'ilium, qui grâce à la direction élevée que possède la crête de l'ilium chez l'homme, est si grand qu'il cesse virtuellement d'être un angle.

Les os des extrémités supérieures de l'homme méritent de l'attention, à cause du fait qu'en marchant et en courant ils oscillent dans des directions opposées, alternent et vont en mesure avec les jambes qui oscillent de la même manière. Les bras sont articulés aux épaules par des articulations en boule dans des cavités concaves (cavités glénoïdes) ressemblant de très-près à celles des hanches. L'os du bras (humérus) est écarté de l'épaule par un col court semblable à celui de l'os de la cuisse. Comme celui-ci, il est tordu sur lui-même et forme une vis. L'extrémité inférieure de l'os du bras est muni de surfaces articulaires ressemblant à celles du genou. Les spirales articulaires

¹ La divergence des orteils se voit parfaitement chez les enfants. Elle est plus ou moins détruite chez les adultes à cause d'un principe fautif dans la fabrication des chaussures, les semelles étant invariablement trop étroites.

du bras sont adaptées à des surfaces semblables, existant aux extrémités supérieures des os de l'avant-bras, le radius et le cubitus. Ces os, comme ceux de la jambe, sont arrangés spiralement l'un par rapport à l'autre et forment une vis en deux morceaux. Les os de l'avant-bras sont unis à ceux du poignet (carpe) et de la main (métacarpe et phalanges), par des surfaces articulaires déployant à un plus ou moins fort degré la forme de spirale. Il suit de là que les extrémités supérieures de l'homme ressemblent grandement aux inférieures, fait d'une grande importance en ce qu'il rend compte de la part prise à la locomotion par les extrémités supérieures. Chez l'homme, les bras ne touchent pas le sol, comme chez les bêtes, mais ils ne cessent pas, pour cela, d'être utiles comme instruments de progression. Si un homme marche avec une canne à chaque main, les mouvements de ses extrémités ressemblent complètement à celles d'un quadrupède.

Les os des extrémités (supérieures et inférieures) de l'homme se voient à leur avantage dans la fig. 26 ; et, j'appelle particulièrement l'attention du lecteur sur les articulations en boule et emboîture ou universelles à l'aide desquelles les bras s'attachent aux épaules ($x x'$) et les jambes au bassin ($a a'$), leur connaissance étant nécessaire à l'intelligence des mouvements oscillatoires des membres que je vais maintenant décrire. La forme hélicoïdale des membres est bien représentée dans le bras gauche (n) de la figure. Comparez à l'aile de l'oiseau, fig. 6, et à l'extrémité antérieure de l'éléphant fig. 7, p. 40. Sans ces articulations en boule et emboîture, et la nature spirale des os et des surfaces articulaires des extrémités,

les mouvements ondulés, sinueux et plus ou moins con-

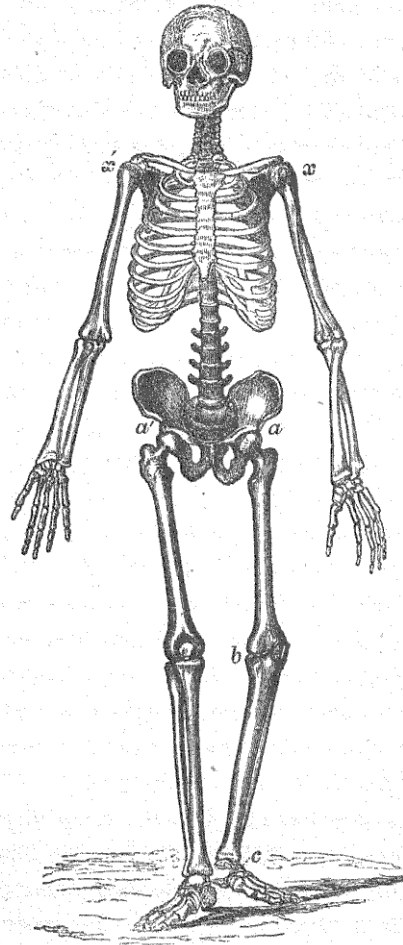


FIG. 28. — Squelette de l'homme. Comparez à la fig. 4, p. 30, et fig. 24, p. 60. — *Originale.*

tinus, observables dans la marche et dans la course, et la

torsion, les mouvements en coups de fouets, de fléau, nécessaires à la natation, seraient impossibles.

La jambe chez l'homme se meut à l'aide de trois articulations, la hanche, le genou et la cheville. Lorsqu'il se tient debout, l'articulation de la hanche ne permet au membre que de se mouvoir en avant, l'articulation du genou, qu'en arrière, et l'articulation de la cheville ni en avant ni en arrière. Quand le corps ou les membres sont inclinés obliquement ou légèrement fléchis, l'étendue du mouvement s'accroît. Le plus grand angle fait à l'articulation du genou est égal à la somme des angles faits par les articulations de la hanche et de la cheville, lorsque ces jointures sont simultanément fléchies, et quand l'angle d'inclinaison du pied sur le sol est de 30 degrés.

Il suit de là que le tronc maintient sa position verticale pendant l'extension et la flexion des membres. Le pas de marche a été divisé par Borelli en deux périodes, l'une correspondant au temps où les deux membres sont sur le sol ; l'autre à celui où un seul membre est sur le sol. Dans la course, il y a une courte période où aucun des deux membres ne touche le sol. Dans la marche, le corps est alternativement supporté par la jambe droite et la gauche, et avance par un mouvement sinueux. Son mouvement en avant s'accélère lorsqu'un seul pied touche le sol, se retarde quand ils le touchent tous deux. Quand le membre, soit la jambe droite, est fléchie, élevée et projetée en avant, elle revient, si on l'abandonne à elle-même (c'est-à-dire si l'on n'empêche pas ses mouvements par les muscles volontaires), à la position d'où elle était partie, à la position verticale, à moins que le tronc portant le membre ne soit en même temps incliné en avant. Le

membre revient, comme on l'a expliqué, à la position verticale ou position de repos, en vertu de l'action de la pesanteur, et de sa suspension à la hanche par une articulation en boule et bassin. Sous ce rapport le membre humain, quand on le laisse osciller, ressemble exactement à un pendule, fait démontré pour la première fois par les frères Weber. L'avantage résultant de cette disposition, en ce qui concerne l'énergie musculaire, est très-grand, les muscles ayant comparativement peu à faire ¹.

Quand on commence à marcher, le corps et le membre qui va faire le premier pas avancent ensemble. Cependant, lorsque le corps s'incline en avant, une grande portion du pas est mécaniquement accomplie par la tendance qu'a le pendule formé par la jambe à balancer en avant et à regagner la position verticale, — effet produit par la seule pesanteur. La jambe qui s'avance dépasse la distance requise pour un pas, et doit retourner d'une petite quantité en arrière avant de pouvoir se poser sur le sol. Le mouvement de pendule effectue tout cela mécaniquement. Quand le membre s'est balancé en avant aussi loin que le permet l'inclinaison du corps à ce moment, il revient à la manière du pendule; le coup de retour du pendule amenant le pied sur le sol par un mouvement rétrograde descendant. Quand la jambe droite, par laquelle nous avons commencé, est étendue et fermement placée sur le sol, et que le tronc a pris une position à peu près verticale, la gauche se fléchit, s'élève, et le tronc s'incline de nou-

¹ Les frères Weber trouvent qu'aussi longtemps que les muscles exercent la force générale nécessaire pour exécuter la locomotion, la vitesse dépend de la dimension des jambes et des forces extérieures, et non de la vigueur des muscles.

veau en avant. L'inclinaison en avant du tronc nécessite le balancement en avant de la jambe gauche qui, lorsqu'elle a atteint le point déterminé par le mouvement de pendule, oscille de nouveau en arrière de la quantité nécessaire pour se poser avec sécurité sur le sol. Ces mouvements se répètent à intervalles fixes et déterminés. Le mouvement rétrograde se voit le plus aisément dans la marche lente. Dans la marche rapide le mouvement de pendule est quelque peu interrompu, parce que le membre touche terre quand il atteint la position verticale, et par conséquent avant d'avoir complété son oscillation ¹. On peut dire que le balancement du corps en avant commence le mouvement de marche.

Le corps se penche et s'incline légèrement en avant au commencement de chaque pas. Il se dresse et se relève vers la fin de cet acte. Les mouvements du corps commencent et terminent le pas et le règlent de cette manière. Le tronc s'élève verticalement à chaque pas, la tête décrivant une légère courbe que l'on aperçoit bien dans la marche des oiseaux. Le pied qui est sur le sol (soit le pied droit) élève le tronc particulièrement du côté droit, et le poids du corps, particulièrement du côté gauche, presse sur le pied gauche ou oscillant, et l'aide à se placer sur le sol. Le tronc et les membres sont actifs et passifs tour à tour. Dans la marche, une onde spirale de mouvement plus marquée dans la direction antéro-postérieure (quoique sensible aussi, latéralement) parcourt l'épine. Ce mouvement spiral de l'épine s'observe dans la locomotion de tous les vertébrés. Il est favorisé chez l'homme par les

¹ Dans la marche rapide* ou la course, la jambe oscillante ne dépasse jamais la verticale qui passe par la tête du fémur.

courbes antéro-postérieures (cervicales, dorsales et lombaires) existant dans la colonne vertébrale. Dans l'effort de la marche, le tronc et les membres oscillent sur l'articulation ilio-fémorale (articulation de la hanche). Le tronc aussi roule en avant sur le pied qui est placé sur le sol à ce moment. La rotation commence au talon et finit aux orteils. Tant que la rotation continue, le corps s'élève. Quand elle cesse et qu'un pied se pose à plat sur le sol, le corps descend. L'élévation et la rotation du corps en avant permettent au pied qui ne touche pas le sol à ce moment d'osciller en avant à la façon du pendule ; quand le pied oscillant est arrivé au terme antérieur de sa course, il revient, rétrograde d'une faible quantité, puis se pose sur le sol comme on l'a expliqué. La rétrogradation du pied est accompagnée d'une légère rétrogradation du corps qui, à cet instant particulier, tend à reprendre la position verticale. Il suit de là que, dans la marche lente, le tronc et le pied oscillant avancent en même temps d'un espace considérable et reculent d'une quantité plus petite ; que quand le corps se balance il tourne sur l'articulation ilio-fémorale (hanche) comme axe ; et que quand la jambe ne se balance pas, mais est fixée par le pied sur le sol, le tronc tourne sur le pied comme axe. Ces mouvements sont corrélatifs et complémentaires de leur nature, et sont calculés pour soulager d'une fatigue excessive les muscles des jambes et le tronc engagés dans la locomotion.

De semblables mouvements ont lieu dans les bras qui, comme on l'a expliqué, sont articulés aux épaules par des articulations en boule et emboîture (fig. 26, xx' , p. 77). La jambe gauche et le bras droit avancent ensemble pour

faire un pas, et de même de la jambe droite et du bras gauche. Quand la jambe droite s'avance, le bras droit revient et *vice versa*. Quand la jambe gauche avance, le bras gauche revient et *vice versa*. Il y a donc un balancement complémentaire des membres de chaque côté du corps, la jambe oscillant toujours dans une direction opposée au bras du même côté. Il y a de plus un groupe diagonal de mouvements, aussi de nature complémentaire; la jambe droite et le bras gauche avançant ensemble pour former un pas; la jambe gauche et le bras droit avançant ensemble pour former le suivant. Les mouvements diagonaux produisent une torsion latérale du tronc et des membres; les oscillations du tronc sur les membres ou sur les pieds, et l'oscillation des pieds et des membres sur le tronc, engendrent un mouvement ondulatoire en avant accompagné d'une certaine quantité d'ondulation verticale. Les mouvements diagonaux du tronc et des extrémités sont accompagnés d'un certain degré de courbure latérale; la jambe droite et le bras gauche, quand ils avancent pour faire un pas, décrivant chacun une courbe dont la convexité est dirigée respectivement vers la droite et vers la gauche. De semblables courbes sont décrites par la jambe gauche et le pied droit en faisant le second pas. Quand on joint les courbes formées par les jambes et les bras gauches et droits, on forme des parcours ondulés disposés symétriquement de chaque côté d'une ligne donnée. Les courbes formées par les jambes et les bras se coupent à chaque pas, comme on le voit dans la fig. 19, p. 56. Des courbes semblables sont formées par le quadrupède quand il marche (fig. 18, p. 54), le poisson quand il nage (fig. 32, p. 95) et l'oiseau quand il vole (fig. 73 et 81,

p. 199 et 216). La rotation alternative du tronc sur le membre et du membre sur le tronc se voit bien fig. 27.

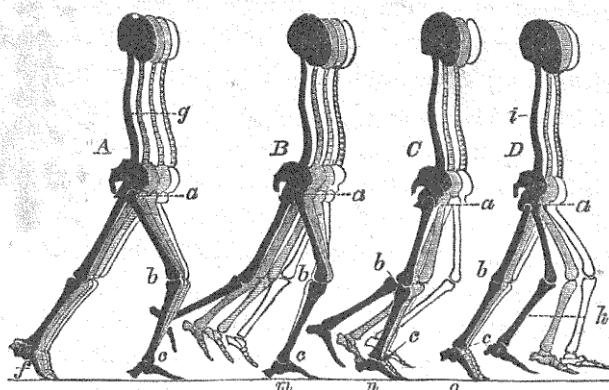


FIG. 27. — Montre les positions successives des deux jambes pendant un pas, divisées en quatre groupes. Le premier (A), 4 à 7, donne les diverses positions que prennent successivement les jambes, lorsque toutes deux sont sur le sol ; le second groupe (B), 8 à 11, montre les positions des deux jambes pendant la période où la postérieure est éloignée du sol, et derrière celle qui s'y appuie ; le troisième groupe (C), 12 à 14, montre les positions que prennent les deux jambes lorsque celle qui oscille dépasse celle qui est fixe ; et le quatrième (D), 1 à 3, les positions pendant le temps où l'oscillante est en avant de celle qui repose. Les lettres *a*, *b* et *c* indiquent les angles formés par les os de la jambe droite pendant qu'un pas s'accomplit. Les lettres *m*, *n* et *o*, les positions prises par le pied, pendant que le tronc roule autour de lui. *g* montre la rotation en avant du tronc sur le pied gauche (*f*) comme axe. *h* montre la rotation en avant du pied et de la jambe gauche sur le tronc (*a*) comme axe. Comparez à la fig. 4, p. 30, à la fig. 24, p. 66, à la fig. 26, p. 77. — D'après Weber.

En A (fig. 27), on observe le tronc roulant sur le pied gauche (*f*). En D, on voit la jambe gauche (*h*) tournant sur le tronc (*a*, *i*) ; ce sont, comme on l'a expliqué, des mouvements complémentaires. En A, le pied droit (*c*) est fermement posé sur le sol, le pied gauche (*f*) étant sur le point de le quitter. Le côté droit du tronc est à un niveau plus bas que le gauche, qui s'élève et est en train de rouler sur le pied. En B, le pied droit (*m*) est encore sur le

sol, mais le pied gauche l'ayant abandonné est en train d'osciller en avant. En *C*, le talon du pied droit (*n*) se sépare du sol et le pied gauche dépasse le droit. Le côté droit du tronc s'élève en ce moment. En *D*, le talon du pied droit (*o*) s'élève autant qu'il le peut, les orteils du pied gauche étant abaissés et sur le point de toucher le sol. Le côté droit du tronc a maintenant atteint son niveau le plus élevé, et est en train de rouler sur le pied droit. Le côté gauche du tronc, au contraire, s'abaisse, et la jambe gauche se balance en avant de la droite, se préparant à se poser sur le sol.

D'après ce qui précède il sera évident que le tronc et les membres ont des mouvements de pendule qui leur sont naturels et particuliers, et dont l'étendue dépend de la longueur des parties. Un homme grand et un homme petit ne peuvent en conséquence jamais marcher au pas si l'un et l'autre marchent naturellement et à leur guise ¹.

En parcourant une distance donnée dans un temps donné, un homme grand fera moins de pas qu'un petit, de la même manière qu'en roulant sur un espace donné, une grande roue fera moins de révolutions qu'une petite.

¹ Le nombre des pas qu'une personne peut faire dans un temps donné en marche, dépend premièrement de la longueur de la jambe qui, gouvernée par les lois du pendule, se balance d'arrière en avant ; secondement de l'interruption plus ou moins prompte que la jambe éprouve dans son arc d'oscillation en se posant sur le sol. Le poids de la jambe oscillante et la vitesse du tronc servent à donner à la tête du fémur l'impulsion par laquelle le pied atteint une position verticale ; mais comme la jambe, suivant les lois du pendule, a besoin dans la marche la plus rapide d'un temps donné pour atteindre cette position, ou la moitié de sa courbe entière d'oscillation, il s'en suit que chaque personne a une certaine mesure pour ses pas, et un certain nombre de pas dans un temps donné, que, dans l'allure naturelle de la marche, elle ne peut pas dépasser.

La relation est purement mécanique. L'essieu de la grande roue correspond à l'articulation ilio-fémorale (hanche) de l'homme de haute taille, les rayons à ses jambes, et les portions de jantes à ses pieds. L'essieu, les rayons et la jante de la petite roue ont les mêmes relations avec l'articulation ilio-fémorale (hanche), les jambes et les pieds de l'homme petit. Quand un homme grand et un petit marchent ensemble, s'ils vont au pas, et font le même chemin dans le même temps, ou le grand doit raccourcir et ralentir ses pas, ou le petit les allonger et les accélérer.

La marche inclinée du berger est plus conforme à la nature que celle du soldat exercé. Elle peut se conserver plus longtemps, et admet une plus grande vitesse. Dans la marche naturelle, comme on le voit chez les paysans, les mouvements complémentaires sont tous évoqués. Dans la marche artificielle du soldat exercé, les mouvements complémentaires sont supprimés en grande partie. L'art n'a donc pas perfectionné la nature en fait de marche. Dans la marche, le centre de gravité change constamment, circonstance due aux diverses attitudes prises par les diverses parties du tronc et des membres aux diverses périodes. Toutes les parties du tronc et des membres d'un bipède, et l'on peut en dire autant d'un quadrupède, se meuvent quand s'effectue un changement local. Le tronc du bipède et celui du quadrupède en marche sont donc dans une condition analogue à celle du corps du poisson pendant la natation.

Dans la course, tous les mouvements indiqués s'exagèrent. Ainsi les pas sont plus rapides et les enjambées plus grandes. En marchant, un homme bien proportionné

de six pieds peut à peu près parcourir sa propre hauteur en deux pas. En courant il peut sans difficulté en franchir un tiers en plus.

La figure 28 représente un athlète se penchant avant de courir.

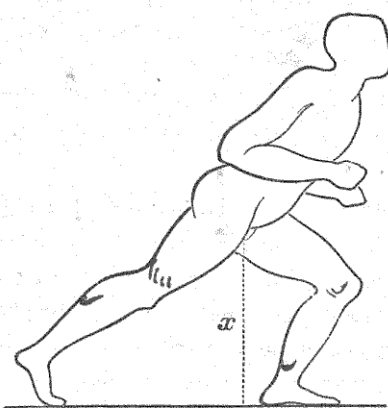


Fig. 28. — Homme se préparant à courir d'après un dessin de Flaxman. Dans la figure originale le bras droit est pendant et placé sur la cuisse droite.

On observera que la jambe gauche et le tronc s'avancent au-delà de la ligne verticale (x), et que les bras sont repliés comme les ailes rudimentaires de l'autruche, pour corriger des oscillations défavorables des épaules, occasionnées par les violentes oscillations du bassin pendant la course.

Pour que la jambe droite puisse osciller en avant, il est évident qu'il faut qu'elle se plie, que la jambe gauche s'étende et que le tronc s'élève. L'élévation du tronc lui fait prendre une position plus verticale, et cela empêche la jambe oscillante d'aller trop loin en avant ; la jambe en

mouvement tendant à osciller légèrement en arrière quand le tronc s'élève. Le corps est plus incliné en avant pendant la course que pendant la marche, et il y a une période où les deux jambes sont en même temps détachées du sol, tandis que rien de semblable ne se présente dans la marche. Dans la marche rapide la jambe qui pousse en avant agit plus ou moins obliquement sur le tronc qui est plus incliné et plus forcé en avant que dans la marche lente. Le temps où les deux jambes sont en même temps sur le sol diminue à mesure que la vitesse augmente et s'évanouit quand la vitesse est maximum. Dans la course rapide, la longueur du pas s'accroît rapidement tandis que sa durée diminue lentement; mais dans la course lente, la longueur diminue rapidement, tandis que la durée reste à peu près la même. Le temps d'un pas dans la course rapide comparé à celui d'une marche rapide est à peu près comme deux est à trois, tandis que les longueurs des pas sont dans le rapport de deux à un; en conséquence, une personne peut courir trois fois plus vite qu'elle ne marche. Ce que l'on recherche dans la course est une vitesse plus grande que celle qu'on peut acquérir en marchant. Pour y arriver, au lieu que le corps soit supporté par chaque jambe alternativement, l'action se divise en deux périodes : pendant l'une, le corps est supporté par une jambe; pendant l'autre, il ne l'est pas du tout.

La vitesse de la course est ordinairement à peu près de dix milles à l'heure, mais il y a des personnes qui, pendant une période limitée, peuvent excéder cette rapidité¹.

¹ Encycl. d'Anat. et de Phys., article « Mouvement ».

LIVRE III

PROGRESSION SUR L'EAU ET DANS L'EAU

Si nous portons notre attention sur l'eau, nous trouvons qu'elle est un milieu moins dense que la terre et considérablement plus dense que l'air. Comme cet élément, en vertu de sa fluidité, cède facilement à une pression extérieure, il s'en suit qu'une certaine relation existe entre lui et la forme, la dimension et le poids de l'animal qui y chemine.

Les animaux qui s'y meuvent le plus vite, sont ceux qui ont à peu près la même densité, ou sont un peu plus lourds, et sont munis de surfaces étendues, que par une habile courbure ou torsion (car l'une implique l'autre), ou par une contraction et une extension soudaine, ils appliquent en tout ou en partie pour obtenir le maximum de résistance dans un sens, le minimum de déplacement dans l'autre. Le changement de forme, et les mouvements particuliers de la surface natatoire sont rendus néces-

saires par ce fait, signalé pour la première fois par Sir Isaac Newton, que les corps ou les animaux se mouvant dans l'eau ou dans l'air, éprouvent une résistance sensible, qui est plus ou moins grande suivant la densité proportionnelle, la tenacité du fluide, la forme, la superficie et la vitesse de l'animal.

Pour obtenir le degré de résistance et de non-résistance nécessaire à la progression dans l'eau, la nature, qui n'est jamais en faute, a imaginé quelques expédients extrêmement ingénieux — les animaux Syringogrades qui avancent en suçant et en rejetant alternativement l'eau dans laquelle ils sont immergés, — les Méduses par une contraction et une dilatation rythmique de leur disque en forme de champignon, — les Rotifères ou animalcules à roues par une action vibratile de leurs cils, qui, suivant le Professor Quekett, se tordent sur leurs pédicelles de manière à diminuer et à augmenter l'étendue de la surface présentée à l'eau, comme il arrive dans le maniement d'une rame. Un procédé très-analogue est employé par le Ptéropode, que l'on trouve en nombre infini dans les mers septentrionales, et qui, d'après Eschricht, emploie des appendices en forme d'aile situés près de la tête comme une double pagaie, semblable dans son aspect général à celle aujourd'hui en usage chez les Groenlandais. Cependant le mouvement caractéristique adopté dans l'immense majorité des cas est celui que l'on voit ordinairement chez le poisson (fig. 29 et 30).

Il consiste, comme le savent mes lecteurs, en un mouvement curviligne, en coup de fouet ou de fléau, de la queue largement étalée qui oscille de côté et d'autre du corps, dans quelques cas avec une vitesse et un pouvoir

immenses. Les muscles chez le poisson sont, comme on l'a expliqué, arrangés le long de la colonne vertébrale, et constituent le volume de l'animal, ceci formant une loi que lorsque les extrémités manquent, comme dans le

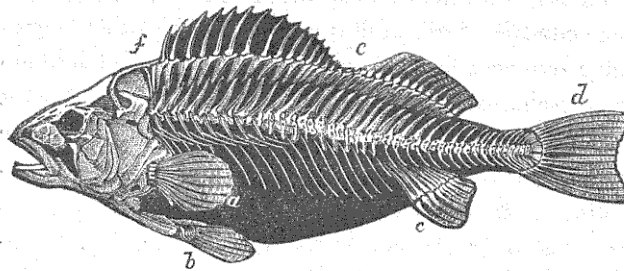


FIG. 29. — Squelette de la Perche (*Perca fluviatilis*). Il montre la nature articulée de la colonne vertébrale, et les facilités apportées au mouvement latéral, particulièrement dans la queue (*d*), les nageoires dorsales (*e f*), ventrales (*b c*) et pectorales (*a*) qui servent particulièrement à la natation. L'étendue des surfaces motrices requises pour l'eau excède de beaucoup celles requises pour le sol. Comparez la queue et les nageoires de cette figure aux pieds du bœuf, fig. 18, p. 54. — D'après Dallas.

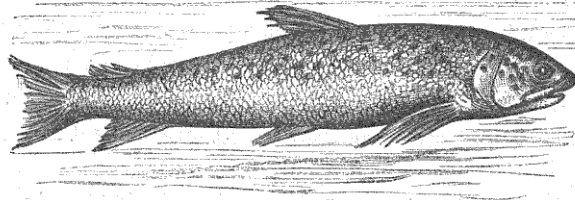


FIG. 30. — Le saumon (*Salmo salar*) nageant à loisir. On observera que le corps est plié suivant deux courbes, l'une vers la tête, l'autre vers la queue. La forme du saumon est admirablement disposée pour fendre l'eau.

serpent d'eau, ou sont rudimentaires comme chez le poisson, le lepidosiren ¹, le protéé et l'axoloti, les muscles

¹ Le lepidosiren est muni de deux corps effilés, flexibles, rameux, qui dépendent de la partie antérieure ventrale de l'animal,

du tronc sont très-développés. Dans de tels cas, le fardeau de la locomotion tombe surtout, sinon entièrement, sur la queue et la portion inférieure du corps. On voit bien l'effet de cette loi dans la métamorphose du têtard, où les muscles du tronc et de la queue se modifient, et où la queue elle-même disparaît quand les membres de la grenouille sont tout à fait développés. La même loi domine dans certains exemples où les extrémités antérieures sont comparativement parfaites, mais trop petites pour nager comme dans la baleine, le marsouin, le dugong et le lamantin, et où les extrémités antérieures et postérieures existent à la fois, mais très-réduites comme chez le crocodile, le triton et la salamandre. La baleine, le marsouin, le dugong et le lamantin emploient leurs membres antérieurs pour s'équilibrer, se retourner, mais leur grand organe de locomotion étant la queue. On peut en dire autant du crocodile, du triton et de la salamandre, qui ne se servent de leurs extrémités que d'une manière tout à fait secondaire par rapport à leur queue. Les mouvements particuliers du tronc et de la queue appliqués à la natation se voient dans les meilleures conditions chez le poisson, et doivent être maintenant brièvement décrits.

Natation du Poisson, de la Baleine, du Marsouin, etc.

— Suivant Borelli ¹ et tous ceux qui ont écrit depuis ce temps, le poisson en nageant fait vibrer sa queue de

la sirène ayant dans la même région deux paires de membres rudimentaires garnis de quatre doigts imparfaits, tandis que le protée a ses extrémités antérieures armées chacune de trois doigts et une très-faible extrémité postérieure terminée par deux doigts.

¹ Borelli, « De motu animalium, » planche 4, fig. 5. 2 vol. in 4°. Rome. 1680.

chaque côté d'une ligne donnée, absolument comme un gouvernail est mis en oscillation par le mouvement de sa barre. La ligne dont il est question, correspond à l'axe du poisson, quand il est en repos et son corps droit, et au parcours suivi par le poisson quand il nage. Il représente donc l'axe du poisson et l'axe du mouvement. Selon sa théorie, la queue, quand elle se courbe ou se fléchit pour faire ce que l'on appelle le coup d'arrière ou non efficace, s'éloigne avec force de la ligne imaginaire, sa surface courbée, concave, *mordante*, étant dirigée vers l'extérieur. Lorsque, d'autre part, la queue s'étend pour faire ce que l'on appelle le coup efficace ou d'avant elle se presse vers la ligne imaginaire, sa surface convexe ou non-mordante étant dirigée intérieurement.

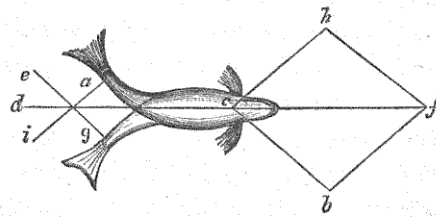


FIG. 31. — Natation du Poisson. — D'après Borelli.

Quand la queue du poisson frappe dans la direction $a i$, on dit que la tête du poisson voyage dans la direction $c h$. Quand la queue frappe dans le sens $g e$, on dit que la tête voyage dans le sens $c b$; ces mouvements, lorsque la queue s'agit avec une vitesse suffisante, font mouvoir le corps du poisson suivant la ligne $d c f$. L'explication est satisfaisante en apparence; mais une analyse attentive de la natation du poisson vivant me porte à la croire incorrecte. Selon cette opinion, communément admise, la queue

éprouverait une plus grande résistance pendant le coup d'arrière, c'est-à-dire pendant que la queue s'écarte de l'axe du mouvement ($d c f$) que pendant le coup d'avant, ou lorsqu'elle s'étend et se rapproche de l'axe du mouvement. C'est une conséquence de ce que la surface concave de la queue s'applique à l'eau pendant ce qu'on appelle le coup d'arrière ou inefficace, et la surface convexe pendant ce que l'on appelle le coup d'avant ou efficace. C'est juste l'opposé de ce qui arrive effectivement, et ce qui a conduit Sir John Lubbock à déclarer qu'il y avait une période pendant laquelle l'action de la queue ramenait le poisson en arrière, ce qui est évidemment erroné. Il y a encore une difficulté. Quand la queue du poisson est poussée dans le sens $g e$, la tête ne se meut pas dans la direction $c b$, comme on le dit, mais dans la direction $c h$, le corps du poisson décrivant l'arc de cercle, $a c h$. C'est un fait d'observation. Si un poisson au repos force tout d'un coup sa queue d'un côté et courbe son corps, le poisson décrit dans l'eau une courbe correspondante à la forme prise par le corps. Si la concavité de la courbe du corps est dirigée vers le côté droit, le poisson nage dans une courbe vers ce côté. A cela il n'y a pas d'exception, comme chacun peut facilement s'en convaincre en observant les mouvements d'un poisson rouge dans un vase. L'observation et l'expérience m'ont convaincu que quand un poisson nage, il ne projette jamais son corps suivant une courbe simple, comme celle de la fig. 31, p. 93, mais toujours en une double ou figure en 8 comme on le voit dans la fig. 32 ¹.

¹ C'est seulement quand le poisson veut se retourner qu'il force son corps à parcourir une courbe simple.

La double courbe est nécessaire pour permettre au poisson de présenter une surface convexe ou non mordante (*c*) à l'eau pendant la flexion (coup d'arrière des auteurs), quand il éloigne avec force la queue de l'axe du mouvement, et une surface concave ou mordante (*s*) pendant l'extension (coup d'avant ou coup efficace des auteurs), ou la queue est poussée avec une énergie croissante vers l'axe du mouvement (*a b*); la résistance

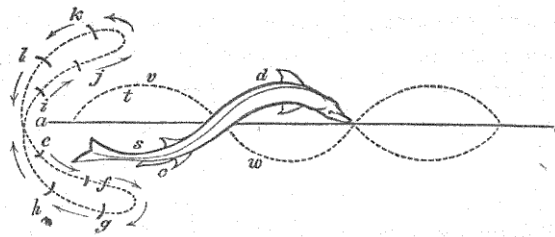


FIG. 32. — Natation de l'Esturgeon. D'après nature. Comparez aux fig. 18 et 19, p. 54 et 56; fig. 23, p. 62, et fig. 64 à 73, p. 192, 195 et 199. — *Originale*.

occasionnée par une surface concave comparée à celle d'une convexe étant dans le rapport de deux à un. La courbe double ou complémentaire suivant laquelle le poisson force son corps en nageant, est nécessaire pour corriger la tendance de la tête du poisson à se mouvoir dans la même direction ou du même côté que celui où se tourne la queue. Dans la natation, le corps du poisson décrit un parcours ondulé, mais cela ne peut avoir lieu que quand la tête et la queue du poisson voyagent dans des directions opposées et sur les côtés d'une ligne droite donnée, comme on l'a représenté fig. 32. Les parties antérieures et postérieures du poisson occupent alternativement les positions indiquées par *d c* et *w v*; le poisson

oscillant de chaque côté d'une ligne donnée, et glissant par un mouvement sinueux et ondulé.

J'ai représenté le corps du poisson comme replié en deux courbes, parce qu'il n'y en a jamais moins. Je les ai appelées courbes céphalique (*d*) et caudale (*c*) à cause de leurs positions respectives. Dans les poissons à long corps tels que les anguilles, le nombre des courbes s'accroît, mais en tout cas les courbes vont par paires et sont complémentaires. Les courbes caudales et céphaliques non-seulement se complètent l'une l'autre, mais encore se servent mutuellement de support, la courbe céphalique avec l'eau qu'elle contient formant le point d'appui de la caudale et *vice versa*. Le poisson en nageant frappe avec sa queue d'un côté et de l'autre, absolument comme une rame frappe d'un côté et de l'autre quand on godille. Elle décrit donc une figure en forme de 8 dans l'eau (*efghijkl* de la fig. 32). Pendant chaque coup ou mouvement latéral la queue est étendue, puis fléchie. Elle s'étend et sa courbe se réduit en se rapprochant de la ligne *ab* (fig. 32), se fléchit et forme une nouvelle courbe, quand elle s'éloigne de la ligne en question. La queue agit efficacement comme propulseur pendant l'extension et pendant la flexion, de sorte que, strictement parlant, la queue n'a pas de coup de retour ou coup inefficace. Les termes d'efficace et d'inefficace employés par les auteurs ne peuvent s'appliquer que dans un sens comparatif et restreint : la queue opère toujours, mais est un propulseur moins efficace quand elle se fléchit ou se courbe, que quand elle s'étend ou se redresse. Mais dirigeant toujours la concavité de sa queue (*s* et *t*) vers l'axe du mouvement (*ab*) pendant l'extension, et sa convexité (*c* et *v*) loin de cet

axe (*a b*) pendant la flexion, le poisson exerce la plus grande quantité de puissance propulsive avec la moindre quantité de glissement. Dans l'extension de la queue, la courbe caudale se réduit à mesure que la queue se rapproche de la ligne *a b*. Dans la flexion, se forme une nouvelle courbe (*v*) pendant que la queue s'éloigne de la ligne *ab*. Tandis que la queue passe de *s* en *t*, la tête passe de *d* en *w*. Il y a donc une période qui doit être fort courte où les courbes céphalique et caudale cessent d'exister, où le corps du poisson est droit et peut avancer sans obstacle. Les différents degrés de résistance éprouvés par la queue en décrivant ses mouvements en forme de 8, sont représentés par les courbes de diverses dimensions, *ef*, *gh*, *ij* et *kl* (fig. 32, p. 95). Les courbes *ef* indiquent la résistance éprouvée par la queue pendant la flexion quand elle s'éloigne à droite de la ligne *ab*. Les courbes *gh* indiquent la résistance éprouvée par la queue quand elle s'étend et se rapproche de la ligne *ab*. Cela constitue une demi-vibration ou oscillation de la queue. Les courbes *ij* indiquent la résistance éprouvée par la queue lorsqu'elle est une seconde fois fléchie et éloignée de la ligne *ab* vers la gauche. Les courbes *kl* indiquent la résistance éprouvée par la queue lorsqu'elle est une seconde fois étendue et rapprochée de la ligne *ab*. Cela constitue une vibration complète. Ces mouvements se répètent en succession rapide, aussi longtemps que le poisson continue à nager en avant. Ils varient seulement quand le poisson veut se retourner; dans ce cas la queue donne des coups simples soit à gauche soit à droite suivant que le poisson veut tourner à gauche ou à droite. La résistance éprouvée par la queue dans les positions *ef* et *ij*, est diminuée parce que

la queue est légèrement comprimée, parce qu'elle se meut plus lentement et parce que le poisson tourne autour de son grand axe de manière à présenter obliquement la queue à l'eau. La résistance éprouvée par la queue dans les positions *gh* et *kl*, s'accroît parce que la queue s'étale, qu'elle se meut avec plus d'énergie, et parce que le poisson tourne sur son grand axe de manière à présenter le plat de la queue à l'eau. Les mouvements de la queue se ralentissent quand elle s'éloigne de la ligne *ab*, et s'accroissent quand elle s'en rapproche. Ce n'est pas tout. Quand la queue s'éloigne lentement de la ligne *ab*, elle laisse derrière elle un courant, qui rencontrant la queue lorsqu'elle revient avec une vitesse croissante vers la ligne *ab*, accroît énormément la prise de la queue sur l'eau et par suite son pouvoir propulseur. On peut dire que la queue agit sans frottement et produit précisément la quantité de courants qui lui apporte la plus grande surface d'appui. Sous ce rapport la queue du poisson est infiniment supérieure comme organe propulseur à toutes les formes d'hélice imaginées jusqu'à présent. L'hélice à présent employée dans la navigation cesse d'être effective lorsqu'elle est poussée au delà d'une certaine vitesse. L'hélice formée par la queue du poisson, en vertu de son action réciproque et de la manière dont alternativement elle évite et saisit l'eau, devient plus effective à mesure qu'augmente la rapidité de ses vibrations. Les remarques que nous faisons en ce moment sur la queue et l'eau sont également vraies à propos de l'aile et de l'air. La queue et l'aile agissent d'après un principe commun. On peut donc établir une certaine analogie entre l'eau et l'air comme milieux et entre la queue et les extrémités, comme

instruments de locomotion. Il suit de là que l'eau et l'air subissent l'action de courbes ou de pressions ondulatoires émanant dans un cas de la queue du poisson, dans l'autre de l'aile de l'oiseau, les courbes réciproques et contraires en lesquelles se projettent la queue et l'aile en nageant et en volant constituant les hélices mobiles ou vis, qui, pendant leur action, produisent l'espèce et le degré précis de pression appropriés aux milieux fluides, et auxquels ils correspondent avec la plus grande promptitude. Le corps du poisson tout entier est en action quand il nage; mais comme la queue et la partie inférieure du tronc sont plus libres dans leur mouvement que la tête et la partie supérieure, qui sont plus rigides, et parce que les tendons d'un grand nombre de muscles s'insèrent dans la queue, les oscillations sont plus grandes dans la direction de cette dernière. Les mouvements musculaires se propagent en ondes spirales d'avant en arrière; et les ondes de force réagissent sur l'eau et font glisser le poisson en avant suivant une série de courbes. Puisque la tête et la queue, comme on l'a dit, voyagent toujours suivant des directions opposées, et que le poisson alterne ou change constamment de côté, il décrit en réalité une courbe ondulée. Ces remarques peuvent être facilement vérifiées par l'observation de la natation de l'esturgeon dont les mouvements sont particulièrement lents et réfléchis. Le nombre des courbes suivant lesquelles le poisson se projette en nageant, s'accroît chez les poissons à long corps, comme les anguilles, et diminue chez ceux dont le corps est court ou comparativement dépourvu de flexibilité. D'après la diminution proportionnelle des courbes suivant lesquelles le corps se projette pendant la natation, le degré de rota-

100 PROGRESSION SUR L'EAU ET DANS L'EAU

tion des nageoires ou de la queue augmente, quelques poissons comme le maquereau se servant de la queue beaucoup à la manière d'une hélice de bateau à vapeur. On peut ainsi dire que le poisson entraîne l'eau en deux directions, c'est-à-dire d'arrière en avant par une torsion ou mouvement hélicoïdal de son corps autour de son grand axe, et latéralement en faisant décrire à ses portions antérieure et inférieure des courbes opposées. Les nageoires pectorales et autres quand elles agissent, le font aussi suivant des courbes, leur mouvement, comme dans le corps lui-même, se transmettant en ondes spirales ; et il est digne de remarque que l'aile de l'insecte, de la chauve-souris et de l'oiseau obéit à des impulsions semblables, l'aile étant, comme je vais le montrer à présent, un organe essentiellement spiral.

La torsion des nageoires pectorales se voit bien chez la perche commune (*Perca fluviatilis*) et encore mieux dans l'Épinoche (*Gasterosteus spinosus*), qui fréquemment, la dernière surtout, nagent seulement avec leur aide ¹. Dans l'Épinoche les nageoires pectorales sont si délicates et se plient avec tant de vigueur qu'elles peuvent échapper à l'œil, surtout quand elles sont en mouvement. L'action des nageoires peut se renverser à volonté, de manière que ce n'est pas chose rare que de voir l'épinoche avancer la queue la première. Les nageoires sont tournées ou tordues et leur marge libre animée de mouvements spiraux qui ressemblent de près à ceux qui animent les ailes des insectes ².

¹ Les Syngnathes ou poissons tubes nagent surtout par les ondulations de leur nageoire dorsale.

² Si l'on doit regarder les nageoires pectorales comme les ho-

La rotation du poisson autour de son grand axe se voit dans les meilleures conditions, chez le requin et l'estur-

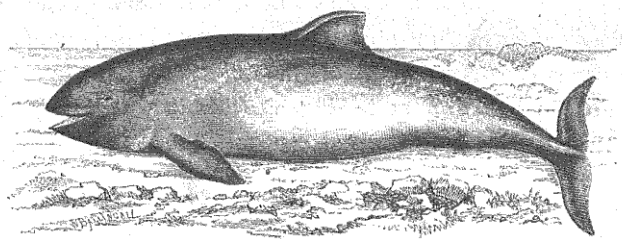


Fig. 33. — Le Marsouin (*Phocaena communis*). La queue y sert principalement à la natation, les extrémités antérieures étant rudimentaires et ressemblant aux nageoires pectorales des poissons. Comparez à la fig. 30, p. 91. — *Originals*.

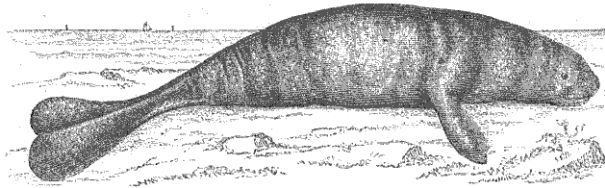


Fig. 34. — Le Lamantin (*Manatus Americanus*). Les extrémités antérieures sont plus développées que chez le Marsouin, mais la queue est encore le grand organe de locomotion. Comparez aux fig. 33 et 30, p. 101 et 91. La forme du Lamantin et du Marsouin est essentiellement celle d'un poisson. — *Originale*.

mologues des extrémités antérieures (ce qu'elles sont incontestablement), il n'est pas étonnant d'y retrouver clairement les mouvements rotatoires qui sont observables dans les extrémités des quadrupèdes et si pleinement développés dans les ailes des chauves-souris et des oiseaux. « Les muscles des nageoires pectorales, remarque le professeur Owen, quoique très-petits, peu nombreux et simples quand on les compare à ceux des membres homologues des vertébrés plus élevés, suffisent cependant pour tous les mouvements requis des nageoires, — les élevant, abaissant, avançant, et par un coup oblique, les opposant encore prones et aplatis sur les côtés du corps. Les rayons ou doigts à la fois des pectorales et des ventrales (celles-ci analogues des extrémités postérieures) peuvent s'écarter et se rapprocher, et les membranes intermédiaires s'étaler ou se replier. » — *Op. cit.*, vol. I, p. 252.

geon, dont le premier a besoin de se tourner de côté pour saisir sa proie, et chez les syngnathes dont les mouvements sont exceptionnellement lents. La torsion de la queue est parfois bien marquée dans la natation de la salamandre. Chez les remarquables mammifères, la baleine¹, le marsouin, le lamantin et le dugong (fig. 33, 34 et 35), les mouvements sont strictement analogues à ceux du pois-

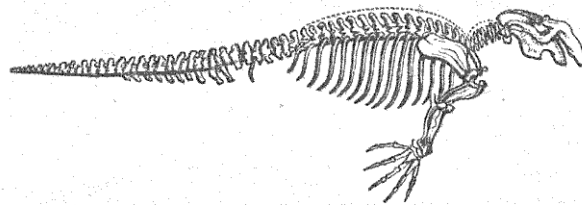


FIG. 35. — Squelette de Dugong. Dans ce curieux animal les extrémités antérieures sont plus développées que dans le lamantin et le marsouin, et ressemblent à ce qu'on trouve dans le phoque, l'ours marin et le morse, elles servent à maintenir l'équilibre et à tourner, la queue étant le véritable instrument de propulsion. La colonne vertébrale ressemble beaucoup à celle d'un poisson et permet à la queue de fouetter dans une direction verticale. — Comparez à la fig. 29, p. 91. — D'après Dallas.

son, la seule différence étant que la queue agit de haut en bas ou verticalement au lieu d'agir latéralement. Les extrémités antérieures, qui chez ces animaux sont relativement parfaites, tournent sur leurs grands axes, et s'appliquent obliquement ou non obliquement à l'eau, pour aider à l'équilibre et aux détours. La natation est accomplie presque exclusivement par la queue et la moitié inférieure du tronc, la queue de la baleine exerçant un prodigieux pouvoir.

Il en est tout autrement chez les raies dont les mem-

¹ Voyez « Remarques sur la natation des Cétacés, » par le Dr Murie. Procès verbaux de la Soc. Zool., 1865, p. 210.

bres surtout servent à la progression, et battent l'eau à fort peu près comme les ailes d'un oiseau battent l'air. Chez le castor la queue est aplatie transversalement comme chez les mammifères précédents, mais, en nageant, il la fait agir latéralement comme les poissons. La queue de l'oiseau qui est aussi comprimée de bas en haut peut se tordre obliquement et quand elle est dans cette position faire l'office d'un gouvernail.

Natation du phoque, de l'ours marin et du morse. — Chez le phoque, les extrémités antérieures et postérieures sont plus parfaites que chez la baleine, le marsouin, le dugong et le lamantin; la forme générale et le mode de progression (si l'on tient compte de ce fait qu'ils nagent à l'occasion sur le dos) sont essentiellement semblables à ceux du poisson.

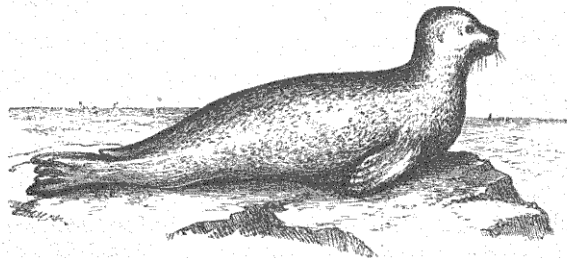


FIG. 36. — Le Phoque (*Phoca fatida*, Mull.), approprié principalement à l'eau. Les extrémités sont plus grandes que chez le marsouin et le lamantin. Comparez aux fig. 33 et 34, p. 101. — *Originale*.

On rencontre dans la natation du phoque une particularité sur laquelle je crois bon d'appeler l'attention. Quand la portion inférieure et les extrémités postérieures du corps de ces êtres sont fléchies et creusées, comme il

104 PROGRESSION SUR L'EAU ET DANS L'EAU

arrive pendant le coup de retour ou le moins effectif, les pieds naturellement étendus sont plus ou moins complètement serrés ou pressés l'un contre l'autre, afin de diminuer l'étendue de la surface présentée à l'eau, et comme conséquence, de réduire la résistance produite. Les pieds sont ouverts au plus haut degré pendant l'extension quand est donné le coup le plus efficace, et dans ce cas, présentent leur maximum de surface. Ils forment de puissants propulseurs, à la fois pendant la flexion et l'extension.

L'appareil natatoire du phoque est donc beaucoup plus compliqué que celui de la baleine, du marsouin, du dugong et du lamantin, la queue natatoire de ces animaux étant par sa nature incapable de compression latérale ¹. Il semblerait que les organes natatoires des phoques (chez lesquels les pieds s'ouvrent et se ferment comme chez les oiseaux nageurs) sont à ceux des mammifères en général, ce que les plumes des ailes de l'oiseau (celles-ci aussi s'ouvrent et se ferment pendant le vol) sont à la membrane continue formant l'aile de l'insecte et de la chauve-souris.

Les extrémités antérieures ou pattes palmées du phoque ne servent pas à la natation, mais seulement à l'équilibre et aux changements de position. Quand ils sont ainsi employés, les pieds de devant s'ouvrent et se ferment quoique dans une étendue moindre que ceux de derrière; la résistance et la non-résistance nécessaires étant assurées par une rotation partielle et une inclinai-

¹ Dans quelques exemples, la nageoire caudale du poisson est, comme on l'a déjà dit, plus ou moins comprimée pendant le coup de retour, la compression et la torsion de la queue ayant lieu synchroniquement.

son des pieds palmés. Par cette torsion et cette détorsion, les bords étroits et les portions plus larges des palmes s'appliquent alternativement à l'eau. La rotation et l'inclinaison des extrémités antérieures et postérieures, et l'ouverture et la fermeture des mains et des pieds pour le balancement et la natation du phoque, forment une série de mouvements strictement progressifs et très-gracieux. Ils sont cependant accomplis si rapidement et se fondent si rapidement l'un dans l'autre qu'ils rendent leur analyse excessivement difficile.

Chez l'Ours marin (*Otaria jubata*) les extrémités antérieures acquièrent une taille et une puissance suffisantes pour permettre à l'animal d'avancer avec leur aide seule; les pieds et les parties inférieures du corps se mouvant seulement assez pour maintenir, corriger et changer le

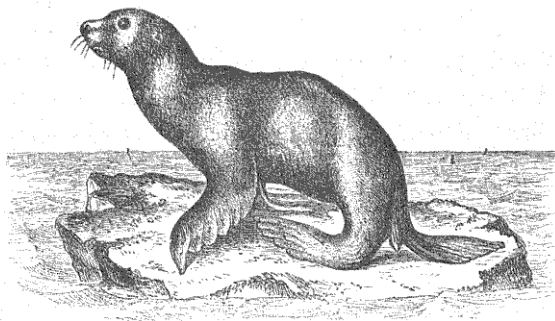


FIG. 37. — L'Ours marin (*Otaria jubata*), disposé surtout pour nager et plonger. Il marche aussi avec une tolérable facilité. Ses extrémités sont plus grandes que celles du Phoque, et ses mouvements à la fois dans l'eau et hors de l'eau plus variés. — *Originale*.

parcours suivi (fig. 37). Les extrémités antérieures sont aplaties et ressemblent grandement à des ailes, particulièrement à celles du grand et du petit pingouin qui sont ru-

dimentaires. Ainsi elles ont une marge antérieure épaisse et comparativement raide. Elles ont une structure en forme de vis ; et quand elles s'élèvent ou s'abaissent dans l'eau, elles se tordent et se détordent, à la façon d'une vis, précisément comme le font les ailes ou les queues des poissons, de la baleine, du dugong et du lamantin.

Cette remarquable créature que j'ai observée à plusieurs reprises au jardin zoologique ¹ à Londres, semble voler dans l'eau, les jointures universelles qui attachent les bras aux épaules lui permettant par leur torsion et leur rotation partielle de présenter la paume ou le plat de la main à l'eau pendant un instant, le bord ou partie étroite, pendant l'autre. Dans la natation les marges antérieures ou épaisses des pattes palmées se *dirigent vers le bas*, et l'on doit faire des remarques semblables sur les extrémités antérieures du morse, du grand pingouin et de la tortue ².

Les pieds palmés avancent alternativement, et la torsion, le mouvement hélicoïdal qu'ils exécutent et que j'ai soigneusement noté en plusieurs occasions, a une grande ressemblance avec les mouvements observés dans les nageoires pectorales des poissons. On peut remarquer que la torsion ou mouvement spiral des extrémités anté-

¹ Les occasions extraordinaires présentées par cette admirable collection m'ont permis de déterminer avec une grande exactitude les mouvements des ailes et des pieds des oiseaux dans l'eau et hors de l'eau. J'ai aussi étudié dans les circonstances les plus favorables, les mouvements de la loutre, de l'ours marin, du phoque, du morse, du marsouin, de la tortue, du triton, du crocodile, du lépidosiren, du protée, de l'axoloti et des diverses classes de poissons.

² C'est le contraire de ce qui a lieu pendant le vol, les marges épaisses antérieures étant invariablement dirigées vers le haut.

rieures est calculée pour utiliser l'eau le plus possible, l'opération graduelle mais rapide de l'hélice permettant à l'animal de tenir ferme l'eau et de se dégager avec une étonnante facilité et avec la moindre dépense de puissance. En fait, le mouvement insinuant de la vis est le seul qui puisse s'appliquer avec succès à l'élément liquide; et il me semble que cette remarque est même encore plus vraie pour l'air. Elle s'applique aussi dans certaines limites, comme on l'a expliqué, au sol. L'Otaria ou Ours marin nage, ou plutôt vole, sous l'eau avec une adresse remarquable et en apparence avec égale facilité en haut, en bas, horizontalement, par ses efforts musculaires seuls, observation qui peut être également faite sur un grand nombre de poissons chez lesquels la vessie natatoire est entièrement absente ¹. Comparez aux figures 33, 34, 35 et 36, p. 101, 102 et 103.

Le Morse, dont j'ai eu l'occasion d'examiner fréquemment un spécimen vivant, est proche parent du phoque et de l'ours marin, mais diffère de tous les deux par sa manière de nager. La natation de ce rare et singulièrement intéressant animal est, comme j'ai eu beaucoup de peine à m'en assurer, effectuée par un mouvement mixte, les parties antérieures et postérieures y participent à peu près à un égal degré. Les extrémités antérieures des pieds palmés du morse ressemblent morphologiquement à celles du phoque mais physiologiquement à celles de l'ours de mer; les extrémités postérieures possèdent plusieurs des particularités des pieds de derrière de l'ours marin, mais développent les mouvements particu-

¹ La vessie natatoire manque chez les dermoptères, les plagiotomes, et les pleuronectides. — Owen, op. cit., p. 255.

liers à ceux du phoque. En d'autres termes les extrémités antérieures ou pieds palmés du morse se meuvent alternativement et réciproquement comme chez l'ours marin ; tandis que les extrémités postérieures frappent latéralement par un mouvement curviligne de torsion, précisément comme chez le phoque. Le morse peut donc, en ce qui concerne la physiologie de ses extrémités, être très-justement regardé comme occupant une position intermédiaire entre les Phoques, d'une part, les ours ou lions marins de l'autre.

Natation de l'homme. — La natation de l'homme est artificielle de sa nature et par conséquent ne rentre pas, strictement parlant, dans le cadre de cet ouvrage. J'en parle principalement en vue de montrer qu'elle ressemble dans ses traits généraux à la natation des animaux.

Le corps humain est plus léger que l'eau, fait d'une importance pratique considérable, comme montrant que chacun possède en lui-même ce qui l'empêchera de se noyer, s'il respire naturellement et s'abstient de lutter.

La catastrophe de la noyade doit être ordinairement rapportée à une agitation nerveuse, et aux efforts spasmodiques et mal dirigés des extrémités. Tous les nageurs ont un vivant souvenir de la grande difficulté qu'ils ont éprouvée à se tenir sur l'eau, quand ils se sont pour la première fois livrés aux exercices et aux amusements aquatiques. Ils se rappellent spécialement les coups courts, vigoureux, désordonnés, mal dirigés et par conséquent inutiles qui, au lieu de leur faire raser la surface, les conduisaient fatalement au fonds. Imprimés d'une manière aussi indélébile dans son souvenir, sont encore

ses vains efforts pour respirer, aspirer, souffler, et l'eau avalée par mégarde au lieu d'air.

Pour bien nager, l'opérateur doit être parfaitement calme. Il doit de plus savoir comment appliquer ses extrémités à l'eau en vue d'avancer. Comme on l'a déjà dit, le corps flottera si on l'abandonne à lui-même ; on peut cependant accroître grandement le soutien qu'il reçoit en le projetant le long de la surface de l'eau. On peut, comme tous les nageurs le savent, prouver ceci par expérience. C'est le même principe qui empêche de plonger une pierre mince plate projetée avec force contre la surface de l'eau. On obtient un résultat précisément semblable si l'on se place le corps incliné dans un fort courant en se tenant par les mains à une pierre ou une branche. Dans ce cas le corps s'élève à la surface par l'action de l'eau courante, et reste lui-même sans mouvement. La quantité d'eau qui dans ces circonstances heurte contre le corps dans un temps donné est beaucoup plus grande que si le corps était simplement immergé dans l'eau tranquille. Pour augmenter la surface de soutien, le milieu supportant ou le corps supporté doivent se mouvoir. Le corps est supporté dans l'eau à très-peu près comme un cerf-volant est supporté dans l'air. Dans les deux cas, le corps et le cerf-volant reçoivent le choc de l'air suivant un petit angle dirigé vers le haut. Quand les extrémités sont mises en mouvement dans une direction horizontale ou légèrement descendante, elles poussent immédiatement et soutiennent le corps. Quand cependant elles agissent dans une direction ascendante, comme dans le plongement, elles submergent le corps. Cela montre que les mouvements de la natation peuvent, suivant leur direc-

tion, augmenter ou diminuer la faculté de surnager. Les surfaces natatoires permettent au phoque, à l'ours marin, à la loutre, à l'ornithorhynque, à l'oiseau, etc., de disparaître sous la surface de l'eau et d'y revenir. On peut faire de semblables remarques sur la baleine, le dugong, le lamantin et le poisson.

Pour savoir nager, l'homme doit l'apprendre. Il doit subir un apprentissage plus ou moins long de cette nouvelle forme de locomotion, et acquérir un nouvel ordre de mouvements. Il en est autrement de la majorité des animaux. Presque tous les quadrupèdes peuvent nager dès la première fois qu'ils sont immergés, comme on peut facilement s'en assurer en jetant dans l'eau un chat ou un chien nouveau-né. On peut en dire autant d'un grand nombre d'oiseaux. On peut s'en rendre compte par ce fait que les quadrupèdes et les oiseaux sont à volume égal plus légers que l'eau, mais plus spécialement parce que les mouvements faits par leurs extrémités en marchant et en courant sont précisément ceux requis pour la natation. Tels qu'ils sont, ils n'ont rien à apprendre. Ils flottent naturellement, et s'ils remuent tant soit peu leurs jambes, ce qu'ils font naturellement, ils nagent nécessairement. Il en est autrement de l'homme. Les mouvements qu'il fait en marchant et en courant ne sont pas ceux qu'il fait en nageant ; et aucune des positions qu'il prend pendant la natation ne le caractérise sur la terre. Sa position verticale ne convient pas à l'eau, et en conséquence il doit l'abandonner et en prendre une horizontale ; il lui faut, en effet, se jeter à plat sur la mer, soit sur un côté, soit sur la face dorsale ou ventrale. Cette position l'assimile au quadrupède, à l'oiseau, au poisson

et à tout ce qui nage, le tronc de tous les animaux nageurs prenant une position inclinée. Quand il s'est placé horizontalement, le nageur peut avancer dans la direction qui lui plaît. Ses extrémités sont tout à fait libres et n'ont qu'à se mouvoir dans une direction définie pour produire des résultats définis. Le corps peut être poussé par les deux bras ou les deux jambes, ou par la jambe et le bras droit ou par la jambe et le bras gauche, ou par le bras droit et la jambe gauche, ou par le bras gauche et la jambe droite. On avance le plus vite en employant les deux bras et les deux jambes. Un adroit nageur peut faire ce qu'il veut dans l'eau. Ainsi, il peut se jeter sur le dos et étendre ses bras obliquement au-dessus de sa tête jusqu'à ce qu'ils soient dans le même plan que le corps, et peut flotter sans aucun effort; ou gardant cette position croiser ses bras sur la poitrine, et fléchissant et étendant ses extrémités inférieures se pousser avec facilité et considérable vitesse; ou gardant ses jambes étendues et sans mouvement, il peut s'avancer en tenant ses bras collés au corps, et faisant agir ses mains comme de petites rames de manière à faire dans l'eau des boucles en forme de 8. Ce mouvement ressemble beaucoup à celui que font les ailes natatoires du pingouin. Il est plus efficace quand les mains sont tournées légèrement vers le haut et donnent un coup plus ou moins fort en arrière chaque fois qu'elles reviennent. La progression est d'abord lente, mais elle devient ensuite très-rapide, la rapidité croissant avec la quantité de mouvement préalablement acquise. Le nageur outre les méthodes précédentes peut se jeter sur la face et, en fléchissant ou étendant alternativement ses bras et ses jambes, peut flotter et se pousser pendant longtemps.

avec parfaite sécurité et relativement peu d'efforts. Il peut aussi prendre la position verticale, en restant parfaitement immobile ou en frappant l'eau de ses pieds sans risquer de s'enfoncer ; bien plus, il peut faire la culbute dans l'eau soit en avant soit en arrière. La position la plus communément adoptée en nageant est celle de la pronation, où la surface ventrale du corps est dirigée vers l'eau. Dans ce cas, les extrémités antérieures et postérieures sont simultanément fléchies et rapprochées lentement du corps, puis rapidement étendues.

La natation de la grenouille donne une idée de ce mouvement ¹. Dans la natation ordinaire, quand les extrémités antérieures et postérieures sont simultanément fléchies, et ensuite successivement étendues, les mains et les pieds décrivent quatre ellipses ; disposition qui, comme on l'a expliqué, accroît la surface et le support présentés par les parties mobiles. Les ellipses se voient fig. 38 ; les lignes continues représentent l'extension, les pointillées la flexion.

Ainsi quand les bras et les jambes s'éloignent du corps, les bras décrivent les côtés intérieurs des ellipses (fig. 38, *aa*), les jambes les côtés extérieurs (*cc*). Quand les bras et les jambes se rapprochent du corps, les bras décrivent les côtés extérieurs des ellipses (*bb*), et les jambes les côtés intérieurs (*dd*). Quand le corps avance, les ellipses s'ouvrent et forment des boucles, comme en *ee*, *ff* (fig. 39). Si la vitesse atteinte est suffisamment élevée,

¹ La grenouille nageant à loisir fait souvent mouvoir ses extrémités en diagonale et alternativement. Mais quand elle est poursuivie et alarmée, elle replie ses pattes de devant, et fait exécuter simultanément et avec une grande vigueur à celles de derrière une série de saccades semblables à celles que fait l'homme en nageant sur le dos.

les boucles se convertissent en lignes ondulées, comme dans la marche et le vol. (Voyez *gg*; *hh*, fig. 40, et comparez aux fig. 18, p. 54, et 71 et 73, p. 199.) La natation de

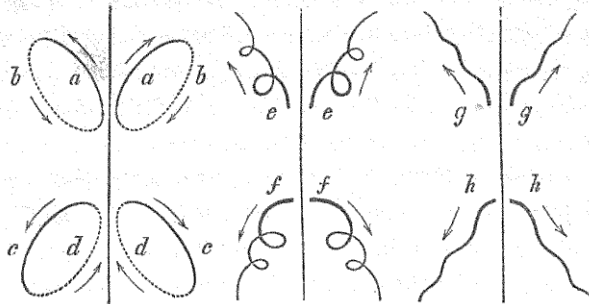


FIG. 38.

FIG. 39.

FIG. 40.

l'homme, comme la marche, la natation et le vol des animaux, s'effectue en fléchissant et étendant les membres, comme on le voit dans la fig. 41, A, B, C.

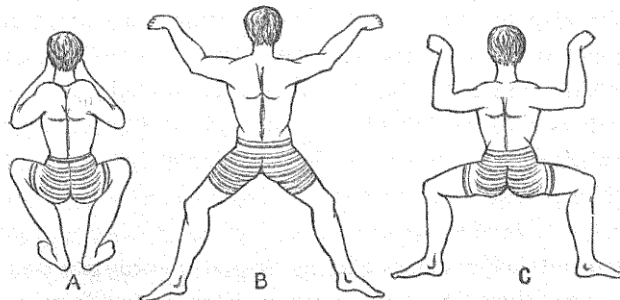


FIG. 41. — A montre les jambes et les bras fléchis ou pliés et rapprochés de la ligne médiane du corps. — *Originale*.

B montre les jambes et les bras écartés ou étendus et éloignés de la ligne médiane du corps. — *Originale*.

C montre les bras et les jambes dans une position intermédiaire, c'est-à-dire, quand ils ne sont ni fléchis ni étendus. Les bras et les jambes doivent avoir la position représentée en A avant de pouvoir prendre celle représentée en B, et il leur faut passer par la position B avant d'arriver à la position C. Quand les bras et les jambes prennent successivement les positions indiquées en A, B et C, ils se meuvent, comme on l'a expliqué, suivant des ellipses. — *Originale*.

PETTIGREW.

8

En fléchissant et étendant les membres, les angles faits par les diverses parties diminuent et augmentent, disposition qui diminue et augmente le degré de résistance éprouvée par les surfaces natatoires, qui par ce moyen évitent et saisissent l'eau tour à tour. Ce résultat est en outre assuré par les membres mis en mouvement plus lentement pendant la flexion que pendant l'extension, et par les membres mis en rotation dans la direction de leur longueur de manière à diminuer la résistance éprouvée dans le premier mouvement et à l'accroître pendant le second. Quand les bras sont étendus, les paumes des mains et les surfaces intérieures des bras sont dirigées vers le bas, et aident à faire surnager la partie antérieure du corps. Les mains se tournent légèrement vers la fin de l'extension, les paumes agissant vers le bas et l'extérieur (fig. 41, B). Les surfaces postérieures des bras prennent part à ce mouvement. Les paumes et les portions postérieures des bras contribuent à la propulsion du corps. Pendant que les bras sont fléchis, le plat de la main est dirigé vers le bas (fig. 41, C). Vers la fin de la flexion, les mains s'abaissent légèrement, ce qui a pour effet de pousser le corps en haut et de produire ce balancement ou mouvement ondulatoire vertical que l'on observe chez la majorité des nageurs ¹.

Pendant la flexion, les surfaces postérieures des bras agissent puissamment comme propulseurs en frappant l'eau obliquement en arrière. J'évite les termes de coup d'avant et de coup d'arrière parce que les bras tant qu'ils

¹ Les nageurs de profession évitent ce balancement, et reposent le côté de la tête sur l'eau pour diminuer son poids et accroître la vitesse.

se meuvent, soutiennent et poussent. Il n'y a pas, ni dans l'extension ni dans la flexion, de période où ils soient ineffectifs. Quand les jambes sont éloignées du corps ou étendues (mouvement qui s'effectue rapidement et avec grande énergie, comme on le voit fig. 41, B), les plantes des pieds, les surfaces antérieures des jambes, et les surfaces postérieures des cuisses sont dirigées extérieurement et en arrière. Cela leur permet de saisir l'eau avec une grande énergie et de pousser le corps en avant. L'efficacité des jambes et des extrémités comme organes propulseurs pendant l'extension s'accroît parce qu'elles deviennent plus ou moins droites, et se meuvent avec plus de rapidité que dans la flexion; il y a un coup général en arrière de tous les membres dans leur ensemble, et un coup en arrière particulier de leurs diverses parties ¹. A ce mouvement les surfaces intérieures des jambes et des cuisses agissent comme organes de support et aident la partie postérieure du corps à surnager. La position légèrement inclinée du corps dans l'eau, et le mouvement acquis en nageant contribuent à ce résultat. Quand les jambes et les pieds sont rapprochés du corps ou fléchis comme on le voit fig. 41, C, A, leurs mouvements sont ralentis, disposition qui réduit les degrés de frottement éprouvés par les diverses parties des mem-

¹ La plus grande puissance possédée par les membres pendant l'extension, et plus spécialement vers la fin de l'extension, se montre bien dans la ruade du cheval; les pieds de derrière du cheval donnant de terribles coups quand ils ont acquis leur maximum de distance du corps. Les garçons d'écurie le savent bien, et en pansant un cheval ils se tiennent toujours très-près de ses membres postérieurs, de manière que, s'il rue, ils seront poussés mais non blessés.

bres, en donnant à l'eau un mouvement préparatoire à une seconde extension.

Il y a plusieurs graves objections à la vieille méthode habituelle de natation qu'on vient de décrire. Premièrement, le corps est en pronation sur l'eau, ce qui expose une large surface de résistance (fig. 41, A, B, C, p. 113). Deuxièmement les bras et les jambes sont étendus de chaque côté du tronc, de manière qu'ils s'appliquent très-indirectement comme organes propulseurs (fig. 41, B, C). Troisièmement, la partie la plus effective du choc des bras et des jambes correspond à quelque chose comme un quart d'ellipse, les trois autres quarts étant consacrés à ramener dans leur position les bras et les jambes. Cette disposition fait perdre de la force et augmente notablement le frottement; les attitudes prises par le corps en B et en C (fig. 41) étant les plus mauvaises possible pour avancer dans l'eau. Quatrièmement, les bras et les jambes sont ramenés vers le corps à un instant (fig. 41, A) et en sont éloignés au suivant (fig. 41, B). Cela donne lieu à des points morts à une période où aucune des extrémités ne bouge. Le corps est donc poussé par une série de secousses, la masse nageante acquérant et perdant de la force vive à chaque coup.

Afin de remédier à ces défauts des nageurs scientifiques ont, dans ces dernières années, adopté une tout autre méthode. Au lieu de faire agir les bras et les jambes en même temps, ils meuvent d'abord le bras et la jambe d'un des côtés du corps, puis le bras et la jambe du côté opposé. On appelle cela *battre la brasse*; cette manière correspond exactement à la marche naturelle de la girafe, à l'amble du cheval et à la natation de l'ours marin. Elle

est adoptée par les Indiens. Dans ce mode de natation, le corps se jette plus ou moins sur le côté à chaque coup, se tord et roule dans la direction de sa longueur, comme on le voit fig. 42, disposition grandement calculée pour réduire la quantité de frottement éprouvée dans le mouvement en avant.

Le mouvement de brasse permet au nageur de se jeter en avant sur l'eau et de mouvoir ses bras et ses jambes dans une direction à peu près verticale au lieu d'une horizontale; les extrémités, dans ce cas, agissant au-dessus et au-dessous du tronc au lieu d'agir de chaque côté. Les extrémités sont en conséquence utilisées de la meilleure manière possible pour développer leur puissance, et réduire le frottement dans le mouvement en avant causé par leur action. Cette disposition accroit notablement la longueur du coup effectif des bras et des jambes, laquelle devient à peu près égale à la moitié d'une ellipse. Ainsi quand le bras et la jambe gauche

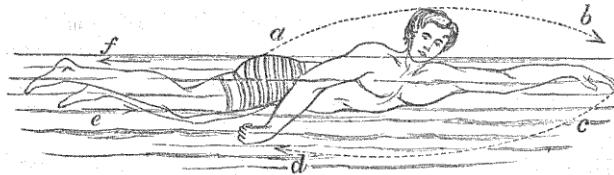


FIG. 42. — Nageur battant la brasse.

frappent en avant, le bras décrit la courbe *a b* (fig. 42), et la jambe *e*, une courbe semblable. Comme le côté droit du corps recule virtuellement quand l'autre avance, le bras droit décrit la courbe *e d*, tandis que le bras gauche décrit la courbe *ab*; la jambe droite *f* décrit une courbe

opposée à celle décrite par *e* (comparez les flèches). L'avancement alternatif des côtés gauche et droit, suivant une ligne à peu près droite, contribue beaucoup à la continuité du mouvement, l'impulsion étant appliquée tantôt à droite tantôt à gauche, et les membres étant disposés de manière à diminuer le frottement et à empêcher les points morts ou haltes. Quand le bras et la jambe gauche se projettent en avant (*ab, e*, fig. 42) la jambe et le bras droit frappent à très-peu près directement en arrière (*cd, f*, fig. 42). La jambe et le bras droits et la résistance qu'ils éprouvent de la part de l'eau forment un point d'appui pour la jambe et le bras gauches; les deux côtés du corps se tordant et se vissant dans un corps d'appui mobile (l'eau), disposition qui assure le maximum de propulsion et le minimum de résistance et de glissement. La puissance propulsive est augmentée parce que les surfaces concaves des mains et des pieds sont dirigées en arrière pendant le coup effectif, et parce que les bras repoussent l'eau postérieure légèrement en dehors afin de ne pas empêcher la progression des jambes. La méthode de nager en battant la brasse est la plus expéditive découverte jusqu'ici, mais elle est fatigante et on ne peut la pratiquer que pour de courtes distances.

Un perfectionnement de la précédente pour les longues distances est la natation sur le côté. Dans cette méthode, le corps comme le terme l'indique se projette plus décidément sur le côté. On peut employer l'un ou l'autre; quelques personnes préfèrent nager sur le côté droit, d'autres sur le gauche; d'autres nagent alternativement sur l'un ou sur l'autre. Quand on nage sur le côté (soit le gauche par exemple) le bras gauche s'avance en

courbe et décrit le côté supérieur d'une ellipse, tel qu'on le représente en *ab*, fig. 43. Ceci fait, le bras droit et les jambes sont employés comme propulseurs, le bras droit et les jambes donnant un puissant coup en arrière, dans lequel la concavité de la main est dirigée en arrière et en dehors, comme on le voit en *c d* de la même figure ¹.

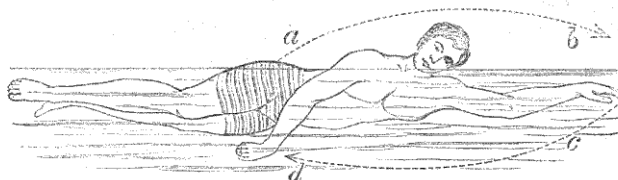


FIG. 43. Natation sur le côté.

Le bras droit, dans ce mouvement, décrit le côté inférieur d'une ellipse, et agit à peu près dans un plan vertical. En avançant la jambe et le bras droit, quelques nageurs soulèvent le bras droit hors de l'eau pour diminuer le frottement — l'air étant pénétré plus aisément que l'eau. Le soulèvement du bras hors de l'eau n'est ni gracieux ni confortable, et inonde à chaque coup la tête du nageur. D'autres gardent le bras droit dans l'eau et l'étendent ainsi que la main de manière à couper l'eau droit en avant. Dans le coup de côté le bras gauche (si l'opérateur nage sur le côté gauche) agit comme un coin (fig. 43, *b*). Il s'avance quand le bras gauche et les jambes sont refoulés en arrière (fig. 43, *cb*). Le bras droit et les jambes se meuvent ensemble et alternent avec le bras gauche qui se meut seul. Le bras droit et les jambes se

¹ La direction en dehors donnée au bras et à la main leur permet d'écarter l'eau du corps et des membres, et de réduire ainsi le frottement dans le mouvement en avant.

portent en avant tandis que le bras gauche est fléchi et refoulé en arrière, et *vice versa*. Le bras gauche se meut toujours dans une direction opposée au bras droit et aux jambes. Nous avons ainsi dans le coup de côté trois membres qui se meuvent en même temps dans le même sens et en mesure, le quatrième se mouvant toujours dans le sens opposé et en contre-temps avec les trois autres. Le membre qui se meut ainsi à contre-temps est le gauche si l'opérateur nage sur le côté gauche, et le droit s'il nage sur le côté droit. En nageant sur le côté gauche, le bras droit et les jambes avancent lentement pendant un instant et sont refoulés en arrière avec beaucoup d'énergie et de rapidité pendant le suivant. On doit faire de semblables remarques sur le bras gauche. Quand le bras droit et les jambes frappent en arrière, elles communiquent au corps une puissante impulsion en avant, qui, comme le corps est couché sur le côté et avance en carène, lui fait franchir une grande distance. Cette disposition réduit le montant de la résistance au mouvement en avant, conserve l'énergie du nageur, et assure dans une grande mesure la continuité du mouvement, le corps étant dans la meilleure position possible pour glisser entre les coups.

Quand on nage bien de côté, on fait diverger les jambes quand on les étend ou qu'on les éloigne du corps de manière à renfermer un coin liquide dont le sommet est dirigé en avant. Quand elles sont tout à fait étendues, les jambes convergent de manière à pousser le corps loin du coin et contribuent ainsi à sa propulsion. Par ce moyen, les jambes, pendant l'extension, donnent ce qu'on peut appeler un double coup, c'est-à-dire un en dehors et un

en dedans. Quand ce double coup a été donné, les jambes se fléchissent et se rapprochent du corps en se préparant à un nouveau coup. Quand on nage sur le côté gauche, le bras gauche, celui qui coupe l'eau, s'étend ou s'éloigne du corps de manière que la concavité de la main gauche soit dirigée en avant, et décrive la partie supérieure d'une ellipse verticale. Il rencontre ainsi comparativement peu de résistance de la part de l'eau. Quand cependant le bras gauche se fléchit et se rapproche du corps, la concavité de la main gauche se dirige en arrière et décrit la moitié inférieure d'une ellipse, de manière à creuser et à saisir l'eau, et contribue ainsi à la propulsion du corps. Le bras gauche, celui qui coupe l'eau, aide matériellement à flotter les parties antérieures du corps. Le coup donné par le bras gauche s'étend un quart de cercle, celui fait par le bras droit un demi-cercle. Le bras droit, quand l'opérateur nage sur le côté gauche, est donc le plus puissant propulseur. Le bras droit, comme le gauche, aide à soutenir la portion antérieure du corps. Dans la natation sur le côté gauche, les propulseurs les plus efficaces sont la main et le bras droits, les pieds, et les jambes gauches et droites. La natation par coup de côté est dans son ensemble la plus utile, la plus gracieuse et la plus efficace imaginée jusqu'ici. Elle permet au nageur de tenir tête contre le vent, le courant et les vagues d'une manière très-remarquable. En effet, un adroit nageur de côté peut avancer là où serait entraîné un vigoureux nageur sur le ventre. Dans l'eau tranquille un nageur habile, mais non professionnel, doit faire un mille dans trente à trente-cinq minutes. Un nageur de profession peut le faire beaucoup plus vite. Ainsi M. J. B. Jonhson, en nageant à toute force,

le 5 août 1872, dans le lac d'eau douce de Hendon près de Londres, a fait le mille entier en vingt-six minutes. Le premier demi-mille fut fait en douze minutes. Toutes choses égales d'ailleurs, plus courte est la distance plus grande est la vitesse. En août 1868, M. Harry Parker, nageur de profession bien connu, parcourut 500 yards dans la Serpentine en sept minutes cinquante secondes. Parmi les nageurs amateurs, mérite une mention honorable M. J. B. Booth qui, en juin 1871, nagea 440 yards en sept minutes quatorze secondes dans le lac d'eau douce de Hendon déjà cité. Je suis redevable des détails relatifs aux temps à M. J. A. Cowan d'Édimbourg, lui-même reconnu comme un des plus agiles nageurs de l'Écosse. La vitesse atteinte par l'homme dans l'eau est faible quand on tient compte de sa taille et de sa force. Elle contraste très-défavorablement avec celle des phoques, et encore plus avec celle des poissons. Elle est due à la petitesse de ses pieds et de ses mains, à la lenteur des mouvements de ses bras et de ses jambes, à la manière désavantageuse dont ils saisissent et évitent l'eau.

Natation de la Tortue, du Triton, du Crocodile, etc.

La natation de la Tortue diffère à quelques égards de toutes les autres manières de nager. Tandis que les extrémités antérieures de ce bizarre animal se meuvent alternativement, et s'inclinent ou tournent partiellement pendant leur action, comme dans le phoque et le morse, les extrémités postérieures se meuvent également à tour de rôle. Comme de plus les extrémités droite antérieure et gauche postérieure se meuvent ensemble et alternent avec les extrémités gauche antérieure et droite posté-

rière, cet animal a l'air de marcher dans l'eau (fig. 44).
Les mêmes remarques s'appliquent aux extrémités du

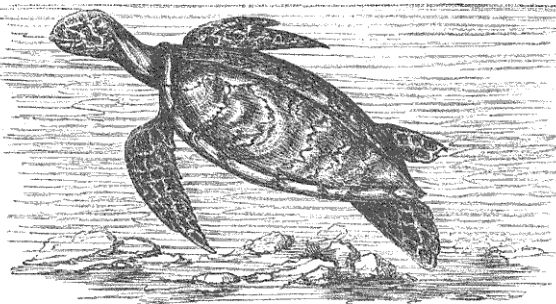


FIG. 44. — La tortue (*Chelonia imbricata*), adaptée pour nager et plonger. Les extrémités sont relativement plus grandes que chez le phoque, l'ours marin, et le morse. Les extrémités antérieures ont une marge antérieure épaisse et une postérieure mince, et à cet égard ressemblent à des ailes. Comparez aux fig. 36 et 37, p. 103 et 105. — Originale.

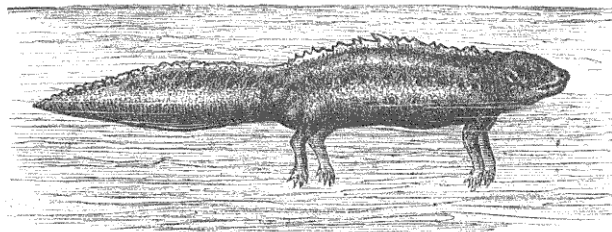


FIG. 45. — Le lézard à crête (*Triton cristatus*, Laur). Chez le triton une queue s'ajoute aux extrémités, la queue et les extrémités agissant dans la natation. — Originale.

triton (fig. 45) et du crocodile quand ils nagent, et aux membres faiblement développés correspondants du Lepidosiren, du Protée et de l'Axoloti, dont on peut voir des spécimens dans les jardins de la Société zoologique de Londres. Chez le dernier, la natation s'effectue principalement, sinon tout à fait, par la queue et la moitié infé-

rière du corps qui est largement développée et aplatie latéralement dans ce but comme chez le poisson.

Le pouvoir musculaire exercé par les poissons, les cétacés et les phoques en nageant, se conserve dans une étendue remarquable, grâce à la force vive que le corps acquiert rapidement — la vitesse atteinte par la masse diminuant le degré d'effort requis dans les parties individuelles ou intégrales. Ceci reste vrai de tous les animaux, qu'ils se meuvent sur terre, sur ou dans l'eau, ou dans l'air.

Les animaux qui forment le trait d'union entre l'eau et l'air sont les oiseaux plongeurs d'une part et les poissons volants de l'autre ; — les premiers employant leurs ailes pour voler au-dessus et au-dessous de l'eau, suivant l'occasion ; les derniers se soutenant en l'air pendant des intervalles considérables au moyen de leurs énormes nageoires pectorales.

Vol sous l'eau, etc. — M. Macgillivray décrit ainsi une bande de harles rouges qu'il a observés poursuivant des anguilles de sable, dans un des bas-fonds des baies sablonneuses des Hébrides Extérieures : « Les oiseaux semblaient se mouvoir sous l'eau avec presque autant de vitesse que dans l'air, et souvent sortaient pour respirer à plus de 200 yards de l'endroit où ils avaient plongé ¹.

Chez les oiseaux qui volent indifféremment au-dessus et au-dessous de l'eau, l'aile est munie de plumes raides et réduite au minimum de la taille. Dans le vol sous-

¹ Histoire des oiseaux de la Grande-Bretagne, vol. I, p. 48.

marin les ailes peuvent agir seules, comme chez les guillemots, ou en même temps que les pieds comme chez les grèbes ¹.

Pour convertir l'aile en une puissante rame natatoire, il est seulement nécessaire de l'étendre et de la fléchir légèrement en arrière, la simple extension faisant tourner l'aile vers le bas, et donnant au dos de l'aile qui frappe dans ce cas le coup le plus efficace, l'angle d'obliquité nécessaire pour faire avancer l'animal. Cet angle, je puis le faire observer, correspond à celui que fait le pied pendant l'extension, de façon que si les pieds et les ailes s'emploient ensemble, elles agissent avec harmonie. Si l'on voulait la preuve que c'est le dos ou la surface convexe de l'aile qui donne le coup le plus efficace dans le vol sub-aquatique, on la trouverait dans ce fait que chez le grand et le petit pingouin qui sont tout à fait incapables de voler hors de l'eau, l'aile est effectivement tordue, afin que la surface concave qui a plus de prise sur l'eau, soit dirigée en arrière (fig. 46) ². La marge épaisse de l'aile, quand elle donne le coup efficace, est tournée vers le bas, comme cela a lieu pour les pattes palmées de l'ours marin, du morse et de la tortue. C'est, j'ai à peine besoin de le remarquer, précisément le contraire de ce qui se présente pour l'aile ordinaire dans le vol aérien. Dans ces oiseaux

¹ Les guillemots en plongeant ne font pas usage de leurs pieds ; de sorte qu'ils volent littéralement sous l'eau. Dans ce but leurs ailes sont réduites aux plus petites dimensions compatibles avec le vol. Les plongeurs d'autre part, quand ils se servent de leurs pieds usent rarement, si jamais, de leurs ailes. La progression sous-marine du grèbe ressemble à celle du canard. (Règne animal, de Cuvier. Londres, 1840, p. 252 et 253.)

² Dans la natation du crocodile, de la tortue, du triton et de la grenouille, la concavité des pieds des extrémités antérieures sont de même tournées en arrière.

extraordinaires (grand et petit pingouin), l'aile est couverte de plumes courtes, semblables à des soies, et n'est qu'un simple rudiment excessivement rigide, le mouvement qui l'anime, émanant pour la plus grande partie de l'épaule où l'articulation est une jointure universelle. L'aile est élégamment tordue sur elle-même, et quand elle s'élève et s'abaisse, elle roule sur le côté de l'oiseau à divers degrés d'obliquité jusqu'à ce qu'elle fasse un angle droit avec le corps, quand elle présente à l'eau un

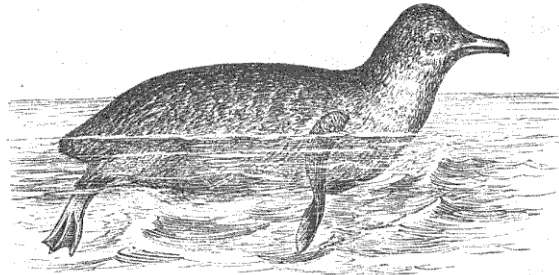


FIG. 46. — Le Petit Pingouin (*Aptenodytes minor*, Linné), adapté exclusivement pour nager et pour plonger. Dans ce bizarre animal, l'aile forme une hélice parfaite et est employée à nager et à plonger. Comparez aux fig. 37 et 44, p. 105 et 123. — *Originale*.

bord étroit ou coupant. Quand l'aile est complètement étendue, comme dans le vol ordinaire, elle fait, au contraire, un angle de quelque chose comme 30 avec l'horizon. Quand l'aile est abaissée et ramenée en arrière¹, les angles que sa surface inférieure fait avec la surface de l'eau s'accroissent graduellement. L'aile du grand et du petit pingouin les fait avancer à la fois quand elle s'élève et quand elle s'abaisse. Elle agit beaucoup à la ma-

¹ Le coup efficace est ainsi donné pendant la flexion chez la crevette, l'écrevisse et le homard.

nière d'une vis; et ceci, comme je m'efforcerai de le démontrer, reste également vrai de l'aile adaptée au vol aérien.

Différence entre le vol sub-aquatique et l'aérien. — La différence entre le vol sub-aquatique ou plongement et le vol proprement dit, peut être brièvement exposée. Dans le vol aérien le coup le plus effectif est donné *en bas et en avant* par la surface inférieure, concave ou mordante de l'aile qui est tournée dans cette direction. Le coup moins effectif est donné en haut et en avant par la surface supérieure, convexe ou non mordante de l'aile. Dans le vol sub-aquatique au contraire, le coup le plus effectif est donné *en bas et en arrière*, le moins effectif en haut et en avant. Dans le vol aérien, le grand axe du corps de l'oiseau et le petit axe des ailes sont légèrement inclinés vers le haut et forment avec l'horizon un angle *ascendant*. Dans le vol sub-aquatique, le grand axe du corps de l'oiseau et le petit axe des ailes sont inclinés légèrement vers le bas et forment un angle *descendant* avec la surface de l'eau. L'aile agit plus ou moins efficacement dans chaque direction, comme le fait la queue du poisson. La différence observée entre les directions des coups vers le bas dans le vol et le plongement est rendue nécessaire par le fait qu'un oiseau qui vole dans l'air est plus lourd que le milieu dans lequel il navigue, et doit être supporté par les ailes; tandis qu'un oiseau qui vole sous l'eau ou plonge, est plus léger que l'eau, et doit faire effort pour s'y enfoncer et éviter de revenir flotter à sa surface. Quelque paradoxal que cela paraisse, le *poids* est nécessaire au vol aérien, et la légèreté au vol sub aquatique. Un oiseau

destiné à voler au-dessus de l'eau est muni de surfaces motrices disposées et appliquées de telle manière (elles frappent *de haut en bas et en avant*) que s'il était plus léger que l'air, elles l'entraîneraient au loin dans l'espace sans possibilité de retour ; en d'autres termes l'action des ailes entraînerait l'oiseau obliquement en haut et le rendrait tout à fait incapable de voler dans une direction horizontale ou descendante. De même si un oiseau, destiné à voler sous l'eau (grand et petit pingouin), n'était pas plus léger que l'eau, tels sont la configuration et le mode d'application de ses surfaces motrices (elles frappent *de haut en bas et en arrière*) qu'elles l'entraîneraient dans la direction du fond sans aucune chance de retour à la surface. Dans le vol aérien, le poids est le pouvoir que la nature a mis à la disposition de l'oiseau pour régler ses mouvements en altitude et horizontaux, une cessation du jeu des ailes, aidée par l'inertie de son tronc, permettant à l'oiseau d'approcher de la terre. Dans le vol sub-aquatique, la légèreté est une puissance fournie dans un but semblable mais opposé ; combinée avec un partiel ralentissement ou un arrêt des ailes et des pieds, elle permet à l'oiseau plongeur de regagner la surface à chaque moment. La légèreté et le poids sont des forces auxiliaires, mais elles sont nécessaires quand on tient compte des mœurs des oiseaux aériens et aquatiques et de la forme et du mode d'application de leurs surfaces motrices. Si l'oiseau aérien volant était plus léger que l'air, ses ailes devraient être *tordues* pour ressembler à l'aile plongeuse du grand et du petit pingouin. Si, d'autre part, les oiseaux plongeurs (petit ou grand pingouin) étaient plus lourds que l'eau, leurs ailes devraient ressembler à des

ailes aériennes, et ils devraient frapper l'eau dans un sens opposé à celui dans lequel ils le frappent normalement. Il suit de là que le poids est nécessaire à l'oiseau (tel qu'il est construit à présent) destiné à naviguer dans l'air, et la légèreté à celui destiné à naviguer dans l'eau. Si un oiseau était très-grand et très-léger, il va sans dire que la force plongeante à sa disposition serait insuffisante pour le faire plonger. Si encore il était très-petit et très-lourd, il est également évident qu'il ne pourrait pas voler. La nature a cependant gardé le juste milieu. Elle a fait l'oiseau plongeur qui vole sous l'eau relativement plus lourd que l'oiseau qui vole dans l'air, et a écourté les surfaces motrices du premier, tandis qu'elle a augmenté celles du dernier. Pour la même raison elle a doué l'oiseau plongeur d'un certain degré de puissance flottante, et l'oiseau volant d'un certain degré de poids ; — la légèreté tendant à ramener l'un à la surface de l'eau, le poids tendant à ramener l'autre à la surface de la terre, qui sont les positions normales de repos pour tous les deux. On voit bien (fig. 47) l'action de l'aile sub-aquatique ou plongeante du pingouin royal.

D'après ce qui a été dit, il est évident que les ailes agissent très-différemment dans l'eau et hors de l'eau et c'est un point qui mérite l'attention, d'autant plus spécialement qu'il semble avoir jusqu'ici échappé à l'observation. Dans l'eau l'aile quand elle est la plus effective frappe *en bas et en arrière*, et agit comme auxiliaire du pied ; tandis que dans l'air, elle frappe *en bas et en avant*. Les surfaces obliques, spirales ou autres, présentées par l'animal à l'eau et à l'air, sont donc faites pour agir dans des directions opposées, en ce qui concerne les coups

130 PROGRESSION SUR L'EAU ET DANS L'EAU

descendants. On le doit à la grande densité de l'eau par rapport à l'air, la première supportant tout à fait ou presque entièrement l'animal qui se meut au-dessus ou au-dessous, le dernier permettant à la créature d'y tomber dans une direction descendante pendant l'ascension de l'aile. Pour contre-balancer la tendance de l'oiseau en mouvement à tomber en avant, le coup descendant est donné dans cette direction; l'action de l'aile semblable à celle du cerf-volant et la rapidité avec laquelle elle se meut faisant suivre à la masse de l'oiseau un parcours plus ou moins horizontal. J'offre cette explication de l'action de l'aile dans l'eau et hors de l'eau d'après des observations répétées et attentives des oiseaux apprivoisés et sauvages, et, à ce que je puis savoir, en opposition à tous ceux qui ont précédemment écrit sur ce sujet.

Les ailes rudimentaires ou rames du pingouin, dont j'ai l'occasion d'étudier les mouvements sur un spécimen apprivoisé, sont surtout employés à nager et à plonger. Les pieds qui sont de dimensions modérées et fortement palmés sont, à l'occasion, employés comme auxiliaires. Il y a entre les mouvements des ailes et des pieds de ce très-curieux animal, cette différence bien digne d'attention : Les ailes agissent ensemble, ou synchroniquement, comme chez les oiseaux volants; les pieds, d'autre part, se meuvent alternativement. Les ailes sont animées d'une grande énergie, et, à cause de leur état semi-rigide, sont incapables d'extension. Elles présentent donc leur maximum et leur minimum de surface par une rotation ou inclinaison de leur base, comme chez le morse, l'ours marin et la tortue. Au contraire, les pieds qui se meuvent avec moins

de vigueur tournent ou s'inclinent dans une très-faible

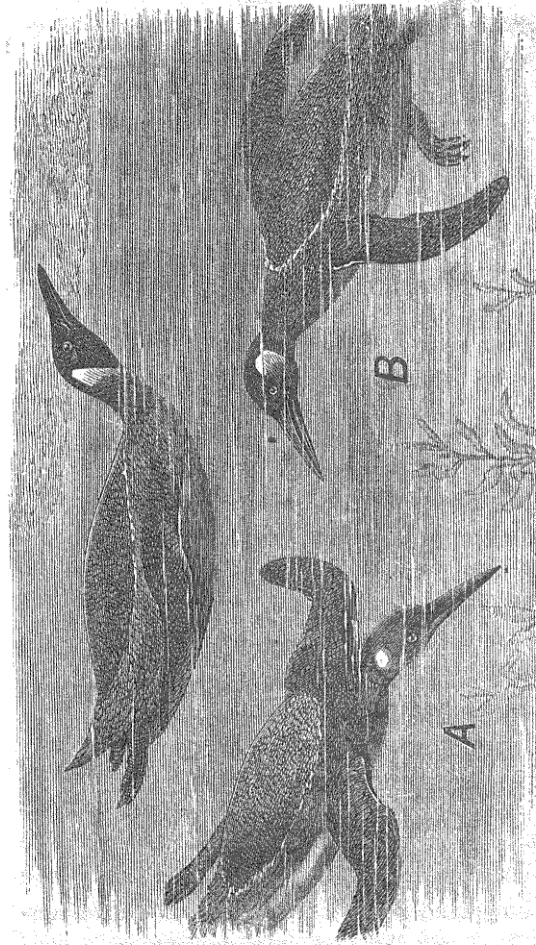


FIG. 47. — En A, le Pingouin est en train de plonger, et l'on observe que le bord antérieur ou épais de l'aile est dirigé en bas et en avant, tandis que le postérieur est dirigé en arrière et en haut. Ceci a pour effet de diriger la surface concave inférieure ou ventrale en haut et en arrière, le coup le plus efficace étant donné en bas et en arrière. L'efficacité de l'aile pour contre-balancer la légèreté est ici évidente. En B, le pingouin est en train de regagner la surface de l'eau, et dans ce cas l'aile est maintenue dans une position unique, ou frappe en bas et en arrière comme l'aile aérienne, les bords et la surface de l'aile se renversant dans ce but. L'objet n'est pas ici d'abaisser mais d'élever le corps. Ces mouvements sont facilités par le jeu alternatif des pieds. (Comparez la fig. 47 à la fig. 37, p. 105.)

étendue, l'accroissement ou la diminution de surface étant assurés par l'ouverture et la fermeture des expansions

132 PROGRESSION SUR L'EAU ET DANS L'EAU

membraneuses entre les doigts. A ce dernier point de vue, elles ont une certaine analogie avec les pieds du phoque, dont les doigts, comme on l'a expliqué, s'écartent ou s'élargissent pendant l'extension et inversement. Les pieds du pingouin diffèrent entièrement de ceux du phoque en agissant séparément, le pied d'un côté étant fléchi ou rapproché du corps pendant que son compagnon s'étend et s'en écarte. Les pieds décrivent de plus des courbes dans

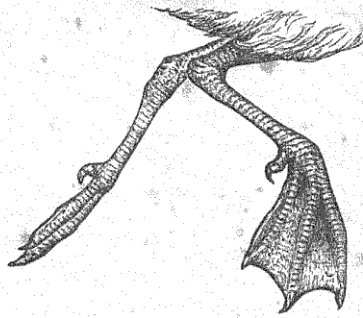


FIG. 48. — Le cygne, en train de nager, le pied droit complètement étendu et sur le point de donner le coup efficace en dehors, en bas et en arrière, comme on le représente en *r*, fig. 50 ; le pied gauche fermé prêt à donner le coup de retour, en dedans, en haut et en avant, comme on le voit en *s*, fig. 50. Dans la natation rapide, le cygne fléchit les jambes simultanément et quelque peu lentement ; puis il les étend vigoureusement. — *Originale*.

des directions opposées, le pied droit allant de dedans en dehors et de haut en bas pendant l'extension ou quand il est pleinement étendu, et donne le coup effectif ; le gauche qui se meut en même temps, allant de bas en haut quand il se fléchit ou quand il se relève, comme il arrive pendant le coup de retour. Dans les actes de l'extension et de la flexion les jambes tournent légèrement et les pieds s'inclinent plus ou moins. On voit les mêmes mouvements

dans les pieds du cygne et en général dans ceux des oiseaux nageurs (fig. 48).

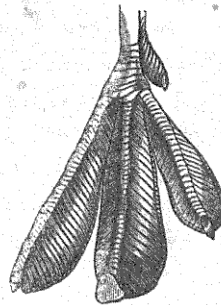


FIG. 49. — Pied du Grèbe (*Podiceps*). Dans ce pied, chaque doigt est muni de sa membrane natatoire; la membrane est fermée quand le pied est fléchi, ouverte quand il est étendu. Comparez au pied du cygne (fig. 48) où la membrane natatoire est continue d'un doigt à l'autre. — D'après Dallas.

Un des pieds les plus parfaitement construits pour nager et plonger est celui du grèbe (fig. 49). Ce pied consiste en trois doigts nageurs, pourvus chacun d'une expansion membraneuse qui se referme quand le pied se rapproche du corps pendant le coup de retour, et s'ouvre quand il s'éloigne du corps pendant le coup effectif.



FIG. 50. — Diagramme représentant la double trajectoire parcourue par les pieds des oiseaux nageurs. Comparez aux fig. 18 et 19, p. 54 et 56, et à la fig. 32, p. 95. — Originale.

Chez les oiseaux nageurs, chaque pied décrit un côté d'ellipse en s'étendant et s'éloignant du corps, et l'autre côté, quand il se fléchit et se rapproche du corps. La

courbe décrite par le pied droit quand il s'éloigne du corps est indiqué par la flèche *r* de la figure 50 ; celle formée par le pied gauche quand il se rapproche du corps, par la flèche *s* de la même figure. Les courbes formées par les pieds pendant l'extension et la flexion produisent en s'unissant dans l'acte de la natation, des courbes ondulées, et constituent la carte des mouvements des extrémités des oiseaux nageurs.

Il y a donc une analogie évidente entre la natation des oiseaux et la marche de l'homme (comparez la fig. 50, p. 133, à la fig. 19, p. 56) ; entre la marche de l'homme et la marche du quadrupède (comparez fig. 18 et 19, p. 54 et 56) ; entre la marche des quadrupèdes et la natation du morse, de l'ours marin et du phoque, entre la natation du phoque, de la baleine, du dugong, du lamantin et du marsouin et celle du poisson (comparez la fig. 32, p. 95, aux fig. 18 et 19, p. 54 et 56) ; et entre la natation du poisson et le vol de l'insecte, de la chauve-souris et de l'oiseau (comparez toutes les figures précédentes aux fig. 71, 73 et 81, p. 199 et 216).

Vol du Poisson Volant ; l'action des ailes semblable à celle du cerf-volant. — Le poisson volant emploie-t-il ses nageoires pectorales très-élargies comme les ailes d'un oiseau, ou seulement comme des parachutes ? Cela n'a pas, à ce que je sache, été déterminé par l'observation effective. Beaucoup d'observateurs pensent que ces singulières créatures glissent sur le vent, et ne le frappent pas à la manière des oiseaux ; de façon que leur vol (ou plutôt leur saut) forme un arc de cercle dont la surface de la mer est la corde. J'ai attentivement examiné la struc-

ture, les rapports et l'action de ces nageoires, et je me suis convaincu qu'elles agissent dans certaines limites comme de véritables ailerons, leurs dimensions insuffisantes et leur trajectoire limitée les empêchant seules de soutenir le poisson dans l'air pendant une période indéfinie. Quand les nageoires sont complètement fléchies comme il arrive pendant que le poisson nage, elles sont disposées le long des côtés du corps ; mais quand il passe

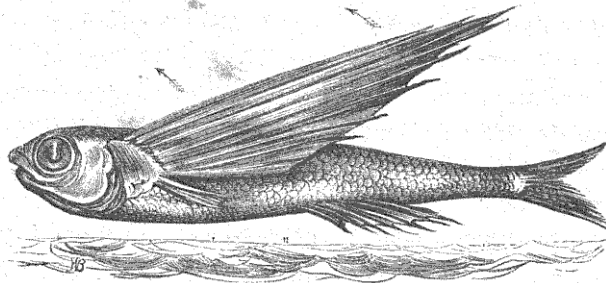


FIG. 51. — Le poisson volant (*Exocoetus exsiliens*, Linn.) avec ses ailes étendues et élevées, en train de voler (voyez les flèches). Cette créature anormale et intéressante peut à la fois voler et nager. La queue natatoire est donc conservée, et les nageoires pectorales, qui agissent comme des ailes, sont énormément agrandies dans leurs dimensions. — Originale.

dans l'air, elles s'élèvent au-dessus du corps et forment avec lui un certain angle. En s'élevant, elles s'inclinent aussi en avant et en dehors, les nageoires tournant autour de leur grand axe, jusqu'à ce qu'elles fassent avec l'horizon un angle d'environ 30 degrés. — Cet angle étant, aussi exactement que je puis le déterminer, le plus grand angle formé par les ailes durant le coup descendant du vol des insectes et des oiseaux.

Les nageoires pectorales ou pseudo-ailes du poisson volant, comme les autres ailes, agissent à la manière du

cerf-volant, l'angle d'inclinaison que leurs surfaces inférieures font avec l'horizon variant suivant le degré d'extension, la vitesse acquise, et la pression à laquelle elles sont soumises en étant portées contre l'air. Quand le poisson volant, après un premier élan à travers l'eau (dans laquelle il acquiert sa vitesse initiale), se projette en l'air, il est supporté et poussé en avant par l'action en cerf-volant de ses ailerons ; cette action étant identique à celle du cerf-volant des enfants, quand ceux-ci courent et tirent la corde qui oblige le cerf-volant à glisser vers le haut et l'avant. Dans le cas du cerf-volant de l'enfant, une *force attractive* est appliquée en avant de l'appareil. Dans le cas du poisson volant (et de tout ce qui vole) une force semblable est appliquée aux cerfs-volants formés par les ailes, par le poids de la masse volante, qui tend toujours à tomber verticalement. Le poids fournit au vol une force motrice semblable à celle que fournissent les blocs de plomb d'une horloge. Dans le cas du cerf-volant de l'enfant, la main de l'opérateur fournit la puissance ; dans le vol, une grande proportion de cette puissance est fournie par le poids de l'être volant. Il est indifférent comment glisse un cerf-volant, tant que sa surface inférieure est disposée de manière à presser l'air sur lequel il passe ¹. Un cerf-volant se soutiendra effectivement sans que ni la main ni la pesanteur agissent sur lui pourvu qu'il souffle toujours une forte brise. Dans le vol une seule des deux choses est nécessaire. Ou la surface inférieure des ailes doit être portée rapidement contre l'air tranquille, ou l'air

¹ « Les divers modes de vol dans leurs rapports avec l'Aéronautique » par l'auteur. — Comptes rendus de l'Institution Royale de la Grande-Bretagne. Mars 1867.

doit se précipiter avec violence contre la surface inférieure de l'aile étendue mais immobile. Ou les ailes et le corps qui les porte, ou l'air doivent être en mouvement rapide.

L'un d'eux doit être actif. Il n'y a pas d'exception. Pour faire voler un cerf-volant dans l'air tranquille, l'opérateur doit courir. Si le vent souffle, l'opérateur n'a pas besoin de changer de position, le vent fait tout l'ouvrage. Il en est de même pour les ailes. Dans l'air tranquille un oiseau, ou tout être qui cherche à voler, doit battre énergiquement des ailes jusqu'à ce qu'il ait acquis une vitesse initiale, après quoi il peut interrompre les battements ; ou il doit se précipiter d'une hauteur, dans lequel cas la vitesse initiale est produite par le poids du corps agissant sur les plans inclinés formés par les ailes sans mouvement. L'action battante ou glissante des ailes constitue la différence entre le vol ordinaire et ce qu'on appelle le vol glissant ou planant. Le vol du poisson volant peut être regardé comme un exemple du dernier plutôt que du premier, le poisson transportant dans l'air la vitesse acquise par de vigoureux coups de queue dans l'eau, disposition qui le dispense en grande partie de battre les ailes, agissant ainsi par une action combinée de parachute et de coin. La membrane volante du poisson-volant attaque l'air *par-dessous*, en s'élevant au-dessus du corps. Elle n'a pas de corps descendant, la position et les attaches de la nageoire l'empêchant de descendre au-dessous du niveau du corps du poisson. Sous ce rapport la nageoire volante du poisson diffère légèrement de l'aile de l'insecte, de la chauve-souris, de l'oiseau. L'expansion graduelle et l'élévation des nageoires du poisson, en même temps que

ce fait, que les nageoires ne descendent jamais au-dessous du corps, rendent compte de l'absence admise de battement, et ont sans doute donné lieu à la croyance que les nageoires pectorales ne sont que des organes passifs. Si cependant elles n'agissent pas comme de véritables ailes dans les limites prescrites, il est difficile et même impossible de comprendre comment de si petites créatures peuvent obtenir la quantité de mouvement nécessaire pour se projeter à une distance de 200 yards ou plus, et d'atteindre, comme le font quelques-unes, une élévation de plus de vingt pieds au-dessus de l'eau. M. Swainson, en passant la ligne en 1816, a tenté avec zèle de découvrir la véritable action des nageoires en question, mais le vol du poisson est si rapide qu'il échoua complètement. Il donne, comme son opinion, que le vol s'accomplit de deux manières, — d'abord par un bond ou saut, et ensuite par l'expansion des nageoires pectorales, qui servent à pousser le poisson en avant, soit par un battement, soit par un mouvement analogue au *planer* des hirondelles. Il rapporte ce fait important que le poisson volant peut changer son parcours après avoir abandonné l'eau, ce qui prouve d'une manière satisfaisante que les nageoires ne sont pas simplement des organes passifs. M. Lord, de l'Artillerie Royale ¹, parle ainsi de ces remarquables spécimens de la classe des porte-nageoires : — « Il n'y a pas de spectacle plus enchanteur que la vue d'une troupe de poissons volants, quand ils s'élancent de l'onde vert foncé en une masse étincelante, comme les oiseaux d'argent de quelque joyeux conte de fée, rayonnant de lumière à la

¹ Nature et Art, novembre 1866, p. 173.

clarté du soleil, et venant parfois toucher à peine la crête de la vague élevée, pour voltiger encore ranimés et rafraîchis. »

Avant d'en arriver à la considération des gracieuses et, à quelques égards, mystérieuses évolutions des citoyens de l'air, et des ailes largement déployées qui les produisent, il ne sera pas mal à propos de récapituler en quelques mots ce qui regarde l'étendue et la nature des surfaces qui assurent la progression sur le sol, sur l'eau et dans l'eau. C'est d'autant plus nécessaire que les surfaces motrices employées par les animaux en marchant et en nageant, ont une parenté certaine, sinon constante avec celles qu'emploient pour voler les insectes, les chauves-souris et les oiseaux. En revenant en arrière, nous sommes immédiatement frappés de ce fait remarquable à quelques égards, que les surfaces motrices, soit pieds, palmes, nageoires ou ailes, s'accroissent, règle générale, en proportion avec la ténuité du milieu sur lequel elles sont destinées à opérer. Chez le bœuf (fig. 18, p. 54) nous observons un corps pesant, des extrémités minces, et des pieds extraordinairement petits. Les pieds s'élargissent légèrement chez la loutre (fig. 12, p. 48), et augmentent considérablement chez l'ornithorhynque (fig. 11, p. 48). La surface motrice augmente chez le phoque (fig. 14, p. 48, fig. 36, p. 103), le pingouin (fig. 46 et 47, p. 126 et 131), l'ours marin (fig. 37, p. 105) et la tortue (fig. 44, p. 123). Chez le triton (fig. 45, p. 123), une vaste queue natatoire s'ajoute aux pieds, — la queue devient plus grande, et les extrémités antérieures diminuent chez le lamantin (fig. 34, p. 101) et le marsouin (fig. 33, p. 101), jusqu'à ce que nous arrivions au poisson (fig. 30, p. 91) où non-seulement la queue,

mais la *moitié inférieure du corps* sert activement à la natation. Passant de l'eau à l'air, nous observons une remarquable modification dans les larges nageoires pectorales du poisson-volant (fig. 51, p. 135) qui permet à ces créatures de faire des sauts énormes et servent comme de fausses ailes. Passant de même de la terre à l'air, nous rencontrons les immenses expansions tégumentaires du dragon-volant (fig. 15, p. 50) et du galéopithèque (fig. 16, p. 50) dont la surface de suspension ou de support dépasse de beaucoup celle de quelques-uns des insectes volants.

Chez les animaux qui volent comme la chauve-souris (fig. 17, p. 51), les insectes (fig. 57 et 58, p. 172 et 173) et les oiseaux (fig. 59 et 60, p. 174), les surfaces motrices, à cause de l'extrême ténuité de l'air, sont prodigieusement augmentées; elles dépassent en bien des cas la surface effective du corps d'une manière notable. Donc, les mouvements qui produisent la marche, la natation et le vol, se rapportent d'abord au raccourcissement et à l'allongement des tissus musculaires, élastiques et autres opérant sur les os, et à leurs surfaces articulaires spéciales; il faut ensuite les rapporter à l'étendue et à la configuration de ces surfaces motrices, qui sont, en toutes circonstances, exactement adaptées à la capacité et à la force de l'animal, et à la densité du milieu sur lequel ou dans lequel il doit se mouvoir. Ainsi le sol fournit la résistance, et présente le support nécessaire pour empêcher les petits pieds des animaux terrestres de s'enfoncer à de dangereuses profondeurs; l'eau immensément moins résistante fournit le milieu particulier requis pour soutenir le poisson, et pour exposer sans danger, et à son plus grand avantage, la large surface offerte par sa puissante

queue, — et l'air, qu'on ne peut ni voir ni sentir, fournit cet élément subtil et qui cède vite, dans lequel les ailes épanouies de l'insecte, de l'oiseau et de la chauve-souris sont mises en vibration avec la rapidité de l'éclair, faisant aussi parfois une douce et émouvante musique tout à fait délicieuse à l'amant de la nature.

LIVRE IV

LA PROGRESSION DANS L'AIR

L'atmosphère, à cause de sa grande ténuité, de sa mobilité et de son impondérabilité comparative, présente peu de résistance aux corps qui la traversent avec de faibles vitesses. Mais si la vitesse est très-notablement accélérée, le mouvement même d'un jonc ordinaire offre une sensible résistance.

Ceci vient de l'action et de la réaction de la matière, la résistance éprouvée variant selon la densité de la matière et la forme, l'étendue et la vitesse du corps qui agit sur elle. Donc, tandis qu'à peine si un obstacle est présenté au progrès d'un animal en mouvement, il est souvent excessivement difficile de comprimer l'air avec une rapidité et une énergie suffisantes pour le convertir en un point d'appui capable d'assurer un essor ascendant. Ceci provient de ce que les corps en mouvement dans l'air éprouvent le *minimum de résistance* et occasionnent le

maximum de déplacement. Une autre et très-sérieuse difficulté doit se rapporter à la grande inégalité du poids de l'air comparé à celui de tout solide connu, ce poids étant à celui de l'eau à peu près comme 1000 est à 1. La puissance de support ou de suspension d'un milieu varie dans le même sens que sa densité.

CHAPITRE PREMIER

CONSTITUTION ET FONCTIONNEMENT DE L'AILE

L'aile est un levier du troisième genre. — Pour satisfaire aux particularités citées ci-dessus, l'insecte, la chauve-souris et l'oiseau sont munis de surfaces étendues de la forme d'ailes ou d'ailerons qu'ils peuvent appliquer avec une puissance et une vitesse singulières comme leviers du troisième ordre (fig. 3, p. 29) ¹, sous des angles variables, ou par des mouvements alternativement lents et soudains pour obtenir le degré nécessaire de résistance et de non-résistance. Quoique le levier du troisième genre soit particulièrement inefficace quand le point d'appui est *rigide et immobile*, il possède de singuliers avantages quand les conditions sont opposées, c'est-à-dire quand le point d'appui, comme cela a lieu pour l'air, est *élastique et flexible*. Dans ce cas, un très-faible mouvement à la racine de l'aileron, ou à l'extrémité du levier dirigée vers

¹ Dans cette forme de levier, la puissance est appliquée entre le point d'appui et le poids à soulever. La masse à élever est le corps de l'insecte, de la chauve-souris ou de l'oiseau, la force qui réside dans l'aileron vivant (aidée par l'inertie du tronc) représentant la puissance, et l'air le point d'appui.

L'AILE EST UN LEVIER DU TROISIÈME GENRE 145

le corps produit une immense courbe à l'extrémité de l'aile où sa puissance élévatrice et propulsive est la plus grande. Cette disposition assure que la grande quantité d'air nécessaire à la propulsion et au soutien sera comprimée dans les circonstances les plus favorables.

Il suit de là que les insectes et les oiseaux sont doués d'une puissance de vol d'autant plus grande que leurs ailes sont plus longues. La libellule et l'albatros en fournissent des exemples. Dans quelques occasions, la première se précipite avec une vitesse étonnante et tourne avec une incroyable rapidité; d'autres fois elle arrête tout à coup sa course en avant, et plane ou se fixe en l'air à la manière de l'émouchet et de l'oiseau-mouche. Le vol de l'albatros est aussi remarquable. Ce magnifique oiseau, je le tiens d'une autorité digne de foi, plane pendant des

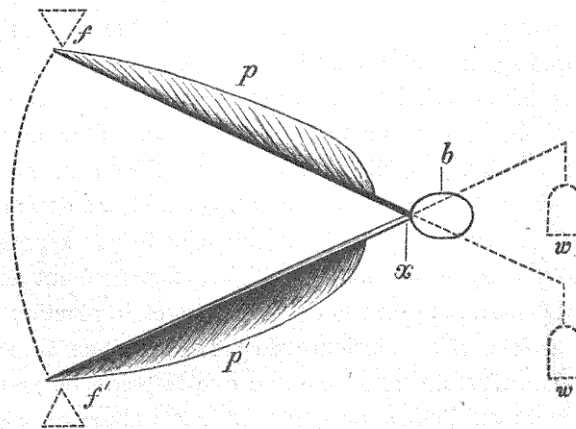


FIG. 52.

heures avec une insouciance apparente, et daigne rarement remuer ses immenses ailes qui rayonnent de cha-

PETTIGREW.

10

que côté de son corps dans l'espace, comme des rubans ayant parfois sept pieds de longueur.

La manière dont l'aile entraîne le corps en avant et en haut pendant le vol se voit fig. 52.

Dans cette figure ff' représente les points d'appui mobiles fournis par l'air; pp' la puissance résidant dans l'aile, et b le corps à faire voler. Pour rendre plus intelligible le problème du vol, j'ai prolongé le levier formé par l'aile au-delà du corps, et j'ai appliqué à la base de l'aile ainsi étendue le poids $w w'$. x représente la jointure universelle par laquelle l'aile est attachée au corps. Quand l'aile monte, comme on le voit en p , l'air (point d'appui f) résiste à son passage ascendant et pousse le corps (b), ou son représentant (w), légèrement vers le bas. Quand l'aile descend comme on le voit en p' , l'air (point d'appui f') résiste à son mouvement descendant et force le corps (b) ou son représentant (w') à monter légèrement. Il s'en suit que quand l'aile s'élève, le corps s'abaisse, *et vice versa*; l'aile décrit l'arc d'un grand cercle (ff'), le corps (b) ou son représentant (ww') décrit l'arc d'un cercle beaucoup plus petit. Donc le corps, aussi bien que l'aile, s'élève ou s'abaisse pendant le vol. Quand l'aile descend, elle élève le corps, l'aile étant active et le corps passif; quand le corps descend il élève l'aile, le corps étant actif et l'aile passive. Les muscles élévateurs et la réaction de l'air sur la surface inférieure de l'aile contribuent à son élévation. C'est de cette manière que le poids forme un facteur du vol, l'aile et le poids du corps alternant, s'aidant mutuellement et se soulageant l'un l'autre. Ceci présente un argument en faveur de l'emploi de quatre ailes pour le vol artificiel, les ailes étant arrangées de

L'AILE EST UN LEVIER DU TROISIÈME GENRE 147

telle sorte que les deux qui sont en haut doivent toujours par leur chute élever mécaniquement celles qui sont en bas. Un tel arrangement est grandement calculé pour conserver le pouvoir moteur et, comme conséquence, en réduire le poids. C'est la surface supérieure ou dorsale de l'aile qui agit plus spécialement pendant le coup ascendant, et la surface inférieure ou ventrale qui opère pendant le coup descendant. L'aile qui, au commencement du coup ascendant, a sa surface et ses marges antérieure et postérieure disposées à peu près dans le plan de l'horizon ¹, tourne autour de sa marge antérieure comme axe pendant sa descente et fait faire à sa surface inférieure un angle graduellement croissant avec l'horizon, la marge postérieure (fig. 53, *c*) descendant pendant ce mouvement, au-dessous de l'antérieure. Une rotation semblable mais opposée a lieu pendant le coup ascendant. La rotation en question fait tourner l'aile sur son grand axe à la manière d'une vis, et lui fait décrire une courbe en 8 dans l'espace, une moitié de la figure étant décrite pendant l'ascension de l'aile, l'autre pendant la descente. La torsion de l'aile, et la figure en 8, qu'elle décrit quand elle est mise en vibration sont représentées fig. 53. La rotation de l'aile autour de son grand axe quand elle monte et descend fait agir la surface inférieure à la manière d'un cerf-volant, à la fois pendant le coup ascendant et le coup descendant, pourvu toutefois que le corps portant l'aile ait un mouvement de progression. Mais la surface supérieure de l'aile, comme on l'a expliqué, agit quand l'aile s'élève de manière qu'à la fois les surfaces supérieure et

¹ Dans quelques cas la marge postérieure est légèrement élevée au dessus de l'horizon (fig. 53, *g*).

148 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

inférieure de l'aile agissent pendant le coup ascendant. Quand l'aile monte, la surface supérieure presse contre l'air; la surface inférieure pressant en même temps parce qu'elle est portée obliquement en avant à la manière d'un cerf-volant, par le corps qui est en mouvement. Pendant le coup descendant, la surface inférieure seule agit. L'aile agit donc efficacement en montant et en descendant, son glissement n'existant au total que de nom. L'aile agit comme un cerf-volant à la fois en montant et en descendant. Elle agit plus comme propulseur que comme élévateur pendant la montée, et plus comme élévateur que comme propulseur pendant la descente. Elle est donc effective à la fois dans les directions ascendante et descendante. L'efficacité de l'aile est grandement accrue par ce fait que, quand elle monte, elle entraîne après elle un courant d'air, lequel courant étant rencontré par l'aile pendant la descente, augmente notablement l'énergie du coup descendant. De même manière, quand l'aile descend, elle entraîne après elle un courant d'air qui, rencontré par l'aile pendant son ascension, augmente notablement la puissance du coup ascendant. Ces courants induits sont à l'aile ce qu'une forte brise d'automne est au cerf-volant de l'enfant. L'aile est douée de cette remarquable propriété qu'elle crée le courant sur lequel elle s'élève et progresse. Elle vole réellement sur le tourbillon qu'elle a formé.

Ces remarques s'appliquent plus spécialement aux ailes des chauves-souris et des oiseaux, et des insectes dont les ailes sont mises en vibration dans une direction plus ou moins verticale. L'action de l'aile peut être facilement imitée, comme on le voit fig. 53.

Si, par exemple, je prends un roseau élastique, effilé,

tel que celui qui est représenté en *a b*, et si j'y adapte une voile élastique flexible (*c d*) et une articulation en emboîture (*x*), je n'ai qu'à saisir le roseau en *a*, et à le faire osciller sur *x* pour produire les mouvements de l'aile. En abaissant la base du roseau dans la direction *n e*, l'aile monte comme un cerf-volant dans la direction *j f*. Pendant le mouvement ascendant l'aile vole en haut et en avant et décrit une double courbe. En élevant la base

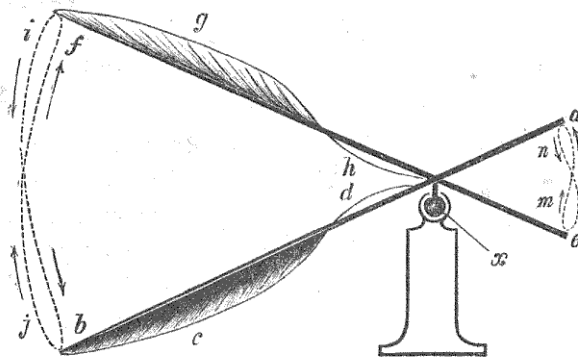


FIG. 53.

du roseau dans la direction *m a*, l'aile descend comme un cerf-volant dans la direction *i b*. Pendant le mouvement descendant, l'aile vole en bas et en avant, et décrit une double courbe. Ces courbes, quand on les unit, forment une courbe ondulée qui représente le vol progressif.

Pendant l'élévation et la chute de l'aile, une grande quantité de force tractile se développe, et si l'aile et le corps de la créature volante sont légèrement inclinés en avant, à la manière du cerf-volant, comme ils le sont invariablement pendant le vol, nécessairement toute la masse se meut en haut et en avant. A cela il n'y a pas

d'exception. Une feuille de papier ou une carte volera si sa marge antérieure est légèrement inclinée, et si elle est projetée avec une assez grande vitesse. Les ailes de toutes les créatures volantes quand elles sont mises en vibration se tordent et se détordent autour de la partie épaisse antérieure comme la lame d'une hélice. L'aile artificielle représentée fig. 53 fait de même, $c d$ se tordant autour de $a b$ et $g h$ autour de $e f$. Les ailes naturelles et artificielles, quand elles s'élèvent et s'abaissent, décrivent une courbe en 8 de chiffre dans l'espace, quand les corps auxquels elles sont attachées sont stationnaires. Quand les corps avancent, la figure en 8 s'ouvre et forme une courbe d'abord bouclée puis ondulée. J'ai montré comment les insectes, chauves-souris et oiseaux qui battent l'air de leurs ailes dans une direction plus ou moins verticale, développent un pouvoir tractile ou propulsif, et comment celui-ci en opérant sur des surfaces inclinées convenablement construites, se résume en vol. Je veux montrer maintenant que le vol peut aussi être produit par un coup très-oblique et presque horizontal de l'aile, comme dans quelques insectes, la guêpe, la grosse mouche bleue et autres mouches. Chez ces insectes l'aile accomplit des vibrations en forme de 8, godille dans l'air dans une direction très-oblique, et avec une immense énergie. Cette forme de vol ne diffère sous aucun rapport de l'autre, si ce n'est par la direction du choc, et peut être aisément imité, comme le montre l'inspection de la figure 54.

Dans cette figure, les conditions représentées fig. 53 sont exactement reproduites, la seule différence étant que dans celle-ci l'aile s'applique à l'air dans une direction plus ou moins horizontale, tandis que dans la fig. 53

elle s'y applique dans une direction plus ou moins verticale. Les lettres dans les deux figures sont les mêmes. Les insectes dont les ailes se faufilent dans l'air dans une direction plus ou moins horizontale ont une portée étendue, chaque aile décrivant à peu près un demi-cercle, ces demi-cercles correspondant à la surface de support. Le corps de l'insecte est donc le centre d'un cercle de mou-

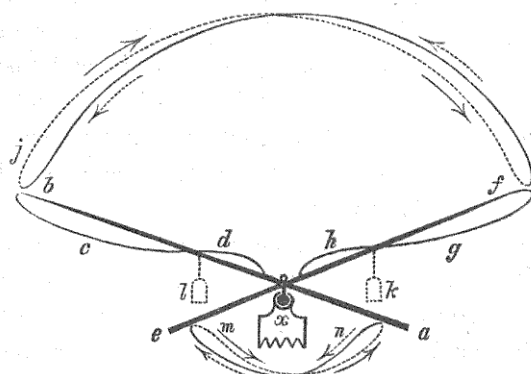


FIG. 54.

vement. Il correspond à x de la figure actuelle (fig. 54). Quand l'aile est saisie par la main en a , et que l'on fait voyager la racine dans la direction $n e$, le corps de l'aile voyage dans la direction $j f$. Pendant qu'elle accomplit ce parcours, elle s'élève en volant suivant une double courbe, à la manière du cerf-volant, et élève le poids k . Plus ces mouvements sont répétés rapidement, plus l'aile devient puissante, et plus le poids élevé est grand. Ceci provient de l'action réciproque de l'aile ; l'aile, comme on l'a déjà expliqué, entraînant toujours après elle, pendant un des coups, un courant d'air que le coup suivant ren-

contre et utilise. L'action réciproque de l'aile dont on parle ici, est, à tous égards, analogue à ce qu'on observe dans les pattes palmées du phoque, de l'ours marin, du morse et de la tortue ; dans l'aile natatoire du pingouin, et la queue de la baleine, du dugong, du lamantin, du marsouin et du poisson. Si l'on faisait agir les muscles de l'insecte aux points a e , le corps de l'insecte s'élèverait comme en h l , par l'action réciproque des ailes. La somme de pouvoir tractile développée dans la disposition représentée (fig. 53, p. 149) peut se constater facilement en fixant un ressort ou un poids agissant par l'intermédiaire d'une poulie sur la marge antérieure a b ou e f de l'aile ; les poids agissant sur les poulies étant attachés à la racine de l'aile (a ou e).

La somme de puissance élévatrice développée dans la disposition représentée fig. 54, peut être aussi estimée en faisant agir des poids sur des poulies pour opérer sur la racine de l'aile (a et e) et observer de combien les poids (h ou l) sont élevés. Dans ces calculs on doit évidemment tenir compte du frottement. L'objet des deux groupes d'expériences décrites et figurées, est de montrer que l'aile peut exercer un pouvoir tractile, soit dans une direction horizontale, soit dans une verticale, le vol se produisant dans les deux cas. Je veux montrer maintenant qu'un corps non muni d'ailes ou de surfaces inclinées tombera verticalement, si on l'abandonne à lui-même ; tandis que s'il est muni d'ailes, sa chute verticale se convertira en vol oblique descendant. Ce sont là des points fort intéressants. L'expérience m'a montré que quand une aile vibre verticalement, elle produit une traction horizontale ; quand elle vibre horizontalement,

elle produit une traction verticale ; la chute verticale d'un corps armé d'ailes produit une traction oblique. La descente des poids peut aussi pousser les ailes dans une direction verticale ou horizontale ; la vibration des ailes sur l'air dans le vol naturel faisant avancer un corps pesant (celui de la créature volante). Ceci montre le rôle très-important joué par le poids dans toutes sortes de vol.

Le poids nécessaire au vol. — Quoique cela puisse paraître paradoxal, une certaine quantité de poids est indispensable au vol.

En premier lieu, il donne une efficacité et une énergie particulières au coup ascendant, en agissant sur les plans inclinés formés par les ailes dans la direction du plan de progression. On peut ainsi dire que la puissance et le poids sont réciproques, tous deux étant comme assis côte à côte et unissant leurs influences particulières pour produire un résultat commun.

En second lieu, il ajoute de la force vive au corps lourd, une fois en mouvement, rencontrant peu de résistance de la part de l'air à travers lequel il circule comme un pendule pesant.

En troisième lieu, la simple action de tourner les ailes en avant et contre le vent pendant l'extension et la flexion représente apparemment tout l'effort fait par l'animal volant, le reste étant accompli par le poids seul.

Cette dernière circonstance mérite l'attention, d'autant plus spécialement, qu'elle semble constituer la principale différence entre un volatile vivant et une machine aérienne. Si l'on construisait une machine volante con-

formément aux principes que nous observons dans la nature, le poids et la force propulsive de la machine devraient agir sur les surfaces de sustentation et de propulsion de la machine quelle que fût leur forme, et celles-ci à leur tour devraient opérer sur l'air, *et vice versa*. Dans la machine aérienne, telle qu'on l'a imaginée jusqu'à présent, il n'y a aucune sympathie entre le poids à élever et la puissance élévatrice, tandis que dans le vol naturel, les ailes et le poids de la créature volante agissent de concert et réciproquement, les ailes élevant le corps pendant un instant, le corps par sa chute élevant les ailes pendant le suivant. Quand les ailes élèvent le corps, elles sont actives, le corps étant passif. Quand le corps élève les ailes, il est actif, les ailes étant passives. La force résidant dans les ailes et la force résidant dans le corps (le poids est une force quand le corps est abandonné dans l'espace, et libre de tomber dans une direction verticale) font que l'animal volant oscille de côté et d'autre d'une ligne imaginaire — cette ligne correspondant au parcours de l'insecte, de la chauve-souris ou de l'oiseau dans l'air. Tandis que les ailes et le corps agissent et réagissent l'un sur l'autre, les ailes, le corps et l'air agissent et réagissent pareillement les uns sur les autres. Dans le vol des insectes, des chauves-souris et des oiseaux, le poids doit être regardé comme une puissance motrice indépendante, cette puissance agissant sur la surface oblique présentée par les ailes en même temps que la puissance développée par l'animal — cette dernière étant par cette disposition conservée dans une étendue remarquable. Le poids aidé par les ligaments élastiques ou ressorts qui ramènent toutes les ailes dans la flexion, doit être regardé comme

l'expédient auquel la nature a recours pour compléter les efforts de tous les êtres volants ¹. Sans cela le vol serait de courte durée, pénible et incertain, et les voyages presque miraculeux actuellement accomplis par les citoyens de l'air seraient impossibles.

Le poids contribue au vol horizontal. — On peut prouver par une expérience très-simple que le poids joue un rôle important dans la production du vol.

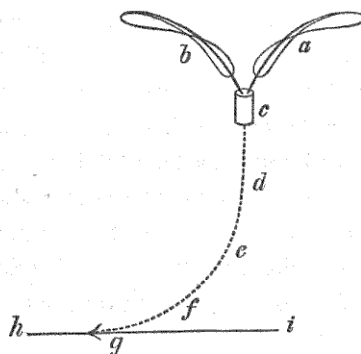


FIG. 55.

Si je prends deux plumes primaires, les fixe dans un bouchon ordinaire, comme on le voit fig. 55, et si je laisse tomber l'appareil d'une certaine hauteur, je trouve que le bouchon ne tombe pas verticalement vers le bas,

¹ Le poids, on le sait bien, est le seul pouvoir moteur de l'horloge, le pendule ne servant qu'à régler les mouvements produits par la descente des masses de plomb. Dans les montres le fardeau du mouvement retombe sur un *ressort spiral*; et il est digne de remarque que le mécanicien se soit emparé de deux forces largement employées dans le règne animal, et les ait ingénieusement utilisées.

mais suivant une courbe dirigée en bas et en avant. Cela vient de ce que les plumes *a*, *b* sont des plans inclinés tordus et flexibles qui sont courbés dans une direction ascendante. Ce sont, en fait, de véritables ailes dans le même sens que l'aile en une seule pièce de l'insecte est une véritable aile. Comparez *a*, *b*, *c*, fig. 55, à *g*, *g'*, *s*, fig. 82, p. 248. Quand elles sont entraînées vers le bas par le liège, qui, laissé à lui-même tomberait verticalement, il leur est communiqué ce qui est virtuellement un coup descendant. Dans ces circonstances, une lutte s'établit entre le bouchon tendant à tomber verticalement et les plumes tendant à voyager dans une direction ascendante, et comme conséquence, l'appareil décrit la courbe *d e f g* avant d'atteindre la terre *h*, *i*. Ceci est dû à l'action et à la réaction des plumes sur l'air, et l'un sur l'autre, et à l'influence que la pesanteur exerce sur le bouchon. Le déplacement en avant du liège et des plumes comparé à la hauteur de la chute est très-considérable. Ainsi, dans quelques cas, j'ai trouvé qu'elles avançaient de près d'un yard et demi dans une descente de trois yards. Or, c'est ici un exemple de vol produit par une simple disposition mécanique. Les semences ailées volent précisément de la même manière. Les graines du platane ont par exemple deux ailes qui ressemblent à celles qui servent au vol; elles s'amincissent de la base à l'extrémité de la marge antérieure à la postérieure, les marges étant tordues et disposées dans divers plans afin de former de véritables vis. Cet arrangement empêche les graines de tomber rapidement ou verticalement, et si une brise souffle, elles sont transportées à des distances considérables avant d'atteindre le sol. La nature est en tout uni-

forme et conséquente. Elle emploie le même principe et à peu près les mêmes moyens pour faire voler une lourde et solide graine et pour faire voler un insecte, une chauve-souris ou un oiseau.

Quand des ailes artificielles construites sur le plan des naturelles avec des racines raides, des marges antérieures semi-rigides allant en s'amincissant, et des marges postérieures minces et flexibles, sont abandonnées à elles-mêmes d'une hauteur, elles décrivent en tombant de doubles courbes, et les bases des ailes touchent le sol les premières. Cette circonstance prouve que le pouvoir suspenseur des extrémités des ailes est plus grand que celui des bases. Je pourrais rapporter beaucoup d'expériences faites en ce sens, mais celles-ci suffisent pour montrer que le poids quand il agit sur les ailes, ou, ce qui revient au même, sur des plans inclinés, élastiques, tordus, doit être regardé comme une force indépendante. Sans cette circonstance, le vol deviendrait la forme la plus inconmode et la plus laborieuse de locomotion, tandis qu'elle est en réalité incomparablement la plus facile et la plus gracieuse.

La puissance que des ailes vibrant rapidement ont en soutenant un corps qui tend à tomber verticalement, est beaucoup plus grande qu'on ne se l'imaginerait, parce que le corps qui est sans cesse sur le point de tomber ne peut jamais le faire effectivement. Ainsi quand il est suffisamment tombé pour aider à l'élévation des ailes, il est immédiatement relevé par la vigoureuse descente de ces organes. Le corps n'acquiert donc jamais la quantité de mouvement de haut en bas qu'il acquerrait s'il pouvait tomber sans interruption pendant un temps considérable.

Il est facile de retenir même un corps lourd quand il commence à tomber, tandis qu'il est presque impossible d'arrêter sa marche quand il est convenablement lancé dans l'espace et voyage avec rapidité dans une direction descendante.

Poids, quantité de mouvement et puissance sont, jusqu'à un certain point, synonymes dans le vol. — Quand un oiseau s'élève il n'a que peu ou pas de vitesse acquise, de manière que s'il arrive au contact d'une surface résistante solide il ne se fera pas de mal. Quand cependant il a acquis toute la force vive dont il est capable et se trouve en plein vol rapide, un tel choc cause sa destruction. Mon ami, M. A. D. Bartlett, me fit connaître un cas où un canard sauvage termina sa carrière en venant heurter violemment une des glaces du phare d'Eddystone. La glace de plus d'un pouce d'épaisseur fut complètement brisée. On utilise cette circonstance pour tuer des oiseaux marins, en plaçant un appât sur une planche flottante, contre laquelle l'oiseau vient se briser le cou quand il s'abaisse pour saisir l'amorce. La puissance additionnelle due à la force vive des corps lourds se voit bien au départ et pendant la marche des bateaux à vapeur. Dans ceux-ci, le glissement décroît à mesure que la vitesse du vaisseau augmente; la force d'un homme s'appliquant par une amarre attachée à la poupe d'un bateau de dimensions modérées, suffisant pour retarder et dans quelques cas pour empêcher le départ. En un tel cas le pouvoir de la machine est presque entièrement consacré au glissement ou à la mise en mouvement du fluide dans lequel sont immergées les roues ou l'hélice. Ce n'est donc pas la

puissance résidant dans les roues ou l'hélice qui peut s'accumuler mais la quantité de mouvement inhérente à la masse. Chez l'oiseau, la quantité de mouvement, autrement dit le poids, agit sur les plans inclinés formés par les ailes, celles-ci le convertissant adroitement en pouvoir propulseur. C'est à cette circonstance, plus qu'à toute autre, que le vol prolongé des oiseaux est surtout dû, l'inertie ou poids mort du tronc aidant et soutenant l'action des ailes et diminuant ainsi les efforts excessifs que devrait nécessairement faire l'oiseau. C'est ainsi que s'est conservé le pouvoir qui chez les créatures vivantes réside dans la masse, et que la masse elle-même est mise à profit. Sans cette réciprocité, aucun oiseau ne pourrait se maintenir en l'air pendant plus de quelques minutes. Ceci se prouve par le vol comparativement bref de l'alouette et la voltige du faucon chassant. Dans ces deux cas le corps est exclusivement soutenu par l'action des ailes, le poids du tronc n'y prenant point part; en d'autres termes le poids du corps ne contribue pas au vol en y ajoutant sa force vive et l'impulsion que produit la force vive. Dans le vol de l'albatros, d'autre part, la force vive acquise par la masse en mouvement accomplit la principale portion du travail, les ailes étant simplement tournées sur et contre le vent pour présenter les angles nécessaires pour que l'inertie ou la masse puisse agir sur lui. Il me semble que le mystère du vol est caché dans cette union de la force active et passive, et qu'aucune disposition ne réussira à produire le vol artificiel si elle ne reconnaît et n'applique le principe indiqué ici.

Les cellules à air chez les insectes et les oiseaux ne

sont pas nécessaires au vol. — La légèreté vantée des insectes, des chauves-souris et des oiseaux, sur laquelle les auteurs ont tant écrit pour expliquer le vol, est illusoire au plus haut degré.

Les insectes, les chauves-souris et les oiseaux sont aussi lourds à volumes égaux que la plupart des autres créatures vivantes, et le vol peut être parfaitement accompli par des animaux qui n'ont ni poches à air ni os creux, poches à air que l'on trouve chez des animaux qui ne sont jamais destinés à voler. Ceux qui admettent la théorie de l'air chauffé, sont de l'avis que l'air contenu dans les cavités des insectes et des oiseaux est tellement plus léger que l'atmosphère ambiante que nécessairement il contribue matériellement au vol. Je puis dire cependant que la quantité d'air emprisonné est si infiniment petite, et la différence de poids qu'elle éprouve par suite de l'accroissement de température si inappréciable, que cela ne peut être pris en compte par aucun de ceux qui s'efforcent de résoudre le difficile et important problème du vol. Les montgolfières ou ballons à feux étaient construits sur le principe de l'air chauffé ; mais comme ils n'ont point d'analogues dans la nature et sont apparemment incapables de perfectionnement, je les mentionne ici plutôt pour exposer ce que je regarde comme une fausse théorie, que dans le but d'exposer les véritables principes du vol.

Quand nous aurons dit que les os et les espaces creux augmentent la surface de l'insecte et de l'oiseau, et qu'un insecte ou un oiseau ainsi construit est plus fort à poids égal qu'un animal composé de matière solide, nous pourrions laisser ce sujet ; le vol étant, comme je m'efforcerai de le démontrer tout à l'heure, moins une question de

légèreté qu'une question de poids et de puissance appliqués avec intelligence à des surfaces volantes convenablement construites.

Les corps des insectes, des chauves-souris et des oiseaux sont construits d'après des principes strictement mécaniques : la légèreté, la force et la durabilité de la charpente se combinant avec la puissance, la rapidité et la précision d'action. La méthode cylindrique de construction y est poussée à l'extrême, les corps et les jambes des insectes déployant de nombreux espaces inoccupés tandis que les muscles et les parties solides sont traversés par d'innombrables tubes qui communiquent avec le milieu ambiant par une série d'ouvertures appelées stigmates.

Une disposition quelque peu semblable des parties se rencontre chez les oiseaux qui sont, dans quelques cas, non-seulement munis d'os creux, mais aussi (spécialement les aquatiques) d'une grande quantité de sacs à air. Ils sont également pourvus d'une épaisse couverture de plumes ou de duvet qui ajoute beaucoup à leur volume sans accroître matériellement leur poids. Leurs corps sont aussi, dans un assez grand nombre d'espèces, surtout chez les oiseaux de proie, plus ou moins aplatis. On voit bien les sacs à air chez le cygne, l'oie et le canard ; et je les ai dans plusieurs occasions minutieusement examinés en vue de déterminer leur étendue et leurs fonctions. Dans deux spécimens que j'ai injectés, la matière employée s'était répandue non-seulement dans ceux qu'on décrit ordinairement, mais encore dans d'autres qui se ramifient dans la substance des muscles, particulièrement des pectoraux. On n'a jusqu'à présent, j'ai regret de le dire, donné aucune explication satisfaisante du but de ces

poches à air. Selon Sappey ¹, qui a consacré une grande part d'attention à ce sujet, elles consistent en une membrane qui n'est ni séreuse ni muqueuse, mais tient de l'une et de l'autre ; et comme un nombre considérable de vaisseaux sanguins, ainsi que le montrent mes préparations, se ramifient dans leur substance, et qu'elles sont dans beaucoup de cas couvertes de fibres musculaires qui leur confèrent un mouvement rythmique, quelques observateurs récents (M. Drosier ², de Cambridge, par exemple) se sont efforcés de prouver qu'elles sont des accessoires des poumons, et en conséquence aident à l'aération du sang. Cette opinion fut soutenue par John Hunter dès 1774 ³, et est probablement correcte puisque la température des oiseaux est plus haute que celle d'aucune autre classe d'animaux, et parce qu'ils sont obligés à l'occasion de faire de très-grands efforts musculaires à la fois en nageant et en volant. D'autres ont vu souvent, quoique pas toujours, que les poches à air se trouvent chez les oiseaux en communication avec les os creux ⁴,

¹ Sappey énumère quinze poches à air : — la *thoracique* située à la partie inférieure du cou, derrière le sternum ; deux *cervicales* qui s'étendent sur toute la longueur du cou jusqu'à la tête à laquelle elles fournissent de l'air, deux paires de *diaphragmatiques antérieures*, et deux paires de *diaphragmatiques postérieures* ; et deux paires d'*abdominales*.

² « Sur les fonctions des cellules à air dans le Mécanisme de la Respiration des oiseaux, » par W. H. Drosier M. D. Caius Collège. Proc. Camb. Phil. Soc., 12 février 1866.

³ « Description de certains réceptacles d'air chez les oiseaux, lesquels communiquent avec les poumons, et sont logés le long des parties charnues et dans les os creux de ces animaux ». — Trans. Philos. Lond. 1774.

⁴ Selon le Dr. Crisp, l'hirondelle, le martin, la bécasse, et beaucoup d'oiseaux de passage n'ont pas d'air dans les os. (Proc. Zool-Zoc. Lond, part xxv, 1857, p. 13). Le même auteur, dans une seconde communication (p. 225 et 216), ajoute que le sansonnet bril-

et en sont arrivés à regarder l'air chauffé qu'elles contiennent comme plus ou moins essentiel au vol. Les cellules à air n'ont absolument rien à faire au vol; c'est prouvé par le fait que d'excellents voiliers, comme la chauve-souris par exemple, en sont dépourvus, tandis que des oiseaux comme l'autruche et l'aptéryx, qui sont incapables de voler, en sont munis. De plus des poches à air analogues se rencontrent chez des animaux qui ne doivent jamais voler; et parmi ceux-ci je puis citer les grandes poches d'air qui occupent les régions cervicales et axillaires de l'orang-outang, la vessie natatoire des poissons et la poche communiquant avec la trachée chez le casoar¹.

On peut en dire autant des os creux, — des voiliers réellement admirables, comme les martinets, les martins et les bécasses ont les os remplis de moelle, tandis que les oiseaux coureurs sans ailes dont j'ai parlé y ont de l'air. De plus et enfin, un oiseau vivant pesant 10 livres pèse après sa mort quelques grains de plus seulement; et l'on sait quel effet produiraient quelques grains d'air chauffé pour soulever au-dessus du sol un poids de 10 livres.

lant, le gobe-mouche tacheté, le tarier, le roitelet des bois et le roitelet du saule, le bruant à tête noire et le canari, dont cinq sont des oiseaux de passage, n'ont également pas d'air dans les os. Voici le résumé du Dr. Crisp : Sur quatre-vingt-douze oiseaux examinés, il a trouvé « de l'air dans un grand nombre d'os chez cinq (*Falconidées*); de l'air dans les humérus et pas dans les extrémités inférieures, chez trente-neuf; pas d'air dans les extrémités et probablement dans aucun autre os, chez quarante-huit. »

¹ Très-voisin de la grande poche buccale du vanneau. On peut voir au Musée du Collège Royal des chirurgiens d'Angleterre des spécimens du sac à air de l'orang, du casoar, du vanneau, et également du cygne et de l'oie que j'ai préparés moi-même.

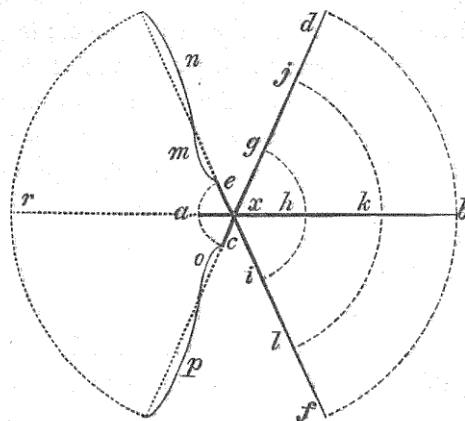
Comment s'effectue le balancement des ailes ; sons produits par l'aile, etc. — La manière dont les insectes, les chauves-souris et les oiseaux se balancent dans l'air a été jusqu'ici et avec raison regardée comme un mystère. Car il est difficile de comprendre comment ils se maintiennent en équilibre quand les ailes sont au-dessous du corps. Les fig. 67 et 68, p. 195, jettent une vive lumière sur ce sujet dans le cas de l'insecte. Dans ces figures, l'espace (*a, g*) parcouru par l'aile pendant ses vibrations est entièrement occupé par elle ; c'est-à-dire que l'aile (si grande est sa vitesse) est à toute portion de cet espace à peu près au même instant, l'espace représentant ce qui est pratiquement une base de sustentation. Comme de plus l'aile est unie à la partie supérieure du corps (thorax) par une articulation universelle, ce qui permet toute variété de mouvement, l'insecte est toujours suspendu (à très-peu près comme une boussole marine est soutenue par sa double suspension) ; les ailes, quand elles sont de niveau avec le corps, vibrent de manière à occuper une aire circulaire (voyez *r d b f*, fig. 56, p. 167) au centre de laquelle le corps (*a e c*) se trouve placé. Quand les ailes vibrent au-dessus et au-dessous du corps elles occupent une aire conique ; le sommet du cône étant dirigé vers le haut quand les ailes sont au-dessous du corps, vers le bas quand elles sont au-dessus. Ces points se voient bien dans les fig. 82 et 83, p. 218. La fig. 82 représente le cône renversé formé par les ailes lorsqu'elles sont au-dessus du corps, et la figure 83, celui formé par les ailes quand elles sont au-dessous. Dans ces figures, on observera que le corps, grâce à l'insertion des bases des ailes à sa partie supérieure, est toujours suspendu, et cela équivaut évidemment

à la suspension du centre de gravité. Chez l'oiseau et la chauve-souris par qui le coup est donné plus verticalement que par l'insecte, la *base de sustentation* s'accroît parce que l'extrémité de l'aile se plie en dedans et en arrière dans une direction plus ou moins horizontale à la fin du coup descendant, et en dehors et en avant à la fin du coup ascendant. Ceci est accompagné par la rotation de la partie extérieure de l'aile autour du poignet comme centre, l'extrémité de l'aile, à cause de la position sans cesse variable du poignet, décrivant une ellipse. Chez les insectes dont les ailes sont larges et grandes (papillon) et qui sont mues avec une vitesse comparativement faible, la puissance d'équilibre diminue. Chez les insectes dont les ailes au contraire sont longues et étroites (mouche à viande) et qui vont avec une très-grande vitesse, la puissance d'équilibre s'accroît. Il en est de même des oiseaux à longues et à courtes ailes, de façon que la fonction de balancement est remplie dans une certaine mesure par la forme de l'aile et la vitesse avec laquelle elle est poussée, l'aile longue et l'aile vibrant avec une grande énergie qui accroît la capacité de balancement. Quand le corps est léger et les ailes très-grandes (papillon et héron), la réaction produite par l'ascension et l'abaissement des ailes déplace le corps d'une étendue notable. Quand, d'autre part, les ailes sont petites et le corps grand, la réaction produite par la vibration de l'aile est à peine perceptible. A part, cependant, la forme et les dimensions de l'aile et la rapidité avec laquelle elle est poussée, il ne faut jamais oublier que toutes les ailes (comme on l'a indiqué) sont attachées au corps de l'animal qui les porte par une sorte d'articulation universelle, et de telle manière que les

corps, quelle que soit la position des ailes, sont exactement balancés et nagent dans une position plus ou moins horizontale comme une boussole sur une double suspension. Dans cette étendue, il est vrai que la position des ailes est une chose sans importance. Ainsi l'aileron peut être au-dessus, au-dessous ou au niveau du corps, ou il peut être dirigé en avant, en arrière ou à angles droits avec le corps. Dans chaque cas, le corps est balancé mécaniquement et sans efforts. Pour le prouver, j'ai construit un corps et une aile artificiels, et uni l'un à l'autre à l'aide d'une articulation universelle. J'ai trouvé, comme je l'avais présumé, que dans quelque position que l'aile fût placée, au-dessus, au-dessous ou au niveau du corps, de l'un ou de l'autre côté, le corps atteignait presque instantanément une position de repos. Le corps était, en fait, également suspendu et équilibré de tout côté.

Rapidité des mouvements de l'aile partiellement expliquée. — On a été souvent fort surpris de l'énorme rapidité avec laquelle quelques ailes peuvent vibrer. L'aile de l'insecte est, règle générale, très-longue et très-étroite. En conséquence, un mouvement comparativement lent et très-limité à la base donne à l'extrémité une grande portée et une immense étendue; la vitesse de chaque portion de l'aile croissant à mesure qu'on s'éloigne de sa base. Ceci s'explique par un principe bien connu en mécanique, c'est-à-dire que si l'on fait mouvoir en cercle une baguette fixée par l'une de ses extrémités, l'autre, celle qui est libre, décrit un cercle beaucoup plus grand, dans un temps donné, qu'une portion de la baguette plus rapprochée du pivot. Ce principe est expli-

qué fig. 56. Ainsi si l'on représente par ab , fig. 56, la baguette articulée en x , elle traverse l'espace dbf dans le même temps que l'espace jkl ; et jkl dans le même temps que ghi , et ghi dans le même temps que $ea c$,


 FIG. 56¹.

qui est l'aire occupée par le thorax de l'insecte. Si cependant la portion de la baguette b parcourt l'espace dbf , dans le même temps que la portion a parcourt l'espace $ea c$, il suit nécessairement que la portion de baguette

¹ Dans ce diagramme, c'est à dessein que j'ai représenté l'aile droite par une baguette droite rigide. L'aile naturelle est cependant courbée, flexible et élastique. Elle se meut également suivant des courbes, les courbes étant plus accentuées, comme on le voit en mn , op à la fin des coups ascendants et descendants. Les courbes qui sont de doubles 8 de chiffre, se rencontrent vers le milieu des coups ($a r$). Cette remarque reste vraie pour toutes les ailes naturelles et pour toutes les ailes artificielles convenablement construites. Les courbes et leur renversement sont nécessaires pour donner la continuité de mouvement à l'aile pendant ses vibrations, et ce qui n'est pas moins important, pour permettre à l'aile de saisir et d'abandonner l'air.

marquée *a*, se meut plus lentement que celle marquée *b*. Les muscles de l'insecte sont appliqués au point *a*, agissent sur de courts leviers (le point en question correspondant au thorax de l'insecte), de façon qu'un mouvement comparativement lent et limité de la base produise la merveilleuse vitesse observée au sommet ; le sommet et le corps de l'aile produisant par la rapide oscillation de celles-ci l'espèce de tache qui impressionne l'œil (fig. 64, 65 et 66, p. 192). Sans cette manière d'augmenter la vitesse créée à l'origine par le système musculaire, il serait difficile de comprendre comment les ailes pourraient être poussées avec la vitesse qu'on leur attribue. On dit que l'aile de la mouche à viande fait 300 coups par seconde, c'est-à-dire 18000 par minute. Il me semble que s'ils se contractaient 18000 fois par minute, les muscles seraient épuisés dans quelques secondes, état de choses qui rendrait le vol continu impossible. (Le cœur se contracte seulement entre soixante et soixante-dix fois par minute.) Je suis donc disposé à croire que le nombre des contractions faites par les muscles thoraciques des insectes a été grandement exagéré ; la haute vitesse avec laquelle l'aile est mise en vibration étant due moins aux contractions séparées et soudaines des muscles à sa base qu'au fait que la vitesse des différentes parties de l'aile s'accroît en raison directe de la distance de ces parties au point d'action, comme on l'a déjà expliqué. La vitesse est certainement une chose de grande importance dans les mouvements de l'aile, puisque sa puissance élévatrice et propulsive dépend en grande partie de la rapidité avec laquelle elle est poussée. La vitesse, cependant, peut se produire de deux manières — soit par une série de mou-

vements séparés et opposés, comme on le voit dans l'action d'un piston, soit par une série de mouvements séparés et opposés agissant sur un appareil construit de telle sorte que le mouvement appliqué à une partie, s'accroisse en rapidité à mesure que le point s'en éloigne, comme cela arrive dans l'aile. Dans le mouvement d'un piston le mouvement est uniforme ou à peu près, toutes les parties du piston se déplaçant avec la même vitesse presque exactement. Dans les mouvements de l'aile, au contraire, le mouvement s'accélère graduellement vers l'extrémité supérieure, où le mouvement est le plus efficace pour l'élévation, et décroît vers la base où il est le moins efficace, — disposition calculée pour réduire le nombre des contractions musculaires, tandis qu'elle contribue à la puissance effective de l'aile. Cette hypothèse, il faut l'observer, garantit à l'aile une très-haute vitesse, avec comparativement peu de renversements, et comparativement peu de contractions musculaires.

Chez la chauve-souris et l'oiseau, l'aile ne vibre pas avec la même rapidité que chez l'insecte, et l'on s'en rend compte par cette circonstance que, chez eux, les muscles n'agissent pas exclusivement à la base de l'aile. Chez l'oiseau et la chauve-souris, les muscles s'étendent le long de l'aile vers l'extrémité pour la fléchir et la plier avant le coup ascendant et pour l'ouvrir et l'étendre avant le coup descendant.

Comme les ailes doivent se plier ou se fléchir et s'ouvrir ou s'étendre chaque fois qu'elles s'élèvent et s'abaissent, et comme les muscles produisant la flexion et l'extension sont de longs muscles avec de longs tendons, qui agissent à de grandes distances sur de longs leviers, et

170 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

comparativement avec lenteur, il s'en suit que les muscles gros et courts (pectoraux, etc.), situés à la base de l'aile, doivent également agir lentement, les muscles du thorax et de l'aile devant nécessairement agir de concert pour produire une pulsation ou vibration de l'aile. Ce que l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau perd en vitesse, elle le gagne en puissance, les muscles de l'aile de l'oiseau et de la chauve-souris agissant directement sur les points à mouvoir, et dans les conditions les plus favorables. Chez l'insecte, au contraire, les muscles agissent indirectement et par conséquent à leur désavantage. Si les pectoraux agissaient seuls, ils agiraient comme des leviers courts et donneraient à l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau la rapidité particulière de l'aile de l'insecte.

Dans ce cas les sons émis par l'aile de l'oiseau s'élèveraient; le cygne en volant produit un fort sifflement, et le faisan, la perdrix et le coq de bruyère un raclement aigu semblable à celui d'une meule d'aiguiseur.

C'est une erreur de supposer, comme beaucoup le font, que le son ou la note produite par l'aile pendant ses vibrations est une véritable indication du nombre de battements qu'elle fait pendant un certain temps. Cela se comprendra tout de suite quand je dirai qu'une aile longue produit une note plus haute qu'une courte mue avec la même vitesse et ayant la même superficie, à cause de ce fait que le bout et le corps de l'aile longue parcourront un plus grand espace dans un temps donné que le bout et le corps de la courte. Cela est occasionné par l'articulation de toutes les ailes à leurs bases, le coup de fouet donné par les différentes parties de l'aile dans un temps

donné étant plus ou moins en raison de la longueur de l'aile. Il ne faut pas oublier non plus que les notes produites par les insectes ne doivent pas toujours se rapporter à l'action des ailes, mais dans bien des cas aux mouvements des pattes ou d'autres parties du corps.

C'est une circonstance curieuse que si l'on enlève des portions de la marge postérieure de l'aile d'un insecte bourdonnant, tel que la guêpe, l'abeille, la mouche bleue, etc., la note produite par les vibrations des ailerons est d'un diapason plus élevé. L'explication en est qu'un insecte dont les ailes sont rognées a besoin de les mouvoir avec une beaucoup plus grande vitesse pour se soutenir en l'air. La preuve que c'est la vitesse du mouvement de l'aile qui cause le son, est que chez les insectes et chez les oiseaux au vol lent il ne produit aucun son; tandis que chez ceux dont l'aile vibre avec une grande vitesse, on entend une note qui correspond dans certaines limites au nombre des vibrations et à la forme de l'aile. C'est la marge postérieure ou mince et flexible de l'aile qui sert plus spécialement à produire le son; et si on l'enlève, ou si cette portion de l'aile, comme c'est le cas chez la chauve-souris et l'oiseau, est formée d'une matière très-molle, la nature de la note est altérée. Si une aile artificielle est convenablement construite et animée d'une vitesse suffisante, elle produit un bruit de tambour qui ressemble de près à la note produite par les vibrations des oiseaux à courtes ailes, à corps lourd. Tout cela tend à prouver que le son est connexe à la rapidité des ailes.

Grande étendue et variabilité de la surface de l'aile.

— Les surfaces motrices des insectes, oiseaux et chauves-

souris excèdent notablement celles des poissons et des animaux nageurs ; ceux des animaux-nageurs dépassant de beaucoup celles des animaux qui marchent et qui courent. La surface de l'aile de l'insecte, de la chauve-souris et de l'oiseau, varie très-considérablement, et le vol reste possible entre des limites fort éloignées. Ainsi il y a des insectes et des oiseaux à corps léger et à grandes ailes,

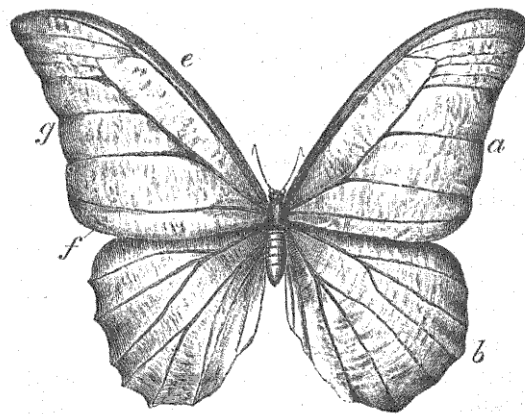


FIG. 57. — Montrant un papillon à ailes relativement grandes. On voit les nervures dans les meilleures conditions sur ce spécimen ; et l'énorme extension des ailes explique facilement le vol irrégulier de l'insecte d'après le principe du recul. *a* Aile antérieure. *b* Aile postérieure. *e* Bord antérieur de l'aile. *f* Bord postérieur. *g* Bord extérieur. Comparez au scarabée, fig. 58. — *Originale.*

comme le papillon (fig. 57) et le héron (fig. 60, p. 175) ; et d'autres dont le corps est comparativement lourd, tandis que leurs ailes sont d'une taille insignifiante, comme le phalène sphynx et le Goliath (fig. 58) parmi les insectes, et le grèbe, la caille et la perdrix (fig. 59, p. 175) parmi les oiseaux.

L'incompatibilité apparente des dimensions du corps

et des ailes s'explique aisément par le développement musculaire plus grand chez les insectes et les oiseaux à courtes ailes et à corps lourd, et la puissance croissante et la rapidité avec lesquelles ils font osciller leurs ailes. Chez les animaux à grandes ailes, les mouvements sont lents; chez ceux à petites ailes, ils sont comparativement très-rapides. Ceci montre que le vol peut être acquis par

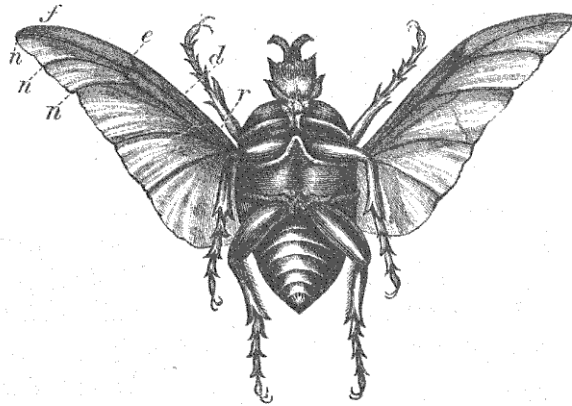


FIG. 53. — Surface inférieure du grand scarabée (*Goliathus micans*), avec ses ailes profondément concaves et relativement petites (comparez au papillon, fig. 57), montrant que les nervures (*r, d, e, f, n, n, n*) des ailes du scarabée sont disposées le long des marges antérieures et en général dans toute la substance des ailes, à très-peu près comme les os du bras, de l'avant-bras, de la main dans les ailes de la chauve-souris, auxquelles elles ressemblent d'une manière marquée par leur forme et leur mode d'action. Les ailes sont repliées sur elles-mêmes en *e* pendant le repos. Comparez les lettres de cette figure aux lettres semblables de la fig. 17, p. 51. — Originale.

un animal lourd et puissant avec des ailes comparative-ment petites aussi bien que par un léger muni d'ailes énormément agrandies. Tandis qu'il n'y a pas de relation fixe apparente entre la surface des ailes et celle de l'animal à élever, il y a, excepté dans le cas des oiseaux

voiliers¹, une relation invariable entre le poids de l'animal, la surface des ailes, et le nombre des oscillations qu'elles font pendant un temps donné. Le problème du vol se résout en un autre de poids, de puissance, de vitesse et de petites surfaces; ou bien en un de faible densité, médiocre puissance, petite vitesse et grandes surfaces, le poids étant en tous cas une condition *sine quâ non*. Afin d'utiliser l'air comme moyen de passage, le corps en mouvement, soit qu'il se meuve en vertu de la vie qu'il possède, ou par une force surajoutée, doit être plus pesant que l'air. Il doit s'insinuer et s'élever dans l'air comme un nageur sur l'eau, comme un cerf-volant sur le vent. Il doit agir contre la gravité, s'élever et se porter en avant aux dépens de l'air, et en vertu de la force qui réside en lui. S'il était délivré des lois de la pesanteur d'une part, et de l'autre privé de mouvement indépendant, il flotterait de côté et d'autre sans contrôle possible comme cela arrive au ballon ordinaire à gaz. La preuve qu'il n'y a pas de relation fixe entre la surface des ailes, le poids et la dimension du corps, se trouve dans la comparaison des dimensions des ailes et des corps de plusieurs espèces d'insectes, de chauves-souris et d'oiseaux. Si l'on fait une telle comparaison, on trouvera que dans quelques cas les ailes diminuent quand le corps augmente et inversement. Au-

¹ Chez les oiseaux qui glissent ou planent, l'aile est grandement allongée en forme de ruban, et le poids du corps opère sur les plans inclinés formés par les ailes de telle manière que lorsque ces oiseaux se sont convenablement lancés leur poids se supporte de lui-même. C'est particulièrement le cas quand ils marchent contre une faible brise, — le vent et les plans inclinés résultant de la pente des ailes en avant, réagissant l'un sur l'autre avec ce résultat très-remarquable que la masse des oiseaux se meut fermement en avant dans une direction plus ou moins horizontale.

cun bien pratique ne peut donc résulter pour l'aérostation de mesures précises des ailes et du tronc des êtres

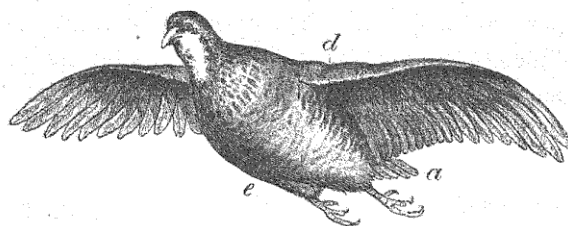


FIG. 59. — La perdrix à pieds rouges (*Perdrix rubra*), les ailes pleinement étendues, volant rapidement, montre que les ailes ont une forme concave, que les plumes primaires et secondaires se recouvrent et se supportent pendant l'extension, que les marges antérieures ou épaisses sont dirigées vers le haut et l'avant, et les postérieures ou minces en bas et en arrière. Les ailes de la perdrix sont douées d'une vélocité et d'une puissance immenses. Ceci est nécessaire à cause de leurs dimensions petites comparativement à la taille et au poids du corps.

Si l'on tire une ligne horizontale à travers les pieds (*a, e*) pour représenter l'horizon et une autre du bout de la queue *a* à la racine de l'aile, l'angle sous lequel l'aile frappe l'air est donné. Le corps et les ailes de la perdrix sont arrondis et courts. Comparez au héron, fig. 60. — *Originale*.

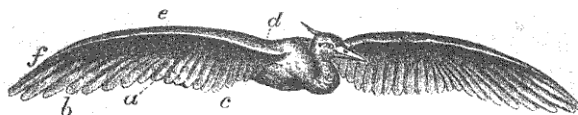


FIG. 60. — Le Héron gris (*Ardea cinerea*) en plein vol. Chez le héron les ailes sont profondément concaves et extraordinairement grandes par rapport à la dimension de l'oiseau. Le résultat en est que les ailes se meuvent à loisir, avec un battement lent, grave et presque solennel. Le héron figuré pesait moins de 3 livres, et l'envergure des ailes était considérablement plus grande que celle d'une oie sauvage qui pesait plus de 9 livres. Le vol est donc plus une question de puissance et de poids que de légèreté et de surface. *d, e, f*, marge antérieure, épaisse, forte de l'aile droite. *c, a, b*, marge postérieure, flexible, composée de plumes primaires (*b*), secondaires (*a*) et tertiaires (*c*). Comparez à la perdrix, fig. 59. — *Originale*.

volants; et l'on ne peut poser aucune règle quant à l'étendue de la surface requise pour soutenir un poids dé-

terminé. La surface de l'aile est, règle générale, considérablement en excès sur ce qui est effectivement requis pour le vol. On peut le prouver de deux manières, d'abord par ce fait que les chauves-souris peuvent porter sans difficulté leurs petits, et les oiseaux élever des quantités surprenantes de poissons, de gibier, de proie, etc. J'ai eu autrefois en ma possession un hibou de grange apprivoisé qui pouvait après un jeûne de vingt-quatre heures soulever un morceau de viande du quart de son poids; et il est bien connu qu'un aigle peut transporter avec facilité un agneau de dimension modérée.

L'excès de la surface de l'aile se prouve, secondement, par le fait qu'on peut enlever une grande proportion des ailes de la plupart des animaux volants sans détruire leur faculté de voler. J'ai institué une série d'expériences sur les ailes de la mouche, de la libellule, du papillon, du moineau, en vue de préciser ce point, en 1867. Voici les résultats obtenus :

Mouche bleue. — 1^{re} expérience. — Détaché la moitié postérieure ou mince de chaque aile suivant son grand axe. Vol parfait.

2^e exp. — Supprimé les *deux tiers* postérieurs de chaque aile suivant le grand axe. Encore vol parfait. Je dois avouer que je ne m'attendais pas à ce résultat.

3^e exp. — Supprimé obliquement un tiers du bord antérieur ou épais de chaque aile. Vol imparfait.

4^e exp. — Supprimé obliquement la moitié du bord antérieur ou épais de chaque aile. La faculté de voler complètement détruite. Des expériences 3 et 4 il semblerait que le bord antérieur de l'aile qui contient les

nervures principales et qui est la partie la plus rigide de chaque aile, ne peut être impunément mutilée.

5^e exp. — Supprimé un tiers de l'aile transversalement, c'est-à-dire dans la direction du petit axe de l'aile. Vol parfait.

6^e exp. — Supprimé la *moitié* de chaque aile transversalement comme dans l'expérience 5. Vol tout au plus très-légèrement altéré.

7^e exp. — Divisé chaque aileron dans la direction du grand axe en trois parties égales, les nervures antérieures étant contenues dans la portion antérieure. Vol parfait.

8^e exp. — Échancré obliquement les deux tiers postérieurs de chaque aile. Vol imparfait.

9^e exp. — Échancré transversalement le tiers antérieur de chaque aile. La faculté de voler détruite. Ici comme dans l'expérience 4 la mutilation a été suivie de la perte de la fonction.

10^e exp. — Supprimé les deux tiers postérieurs de l'aile droite suivant son grand axe, celle de derrière restant intacte. Vol parfait. Je m'attendais à ce que de cette expérience résulterait la perte de la faculté de balancement; mais cela n'eut pas lieu.

11^e exp. — Détaché transversalement la moitié de l'aile droite en laissant la gauche normale. L'insecte vola irrégulièrement et revint se poser sur le sol à environ un yard du point où j'étais. Je le pris et lui enlevai la moitié correspondante de l'aile gauche, après quoi il s'enfuit comme dans l'exp. 6.

Libellule. — 12^e exp. — Chez la libellule on peut enlever la première ou la seconde paire d'ailerons sans suppri-

mer la faculté de voler. L'insecte vole avec plus de fermeté quand c'est la paire postérieure qui est supprimée, parce qu'il s'équilibre mieux ; mais en tout cas le vol est parfait et n'est aucunement pénible.

13^e exp. — Enlevé un tiers du bord postérieur de la première et de la deuxième paire d'ailes. Vol pas du tout altéré.

Si l'on enlève plus du tiers de chaque aile l'animal peut encore voler mais avec effort.

L'expérience 13 montre que l'on peut se passer des bords postérieurs ou minces et flexibles de l'aile pour voler. Ils servent plus spécialement à la propulsion. Comparez aux exp. 1 et 2.

14^e exp. — Les extrémités de la première et de la seconde paire peuvent être supprimées jusqu'à l'étendue d'un tiers, sans diminuer la faculté de voler. Comparez aux exp. 5 et 6.

Si l'on pousse plus loin la mutilation, le vol est pénible, et en quelques cas, supprimé.

15^e exp. — Quand les bords antérieurs de la première et de la seconde paire sont échancrés ou enlevés le vol est complètement supprimé. Comparez aux expériences 3, 4 et 9.

Ceci montre que la raideur est jusqu'à un certain point nécessaire aux bords antérieurs des ailes, les bords antérieurs étant les soutiens indirects des bords postérieurs. C'est, de plus, sur les bords antérieurs des ailes que s'exerce la pression pendant le vol, et c'est par ces bords que la majeure partie des ailes est attachée au corps. Les principaux mouvements des ailes se communiquent à ces bords.

Papillon. — 16^e exp. — Supprimé les moitiés postérieures de la première paire du papillon blanc. Vol parfait.

17^e exp. — Supprimé les moitiés postérieures de la première et de la seconde paire d'ailes. Vol peu fort, mais encore parfait. Si l'on enlève des portions plus grandes des ailes postérieures, l'insecte peut encore voler, mais avec grand effort, et tombe à terre à une faible distance.

18^e exp. — Quand on coupe les extrémités (le sixième extérieur) de la première et de la seconde paire d'ailes, le vol n'est en aucune manière altéré. Quand on en détache davantage l'insecte ne peut pas voler.

19^e exp. — Supprimé les ailes postérieures du papillon brun. Vol non altéré.

20^e exp. — Supprimé en outre une petite portion (un sixième) des extrémités des ailes antérieures. Vol encore parfait; l'insecte a volé plus de dix yards.

21^e exp. — Enlevé en outre une portion (un huitième) du bord postérieur des ailes antérieures. L'insecte a volé très-imparfaitement et est retombé sur le sol, à environ un yard du point de départ.

Moineaux des maisons. — Le moineau est un oiseau lourd à petites ailes, ayant besoin, imaginerait-on, de toute la surface de ses ailes. Ce n'est cependant pas le cas comme le montrent les expériences ci-dessous.

22^e exp. — Détaché la moitié des plumes de chaque aile dans le sens du grand axe de l'aile, les primaires laissées intactes. Vol aussi parfait qu'avant la mutilation. Dans cette expérience on a opéré une aile avant l'autre afin d'éprouver la faculté du balancement. L'oiseau a

180 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

parfaitement volé soit avec une, soit avec deux ailes coupées.

23^e exp. — Détaché la moitié des plumes secondaires et un quart des primaires de chaque côté suivant le grand axe de l'aile. Vol pas du tout altéré. L'oiseau dans cet exemple a volé plus de 30 yards, et après s'être élevé à une hauteur considérable il alla se percher sur un arbre voisin.

24^e exp. — Détaché à peu près la moitié des plumes primaires selon le grand axe de chaque aile, les secondaires restant intactes. Quand on eut opéré sur une seule aile, le vol fut parfait, quand on les eut rognées toutes les deux, il fut encore parfait mais légèrement pénible.

25^e exp. — Détaché un peu plus du tiers des plumes primaires et secondaires de chaque aile suivant le grand axe de l'aile. Dans ce cas l'oiseau vola avec un effort évident, mais fut néanmoins capable d'atteindre une hauteur très-considérable.

Des expériences 1, 2, 7, 8, 10, 13, 16, 22, 23, 24 et 25, il semblerait qu'on peut prendre de grandes libertés avec le bord postérieur ou mince de l'aile et que les dimensions de l'aile dans ce sens peuvent être matériellement diminuées sans détruire ou même diminuer d'un degré appréciable la faculté du vol. Ceci est mis hors de doute par le fait indiqué par sir George Cayley, et pleinement expliqué par M. Wenham, que dans toutes les ailes, particulièrement les longues et étroites, la puissance élévatrice appartient au bord antérieur. Ces expériences prouvent que la courbure en avant de la marge postérieure des ailes pendant le coup descendant n'est pas nécessaire au vol.

26^e exp. — Supprimé une sur deux des plumes primaires et secondaires de chaque aile en commençant par la première primaire. L'oiseau vola plus de cinquante yards avec un très-faible effort, passa au-dessus d'une clôture voisine, et s'éleva de nouveau pour aller se percher sur un arbre à peu de distance. Quand on n'avait opéré que sur une seule aile, il volait irrégulièrement et de côté.

27^e exp. — Enlevé une sur deux des plumes primaires et secondaires en commençant par la *deuxième primaire*. Vol parfait, autant que j'ai pu le déterminer. Quand une seule aile était coupée, le vol était irrégulier et boiteux, comme dans l'exp. 26.

Des expériences 26 et 27, aussi bien que des expériences 7 et 8, il semblerait que l'aile n'a pas absolument besoin de présenter à l'air une surface sans ruptures et continue comme on le voit dans l'aile de la chauve-souris, et que les plumes quand il y en a peuvent être séparées l'une de l'autre sans détruire l'utilité de l'aile. Chez le corbeau et beaucoup d'autres oiseaux, les extrémités des quatre ou cinq premières plumes primaires s'écartent d'une manière notable. On rencontre des conditions semblables chez l'*Alucita hexadactyla*, où les délicates expansions ressemblent à des plumes s'écartant largement l'une de l'autre. L'aile cependant, *toutes choses égales d'ailleurs*, est plus forte quand les plumes ne sont pas séparées et quand elles *se recouvrent* et sont arrangées de manière à se soutenir mutuellement.

28^e exp. — Enlevé la moitié des plumes primaires de chaque aile transversalement, c'est-à-dire dans la direction du petit axe. Vol tout au plus très-légèrement altéré après l'opération sur une aile. Quand les deux furent coupées,

l'oiseau vola lourdement et revint sur le sol à une distance pas très-grande. Cette mutilation ne fut pas suivie du même résultat que dans les expériences 6 et 11. En résumé, je penche à croire que la surface de l'aile peut être rognée avec le moins d'inconvénients, dans la direction de son grand axe, en enlevant des portions successives de sa marge postérieure.

29^e exp. — L'articulation du carpe ou du poignet de chaque aile fut rendue immobilisée en attachant à l'aile de légers roseaux, les articulations de l'épaule restant libres. L'oiseau, après avoir quitté la main, battit vigoureusement des ailes ; mais après une courte lutte, il revint lourdement sur le sol, montrant ainsi qu'un certain degré de torsion ou de flexion des ailes est nécessaire au vol de l'oiseau et quels que soient les changements opérés sur la forme et la superficie des ailes, il ne faut pas contrarier ces mouvements. J'ai attaché les ailes d'un pigeon de la même manière et j'ai obtenu précisément le même résultat.

Je dois observer que les oiseaux sur lesquels on opérait étaient pris au filet et que les expériences étaient faites quelques minutes après la capture.

Quelques-uns des lecteurs concluront probablement de ce qui précède que les courbes en 8 formées par les bords antérieurs et postérieurs des ailes ne sont pas nécessaires au vol, puisqu'on peut supprimer les extrémités postérieures et supérieures du vol sans les détruire. A cela je réponds que les ailes sont flexibles, élastiques et composées d'une série de surfaces courbes, et que, aussi longtemps qu'il en reste une seule portion, elles forment ou tendent à former des figures en 8 dans toute direction.

Le capitaine F. W. Hutton, dans un récent travail « Sur le vol des oiseaux » (*Ibis*, avril 1872), revient sur quelques-unes des expériences détaillées ci-dessus, et s'efforce de fonder une théorie du vol, qui diffère en quelques points de la mienne. Ses remarques sont singulièrement mal appropriées et justifient fortement le vieil adage : « Un peu de science est une chose dangereuse. » Si le capitaine Hutton avait pris la peine de parcourir mon mémoire « sur la Physiologie des ailes, » communiqué à la Société Royale d'Édimbourg, le 2 août 1870 ¹, quinze mois avant que son article ne fût écrit, il y a des raisons de croire qu'il serait arrivé à des conclusions très-différentes. Assurément il ne se serait pas aventuré dans les affirmations téméraires qu'il a faites, spécialement quand il cherche à combattre mes opinions basées sur des recherches et des expériences anatomiques, sans avoir fait de son côté ni dissections ni expériences.

La surface de l'aile décroît à mesure qu'augmentent la dimension et le poids de l'animal volant. — Tandis que, comme on l'a expliqué dans le paragraphe précédent, il n'existe aucune relation définie entre le poids de l'animal volant et la dimension de ses surfaces, puisqu'il y a, comme on l'a dit, des insectes, des chauves-souris et des oiseaux à corps lourd et à petites ailes, et inversement; et tandis que, comme je l'ai montré par expérience, le vol est possible entre des limites écartées, les ailes étant ordinairement en excès sur ce qui est nécessaire pour le

¹ « Sur la Physiologie des ailes, analyse des mouvements qui produisent le vol chez l'insecte, la chauve-souris et l'oiseau ». — Trans. de la Soc. Roy. d'Édimbourg, vol. xxvi.

184 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

vol, il paraît cependant d'après les recherches de M. de Lucy, qu'il y a cette loi générale que plus l'animal est grand, plus, proportions gardées, ses surfaces volantes sont petites. L'existence d'une telle loi est très-encourageante en ce qui concerne le vol artificiel, car cela montre que les surfaces volantes d'une machine grande, lourde et puissante seront comparativement petites, et en conséquence compactes et fortes. Ceci est un point d'une grande importance, l'objet recherché dans une machine volante étant la puissance élévatrice.

M. de Lucy a fait de ses résultats le tableau suivant ¹ :

INSECTES.			OISEAUX.		
Noms.	Rapporté au kilogramme.		Noms.	Rapporté au kilogramme	
	yards carrés.	pieds. pouc.		yar. ca.	pi. po.
Cousin	41	8 92	Hirondelle . . .	2 1	104 1/2
Libellule (petite)	7	2 56	Moineau	0 5	142 1/2
Coccinelle (bête à bon dieu)	5	13 87	Tourterelle . . .	0 4	100 1/2
Libellule (commune)	5	2 89	Pigeon	0 2	113
Tipule	3	5 41	Cigogne	0 2	20
Abeille	1	2 74 1/2	Vautour	0 1	116
Mouche de viande	1	3 54 1/2	Grue d'Australie .	0 0	139
Drone (bleu)	1	2 20			
Hanneton	1	2 50			
Lucanus cerf-volant (femelle)	1	4 39 1/2			
cervus cerf-volant (mâle)	0	8 33			
Scarabée rhinocéros	0	6 122 1/2			

« Il est aisé à l'aide de cette table de suivre l'ordre toujours décroissant des surfaces en proportion de l'accroissement du poids et des dimensions de l'animal ailé. Ainsi en comparant entre eux les insectes, nous trouvons que

¹ « Sur le vol des oiseaux, des chauves-souris et des insectes, dans ses rapports avec la locomotion aérienne », par M. de Lucy. Paris.

le cousin qui pèse 460 fois moins que le cerf-volant, a quatorze fois plus de surface. La coccinelle pèse 150 fois moins que le cerf-volant et a cinq fois plus de surface. Le pigeon pèse 8 fois moins que la cigogne, et a deux fois plus de surface. Le moineau pèse 339 fois moins que la grue d'Australie, et possède sept fois plus de surface. Si nous comparons maintenant les insectes et les oiseaux, la gradation deviendra même beaucoup plus frappante. Le cousin par exemple pèse 97,000 fois moins que le pigeon, et a quarante fois plus de surface; il pèse 3,000,000 de fois moins que la grue d'Australie et possède 149 fois plus de surface qu'elle, le poids de celle-ci étant d'environ 9 kilogrammes 500 grammes.

« La grue d'Australie est l'oiseau le plus lourd que j'aie pesé. C'est celui qui a la plus faible surface, car, par rapport au kilogramme, il ne nous donne pas une surface de plus de 899 centimètres carrés (139 pouces carrés), c'est-à-dire la onzième partie d'un mètre carré. Mais chacun sait que ces échassiers volent supérieurement. De tous les oiseaux ce sont ceux qui entreprennent les voyages les plus longs et les plus lointains. Ce sont, l'aigle excepté, les oiseaux qui s'élèvent le plus haut, et dont le vol se maintient le plus longtemps ¹. »

Mes propres mesures sur le fou et le héron sont strictement d'accord avec ce qui précède. Les détails suivants sur le poids, la taille, etc., du fou m'ont été fournis par un spécimen adulte que j'ai disséqué pendant l'hiver de 1869. Poids entier, 7 livres; longueur du corps du bout du bec au bout de la queue, trois pieds quatre

¹ M. de Lucy, *op. cit.*

pouces ; tête et cou, un pied trois pouces ; queue, douze pouces ; tronc treize pouces ; circonférence du tronc, dix-huit pouces ; envergure des ailes d'une extrémité à l'autre, six pieds ; portion la plus large des ailes en travers des plumes primaires six pouces, en travers des secondaires sept pouces, en travers des tertiaires huit pouces. Chaque aile soigneusement mesurée a donné une surface de deux cent trente et un pouces carrés. Les ailes du fou ont donc comme surface de sustentation un carré de trois pieds trente pouces ; et comme l'oiseau pèse très-près de 7 livres, cela donne quelque chose comme soixante-six pouces carrés d'aile pour chaque livre de corps.

Le héron dont j'ai disséqué un spécimen à la même époque, donna un résultat très-différent comme le montreront les détails ci-dessous. Poids du corps 3 livres, 3 onces ; longueur du corps du bout du bec à celui de la queue, trois pieds quatre pouces ; tête et cou, deux pieds ; queue, sept pouces ; tronc, neuf pouces ; circonférence du corps, douze pouces ; envergure des ailes d'un bout à l'autre en travers du corps, cinq pieds neuf pouces ; portion la plus large des ailes en travers des plumes primaires et tertiaires, onze pouces ; à travers des secondaires, douze pouces.

Chaque aile soigneusement mesurée a donné une surface de 373 pouces carrés. Les ailes du héron fournissent en conséquence une surface de sustentation de cinq pieds vingt-sept pouces. Comme l'oiseau ne pèse que 3 livres, cela donne une surface de sustentation de 1 pied 105 pouces carrés pour chaque livre de corps.

Chez le fou, il n'y a qu'une surface de 66 pouces

pour chaque livre de corps. Le fou a par conséquent seulement à peu près un quart de la surface d'aile du héron. Les ailes du fou sont cependant des ailes longues et étroites (celles du héron sont larges) qui s'étendent transversalement par rapport au corps ; et l'on trouve que les plus puissantes sont celles de l'albatros qui mesurent quatorze pieds d'un bout à l'autre, et seulement un pied en travers, et élèvent dix-huit livres sans difficulté. Si les ailes du fou qui ont une superficie de trois pieds trente pouces sont capables d'élever 7 livres pendant que les ailes du héron qui ont une superficie de cinq pieds vingt-sept pouces ne peuvent élever que trois livres, il est évident (puisque les ailes de tous les deux sont des leviers tordus, et formées d'après un type commun) que les ailes du fou doivent vibrer avec plus d'énergie que celles du héron ; et c'est effectivement le cas. Les ailes du héron comme je m'en suis assuré par l'observation, font 60 coups ascendants et 60 descendants par minute ; tandis que les ailes du fou, lorsque cet oiseau vole en ligne droite allant à la pêche ou en revenant, font près de 150 coups ascendants et 150 descendants pendant le même temps. Les ailes des plongeurs et autres oiseaux à courtes ailes et à corps lourd se meuvent avec une beaucoup plus grande vitesse de façon que des ailes comparativement petites peuvent élever un corps relativement lourd si la vitesse est suffisamment augmentée ¹. Le vol est donc, comme on l'a déjà indiqué, une question

¹ Les grèbes, parmi les oiseaux, et les scarabées fournissent des exemples où de petites ailes vibrant avec de grandes vitesses sont capables d'élever de grands poids.

de puissance de vitesse et de petites surfaces *opposées* au poids. Des mesures attentives de la surface de l'aile, et des calculs minutieux de sa vitesse ne peuvent en conséquence que déterminer le minimum de l'aile capable d'élever le maximum de poids. — Le vol pouvant être acquis entre des limites très-écartées.

Ailes, leur forme, etc.; les ailes sont des vis par leur structure et leurs fonctions. — Les ailes varient considérablement quant à leur aspect général; quelques-unes sont arquées, en forme de faux, d'autres oblongues, d'autres arrondies ou circulaires; d'autres lancéolées et d'autres linéaires ¹.

Toutes les ailes sont construites sur un type commun. Elles sont dans chaque exemple soigneusement graduées, s'amincissant de la base au sommet, et du bord antérieur au postérieur. Elles sont généralement de forme triangulaire et tordues sur elles-mêmes dans la direction de leur longueur pour former une hélice ou une vis. Elles sont convexes en-dessus, concaves en-dessous, et plus ou moins flexibles et élastiques en tous points, l'élasticité étant la plus grande au sommet et le long de la marge

¹ « L'aile est courte, large, convexe et arrondie chez la grive, la perdrix et d'autres gallinacées; longue, large, droite et pointue chez la plupart des pigeons. Chez le faucon pèlerin, elle est aiguë, la deuxième plume étant plus longue et la première plus courte; et chez les hirondelles, c'est encore plus le cas, la première étant la plus longue, les autres diminuant rapidement en longueur. » (Macgillivray, Hist. Brit. Bird., vol. I, p. 82.) « Les éperviers ont été classés en nobles et en ignobles suivant la longueur et l'acuité de leurs ailes; et les faucons ou éperviers à longues ailes se distinguent de ceux à ailes courtes par la deuxième plume de leur aile qui est, soit la plus longue, soit égale en longueur à la troisième, et par leur manière de fondre sur leur proie » — Falconry in the British Isles, par F. H. Salvin et W. Brodrick. Lond., 1855, p. 28.

postérieure. Elles sont aussi mobiles dans tous les sens. Les fig. 61, 62, 63 (p. 189, 190, 191), 59 et 60 (p. 175), 96 et 97 (p. 242), représentent des ailes types d'oiseau ; les

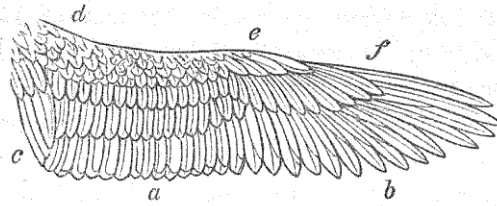


FIG. 61. — Aile droite de l'émouchet, donnée d'après un spécimen tenu contre la lumière. Montrant comment les plumes primaires (b), secondaires (a) et tertiaires (c) se recouvrent et se soutiennent dans tous les sens. Chaque groupe de plumes a ses grandes et ses petites couvertures ; l'aile est conique de dedans en dehors et d'avant en arrière. d, e, Marge antérieure ou épaisse de l'aile. b a, c marge postérieure ou mince. L'aile de l'émouchet est intermédiaire sous le rapport de la forme, n'étant ni arrondie, comme chez la perdrix (fig. 96, p. 242), ni en ruban, comme chez l'albatros, (fig. 62), ni pointue, comme chez l'hirondelle. Les plumes de l'aile de l'émouchet sont extraordinairement symétriques et fortes. Comparez aux fig. 92, 94 et 96, p. 240, 241 et 242. — *Originale*.

fig. 17 (p. 51), 94 et 95 (p. 241), des ailes types de chauves-souris ; et les fig. 57 et 58 (p. 172, 173), 89 et 90 (p. 236), 91 (p. 237), 92 et 93 (p. 240) des ailes types d'insectes.

Dans toutes les ailes que j'ai examinées, chez l'insecte, la chauve-souris ou l'oiseau, l'aile est refermée, fléchie ou rapprochée du corps par l'action de ligaments élastiques, ces organes par leur simple contraction amenant l'aile pleinement étendue et présentant son maximum de surface à reprendre sa position de repos et la forme de moindre résistance. Le principal effort requis pendant le vol est donc fait pendant l'extension et au commencement du coup descendant. Les ligaments élastiques sont diversement formés, et le total de la contraction qu'ils subissent est dans tous les cas exactement adapté à l'éten-

due et à la forme des ailes, et à la rapidité avec laquelle elles sont mises en mouvement ; la contraction étant plus grande chez les insectes à courtes ailes et à corps lourd, et moindre chez ceux à corps léger et à grandes ailes, particulièrement ceux qui glissent ou planent. L'action mécanique des ligaments élastiques, j'ai à peine besoin de le faire remarquer, assure à l'aile une période additionnelle de repos à chaque coup ; et c'est là un point de quelque importance que le vol prolongé des insectes et des oiseaux ne soit pas sans intervalles réglés de repos.

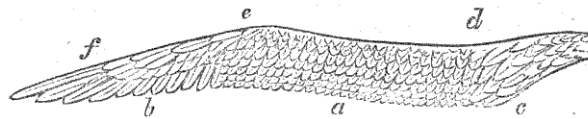


FIG. 62. — Aile gauche de l'albatros. *d, e, f*, Marge antérieure ou épaisse de l'aile. *b, a, c*, Marge postérieure ou mince composée de plumes primaires (*b*), secondaires (*a*), tertiaires (*c*). Dans cette aile la première primaire est la plus longue, les grandes et les petites rectrices étant extraordinairement longues et fortes. Les grandes et les petites rectrices occupent le corps de l'aile (*e, d*) et sont assez nombreuses pour prévenir toute fuite d'air entre elles pendant le coup de retour ou ascendant. Cette aile que j'ai en ma possession mesure plus de six pieds de long. — *Originale*.

Toutes les ailes sont munies à leur insertion de quelque sorte de jointure universelle qui leur permet de se mouvoir non-seulement vers le haut, le bas, en avant ou en arrière, mais aussi à divers degrés d'obliquité. Toutes les ailes obtiennent leur base d'appui en présentant à l'air des surfaces obliques, le degré d'obliquité croissant dans une direction descendante d'arrière en avant pendant l'extension et le coup descendant, et décroissant graduellement dans la direction opposée pendant la flexion et le mouvement ascendant.

Chez l'insecte les surfaces obliques sont dues à la con-

formation de l'articulation de l'épaule, laquelle est munie d'un système de freins, de proéminences cornées ou arrêts placés autant que possible à angles droits l'un de l'autre. Les freins et les proéminences cornées sont dis-

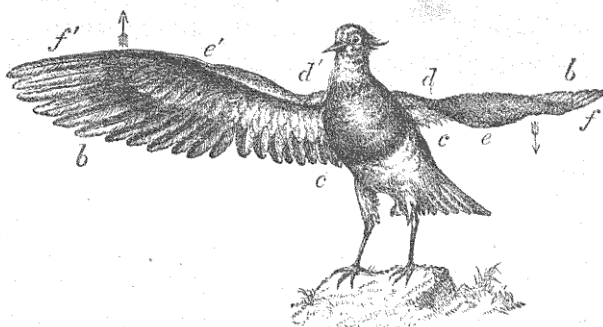


FIG. 63. — Vanneau ou Pluvier vert (*Vanellus cristatus*, Meyer) avec une aile (*c b, d' e' f'*) complètement étendue et formant un long levier; l'autre (*d e f, c b*) étant fléchie et formant un court levier. Dans l'aile étendue, le bord antérieur ou épais (*d' e' f'*) est dirigé *en haut et en avant* (voyez la flèche), le bord postérieur ou mince (*c, b*) *en bas et en arrière*. L'inverse se présente dans la flexion : le bord antérieur ou épais (*d, e, f*) étant dirigé *en bas et en avant* (voyez la flèche), le bord postérieur ou mince (*c b*) portant les plumes rameuses *en haut et en arrière*. Ses ailes se tournent donc dans des sens opposés pendant l'extension et la flexion; et c'est, pour l'action de toutes les ailes, un point de la plus haute importance qui rend l'animal volant capable de tourner les ailes contre l'air ou non, et de présenter pendant un temps (l'extension) des surfaces résistantes, ressemblant à un cerf-volant et, pendant l'autre (la flexion), des surfaces en lame coupante et comparativement non résistantes. Il arrive rarement dans le vol que l'aile soit aussi complètement fléchie que dans la figure. En conséquence, la surface inférieure de l'aile est, règle générale, inclinée en haut et en avant, même dans la flexion, de sorte qu'elle agit comme un cerf-volant dans l'extension et la flexion, et pendant les coups ascendants et descendants. — Originale.

posées de telle façon que, quand l'aile est mise en vibration, elle doit aussi tourner dans la direction de sa longueur de la manière expliquée.

Chez la chauve-souris et l'oiseau, les surfaces obliques sont produites par la configuration spirale des surfaces

articulaires des os de l'aile, et par la rotation des os du bras, de l'avant-bras et de la main autour de leurs grands axes. La réaction de l'air aide aussi à la production des surfaces obliques.

L'aile se tord sur elle-même dans sa structure non-seulement chez l'insecte, mais aussi chez la chauve-souris et l'oiseau; chacun peut s'en convaincre par un examen attentif; et elle se tord pendant son action, j'en ai eu les preuves les plus convaincantes et les plus répétées (fig. 64, 65 et 66).

FIG. 64.

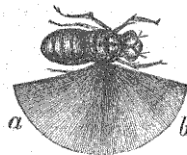
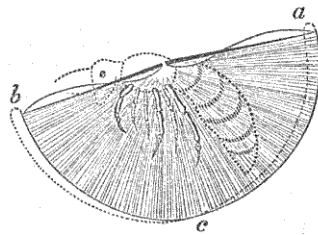


FIG. 65

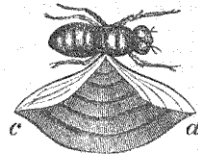


FIG. 66

FIG. 64, montrant l'aile gauche (a, b) de la guêpe se tordant sur elle-même, le bout de l'aile décrivant une trajectoire en 8 de chiffre. D'après nature. — *Originale*.

FIG. 65 et 66, montrant l'aile droite de la mouche bleue tournant autour de son bord antérieur, et se tordant pour former des courbes doubles et en forme de 8 (a, b, c, d). D'après nature. — *Originale*.

La torsion en question est plus marquée dans la marge postérieure ou mince de l'aile, la marge antérieure épaisse jouant davantage le rôle d'axe. Comme résultat de cet

arrangement, la marge antérieure ou épaisse coupe tranquillement l'air, comme furtivement, la postérieure produisant en toute occasion une violente commotion, spécialement perceptible en plaçant une flamme derrière l'aile vibrante. Il est vraiment surprenant que la conformation spirale de l'aile, et son action spirale aient si longtemps échappé à l'observation; et l'on me pardonnera de m'étendre sur ce sujet, quand je dirai que dans ma conviction, il forme le trait fondamental et caractéristique du vol, dont doivent tenir compte tous ceux qui cherchent à résoudre par des moyens artificiels ce problème si compliqué et si intéressant. L'importance de la configuration tordue ou de la forme hélicoïdale de l'aile ne peut être surestimée. Un fait montre l'association intime de cette forme au vol, c'est que les plumes rémiges de l'aile de l'oiseau sont chacune d'une nature spirale; en fait, une plume est équivalente — morphologiquement parlant — à une aile entière d'insecte. Dans l'aile du martin où les os sont courts et à quelques égards rudimentaires, les plumes primaires et secondaires sont grandement développées, et encastrées de telle manière que l'aile, dans son ensemble, présente les mêmes courbes que celles déployées par l'aile de l'insecte, ou par l'aile de l'aigle où les os, les muscles et les plumes ont atteint le développement maximum. La conformation de l'aile est telle qu'elle présente une apparence ondulée dans toutes les directions, les ondes courant longitudinalement, transversalement et obliquement. La plus grande partie de l'aile peut donc être supprimée sans affecter matériellement sa forme ou ses fonctions. Ceci se prouve en faisant des sections dans diverses directions, et en trou-

vant, comme on l'a déjà montré, que, dans quelques cas, on peut enlever jusqu'aux deux tiers de l'aile sans affaiblir visiblement la faculté de voler. La nature spirale de l'aile se reconnaît facilement quand on la voit de derrière et de dessous, et quand elle est repliée de l'avant. Elle est aussi bien marquée chez certains oiseaux océaniques à longues ailes vus de l'avant (fig. 82 et 83, p. 218) et ne peut en aucun cas manquer d'être découverte si on la cherche, — les ailes étant essentiellement composées d'une série de courbes également remarquables par leur apparente simplicité et la finesse de leurs détails.

L'aile pendant son action renverse ses plans et décrit dans l'espace une courbe en forme de 8. — La torsion ou rotation de l'aile autour de son grand axe est particulièrement observable pendant l'extension et la flexion chez l'oiseau et la chauve-souris, et également chez les insectes, particulièrement chez le scarabée et la blatte, et ceux qui replient les ailes pendant le repos. Chez eux, pendant l'extrême flexion, le bord antérieur ou épais de l'aile est dirigé vers le bas et le postérieur ou mince vers le haut. Pendant l'extension, les marges en vertu de la rotation de l'aile autour de son grand axe, renversent leurs positions : l'antérieure ou épaisse décrivant une courbe en forme de spirale de bas en haut, la postérieure ou mince décrivant une courbe semblable mais opposée de haut en bas. Ces conditions, j'ai à peine besoin de le faire observer, sont renversées pendant la flexion. Les mouvements des marges pendant la flexion et l'extension peuvent être représentés avec une grande exactitude par une courbe en 8 placée horizontalement.

Chez la chauve-souris et l'oiseau, quand l'aile monte et descend, elle décrit une figure en 8 à peu près verticale. Chez l'insecte, l'aile, à cause de la direction plus oblique du coup, décrit une figure en 8 presque horizontale. Dans ces deux cas, l'aile change et renverse ses plans. Le coup ascendant et le coup descendant se croisent, comme on le verra et comme le montrent plus particulièrement les fig. 67, 68, 69 et 70.

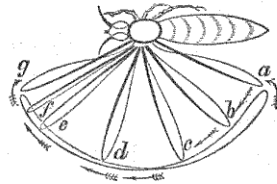


FIG. 67.

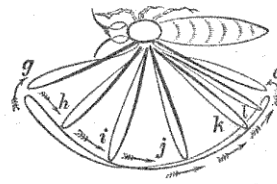


FIG. 68.

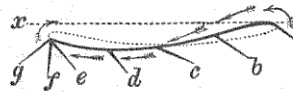


FIG. 69.



FIG. 70.

FIG. 67, 68, 69 et 70, montrant la surface engendrée par l'aile gauche de la guêpe quand l'insecte est fixé, les divers angles faits par l'aile dans l'allée et le retour, le renversement et l'action alternative de l'aile, la torsion sur elle-même, et la trajectoire en forme de 8 décrite dans l'espace. Les fig. 67 et 69 représentent le coup en avant et en bas; les fig. 68 et 70, le coup en arrière et en haut. Les termes en avant et en arrière sont relatifs à la position de la tête de l'insecte. — *Originale.*

Chez la guêpe, l'aile commence le coup en avant et en bas, en a, fig. 67 et 69, et fait un angle de quelque chose comme 45° avec l'horizon ($x x'$). En b (fig. 67 et 69), l'angle diminue légèrement, en partie à cause de la rotation de l'aile autour de la marge antérieure (grand axe de l'aile), en partie à cause de l'accroissement de la vitesse,

et en partie à cause de la plus ou moins grande flexibilité de l'aile.

En *c*, l'angle *a* encore plus diminué par les mêmes causes.

En *d*, l'aile se ralentit légèrement et se prépare au renversement, et l'angle qu'elle fait avec l'horizon (*x*) s'accroît.

En *e*, l'angle pour la même raison s'est encore accru ; tandis qu'en *f*, l'aile est à angle droit avec l'horizon. C'est, de fait, le moment du renversement.

En *g*, l'aile est renversée, et le coup ascendant ou de retour commence.

L'angle fait en *g* est conséquemment le même que celui fait en *a* (45°), avec cette différence que la marge antérieure et la portion extérieure de l'aile, au lieu d'être dirigées en avant par rapport à la tête de l'insecte, sont dirigées en arrière.

Pendant le coup ascendant ou de retour, tous les phénomènes sont renversés comme on le voit en *g, h, i, j, k, l*, des fig. 68 et 70 ; la seule différence étant que les angles faits par les ailes avec l'horizon sont quelque peu moindres que pendant le coup en bas ou coup d'avant, — circonstance qui facilite la progression du corps, tandis que le coup d'arrière lui fournit une quantité considérable de support. Cet arrangement permet à l'aile de se déplacer vers l'arrière, tandis que le corps se déplace en avant ; la diminution des angles faits par l'aile dans le coup de retour donnant à très-peu près le même résultat que si l'aile frappait dans la direction du déplacement du corps. La faible inclinaison de l'aile pendant le coup de retour permet au corps de tomber en avant à très-peu près à

cette jonction particulière, la chute du corps contribuant, comme on l'a déjà expliqué, à l'élévation de l'aile.

L'aile agit comme une hélice ou une vis dans une direction plus ou moins horizontale d'arrière en avant, et d'avant en arrière. Si l'on observe d'en haut l'aile de la grande mouche domestique pendant ses vibrations, on trouvera que l'impression produite sur l'œil par son action est plus ou moins concave (fig. 66, p. 192). Ceci est dû à ce que l'aile est de nature spirale, et à ce que pendant son action elle se tord sur elle-même de manière à décrire une double courbe, l'une dirigée vers le haut, l'autre vers le bas. La double courbe dont nous parlons est particulièrement visible dans le vol des oiseaux à cause de la dimension plus grande de leurs ailes. L'aile au repos aussi bien qu'en mouvement peut se comparer avec justesse à la lame d'une hélice propulsive ordinaire employée dans la navigation. Ainsi l'aspect général de l'aile correspond très-exactement à la lame du propulseur, et la trajectoire de l'aile dans l'espace est tordue sur elle-même comme l'est le propulseur. La grande vitesse avec laquelle l'aile est menée convertit la tache, l'impression produite sur l'œil en quelque chose d'équivalent à un solide momentanée, de la même manière que les rayons d'une roue en mouvement violent occupent complètement l'espace contenu dans la circonférence de la roue (fig. 64, 65 et 66, p. 192).

La figure en 8 de l'aile explique comment un insecte, une chauve-souris ou un oiseau, peuvent se fixer en l'air, l'action alternative en avant et en arrière de l'aile leur fournissant du support mais non de la propulsion. Dans

ces cas, les coups rétrogrades et progressifs doivent se contre-balancer.

L'aile, quand le corps avance, décrit une trajectoire bouclée et ondulée. — Quoique la figure en 8 représente avec une grande fidélité la torsion de l'aile autour de son grand axe pendant l'extension et la flexion, et pendant les coups ascendants et descendants, lorsque l'animal volant agite ses ailes devant un objet, ou mieux encore lorsqu'il est artificiellement fixé, il en est autrement quand il est libre et s'avance avec une grande rapidité. Dans ce cas, l'aile en vertu de sa progression en avant due au mouvement du corps, décrit une courbe tantôt bouclée, tantôt ondulée. La trajectoire bouclée et ondulée décrite par l'aile d'un insecte est représentée fig. 71 et 72, et celle décrite par l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau, fig. 73.

Les boucles faites par l'aile de l'insecte, grâce à son coup plus oblique, sont plus horizontales que celles faites par l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau. Le principe est cependant le même dans les deux cas, les boucles se transformant finalement en trajectoires ondulées. L'impulsion est communiquée à l'insecte aux parties épaisses des boucles *a b c d e f g i j k l m n* de la figure 71 ; les courbes ondulées sont indiquées *p q r s t* de la même figure. Le recul obtenu de l'air est représenté aux lettres correspondantes fig. 72, le corps de l'insecte se transportant le long de la courbe indiquée par une ligne pointillée. L'impulsion se communique à l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau, aux parties épaisses des boucles *a b c d e f g h i j k l m n o* de la fig. 73, la courbe ondulée étant indiquée *p s t u v w* de la même figure. Quand la

vitesse horizontale atteinte est élevée, l'aile est successivement et rapidement amenée au contact d'innombrables colonnes d'air non troublé. Il importe peu, par conséquent, que l'aile soit transportée avec une grande vitesse

FIG. 71.

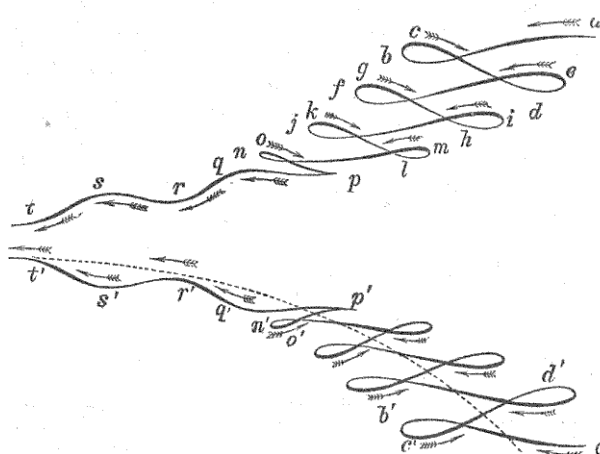


FIG. 72.

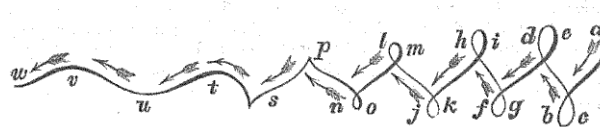


FIG. 73.

contre de l'air calme ou qu'elle opère sur de l'air se déplaçant avec une grande vitesse (comme, par exemple, les courants produits par les actions rapides alternatives de l'aile). Le résultat est le même dans les deux cas, d'autant plus qu'une certaine quantité d'air est poussé vers le haut sous l'aile, et fournit la quantité nécessaire de sup-

200 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

port et de propulsion. Il est donc tout à fait correct de dire que quand la vitesse horizontale du corps croît, l'action réciproque de l'aile décroît; *et vice versa*. En fait, l'action réciproque ou non réciproque de l'aile en de tels cas est purement affaire de vitesse. Si le déplacement de

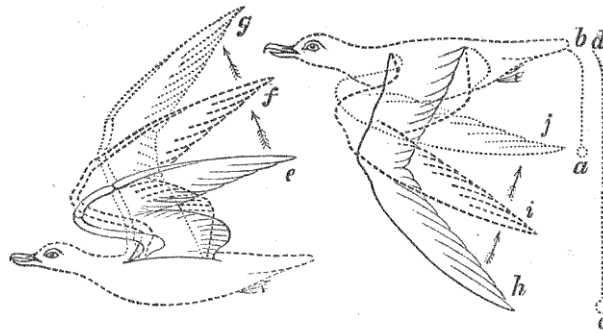


FIG. 74.

FIG. 75.

FIG. 74 et 75, montrant la direction plus ou moins perpendiculaire du coup de l'aile dans le vol de l'oiseau (mouette) — l'élévation graduelle de l'aile (*e f g*, fig. 74) — sa descente comme un long levier jusqu'à la position indiquée par *h* de la fig. 75 — sa flexion vers la fin du coup descendant, comme on le voit en *h i j* de la fig. 75, pour se convertir en levier court et faire le coup ascendant. La différence de la longueur de l'aile pendant la flexion et l'extension est indiquée par le levier court *a b* et le long *c d* de la fig. 75. La conversion soudaine de l'aile de long en court levier à la fin du coup descendant est de grande importance, comme supprimant la force vive de l'aile et la préparant à renverser ses mouvements. Comparez aux fig. 82 et 83, p. 218. — *Originale*.

l'aile est plus grand que le déplacement horizontal du corps, alors la figure en 8 et le pouvoir alternatif de l'aile seront plus ou moins parfaitement développés suivant les circonstances. Si, cependant, le déplacement horizontal du corps est plus grand que celui de l'aile, il s'en suit que l'aile ne décrira pas de figure en 8; que l'aile n'alternera pas sensiblement, et que cet organe décrira une

trajectoire ondulée dont les courbes deviendront de moins en moins accentuées, c'est-à-dire de plus en plus longues en proportion de la vitesse obtenue. La direction plus verticale des boucles formées par l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau sera aisément comprise si l'on se reporte aux fig. 74 et 75 (p. 200) qui représentent l'aile de l'oiseau dans les coups descendants et ascendants, et dans les actes de l'extension et de la flexion. (Comparez aux fig. 64, 65 et 66, p. 192, et aux fig. 67, 68, 69 et 70, p. 195).

Les coups ascendants et descendants sont des mouvements composés, la fin du coup descendant embrassant le commencement du coup ascendant ; la fin du coup ascendant comprenant le commencement du coup descendant. Ceci est nécessaire pour que les coups ascendant et descendant puissent glisser l'un dans l'autre de manière à prévenir les saccades et les retards inutiles.

Les bords de l'aile projetés selon des courbes opposées pendant l'extension et la flexion. — La marge antérieure ou épaisse de l'aile et la postérieure ou mince forment différentes courbes semblables à tous égards à celles faites par le corps du poisson nageant (voyez fig. 32, p. 95). Ces courbes peuvent être divisées, pour la clarté, en courbes axillaires et digitales, les premières se présentant vers la racine de l'aile, les dernières vers son extrémité. Les courbes (axillaire et digitale) qui se trouvent sur la marge antérieure de l'aile sont toujours les inverses de celles qu'on rencontre sur la marge postérieure, c'est-à-dire que la convexité de la courbe axillaire antérieure est dirigée vers le bas, celle de la courbe axillaire postérieure

est dirigée vers le haut, et de même des courbes digitale, antérieure et postérieure. Les deux courbes axillaires et digitales que l'on rencontre sur la marge antérieure de l'aile, sont de même antagonistes, la convexité de l'axillaire étant toujours dirigée vers le bas lorsque la convexité de la digitale est dirigée vers le haut, *et vice versa*. La même chose est vraie des courbes axillaires et digitales se présentant à la marge postérieure de l'aile. Les courbes axillaires et digitales se renversent complètement pendant les actes d'extension et de flexion et de même des courbes postérieures axillaires et digitales, fig. 76, 77 et 78. Cet antagonisme des courbes axillaires et digitales qui se trouvent sur les marges antérieures et postérieures de l'aile peut se rapporter chez l'oiseau et la chauve-souris aux changements survenus dans les os pendant les actes de la flexion et de l'extension. Chez l'insecte, il est dû à une torsion qui a lieu à la base de l'aile et à la réaction de l'air.

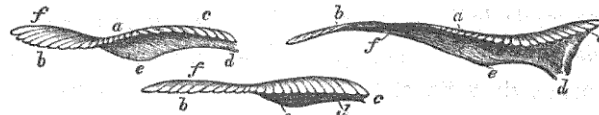


FIG. 76.

FIG. 77.

FIG. 78.

FIG. 76. — Courbes observées sur le bord antérieur (*d e f*) et postérieur (*c a b*) de l'aile de l'oiseau dans la flexion. — *Originale*.

FIG. 77. — Courbes observées sur le bord antérieur (*d e f*) de l'aile dans la demi-extension. Dans ce cas les courbes du bord postérieur (*b c*) sont invisibles. — *Originale*.

FIG. 78. — Courbes observées sur le bord antérieur (*d e f*) et postérieur (*c a b*) de l'aile dans l'extension. Les courbes de cette figure sont inverses de celles de la fig. 76. Comparez à la fig. 79, p. 203, et à la fig. 32, p. 95. — *Originale*.

Le bout de l'aile de la Chauve-souris et de l'oiseau décrit une ellipse. — Les mouvements du poignet sont tou-

jours les inverses de ceux qui ont lieu à l'articulation du coude. Ainsi chez l'oiseau pendant l'extension, le coude et les os de l'avant-bras s'élèvent et décrivent un côté d'ellipse, pendant que le poignet et les os de la main s'abaissent et décrivent les côtés d'une autre ellipse opposée. Ces mouvements sont renversés pendant la flexion, le coude étant abaissé et reculé, tandis que le poignet est élevé et avancé (fig. 79).

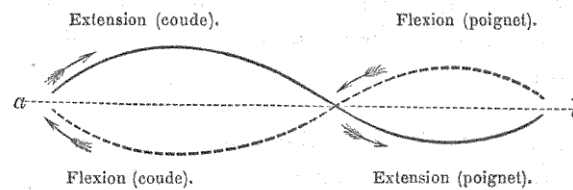


FIG. 79. — (a b) Ligne le long de laquelle le corps se déplace pendant l'extension et la flexion. Le corps du poisson nageant décrit des courbes semblables à celles décrites par l'aile en volant. — (Voyez fig. 32, p. 95.)

L'aile capable de changer de formes dans toutes ses parties. — Il suit de cette description que quand les différentes portions de la marge antérieure sont élevées, des portions correspondantes de la marge postérieure sont abaissées ; les différentes parties de l'aile se mouvant dans des directions opposées, et semblant poursuivre des objets contraires pour un bien commun ; le but étant de tourner ou de visser l'aile dans le vent, à un angle graduellement croissant pendant l'extension, et de la retourner en sens opposé et de la dégager à un angle graduellement décroissant pendant la flexion. Il arrive aussi que les courbes axillaires et digitales se coordonnent l'une l'autre, et mordent alternativement, la courbe digitale saisissant

204 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

postérieurement l'air dans son extrême extension avec sa surface concave (tandis que la courbe axillaire se soulage en présentant sa surface convexe); la courbe axillaire, d'autre part, mordant pendant la flexion avec sa surface concave (pendant que la digitale se soulage en présentant sa convexe). L'aile peut donc être regardée comme exerçant une quadruple fonction, l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau étant mue de dedans en dehors, et de haut en bas, dans le coup descendant, pendant l'extension; et de dehors en dedans, et de bas en haut, dans le coup ascendant, pendant la flexion.

L'aile, pendant sa vibration, produit une pulsation transversale. — La rotation de l'aile autour de deux axes séparés — l'un s'étendant parallèlement au corps de l'oiseau, l'autre à angle droit avec lui (fig. 80, *a b c d*) — est bien digne d'attention, comme montrant que l'aile attaque l'air, sur lequel elle opère dans toutes les directions et presque au même moment, à savoir de dedans en dehors et de haut en bas pendant le coup descendant; et de dehors en dedans et de bas en haut pendant le coup ascendant. Comme corollaire à ce qui précède, on peut dire que l'aile agit l'air dans deux directions principales, c'est-à-dire de dedans en dehors et de haut en bas, ou inversement, et d'avant en arrière ou inversement; l'agitation en question produit deux puissantes pulsations: l'une verticale et l'autre horizontale. Quand l'aile monte et quand elle descend elle produit des courants artificiels qui accroissent sa puissance élévatrice et propulsive. La puissance de l'aile est en outre augmentée par des courants semblables développés pendant l'extension et la

flexion. Le mouvement d'une partie de l'aile contribue au mouvement d'une autre partie quelconque dans une succession continue et sans interruption. Comme les courbes des ailes se fondent l'une dans l'autre quand l'aile est en mouvement, de même une pulsation se joint à une autre par une série de moindres oscillations intermédiaires.

Les pulsations horizontales occasionnées par l'aile en mouvement peuvent être convenablement représentées par des trajectoires ondulées marchant à angle droit l'une par rapport à l'autre, la trajectoire verticale étant la plus distincte.

Rotation composée de l'aile. — Pour que l'extrémité et la marge postérieure de l'aile agissent indépendamment et cependant simultanément, deux axes sont nécessaires, l'un (le petit axe) correspondant à la base de l'aile et la traversant, le second (le grand axe) correspondant à la marge antérieure de l'aile et s'étendant dans le sens de sa longueur. Le grand et le petit axe rendent excentriques les mouvements de l'aile. Dans l'aile de l'oiseau, les mouvements des rémiges primaires sont aussi excentriques, le tuyau de chaque plume étant placé plus près de la marge antérieure que de la postérieure; disposition qui permet aux plumes de s'ouvrir et de se séparer pendant la flexion et le coup ascendant, et de se rapprocher et de se fermer pendant l'extension et le coup descendant.

Ces points sont mis en évidence par la fig. 80 où $a b$ représente le petit axe, (base de l'aile) avec le rayon $e f$; $c d$ représente le grand axe (marge antérieure de l'aile) avec le rayon $g p$.

La figure 80 montre aussi que dans l'aile de l'oiseau, les

plumes individuelles, primaires, secondaires et tertiaires ont chacune ce qui est équivalent à un grand et à un petit axe. Ainsi les ailes primaires, secondaires et tertiaires, marquées *h, i, j, k, l* sont capables de tourner autour de leurs grands axes (*r, s*) et autour de leurs petits axes (*m n*). Les plumes tournent autour de leurs grands axes dans le sens de haut en bas pendant le coup descendant pour

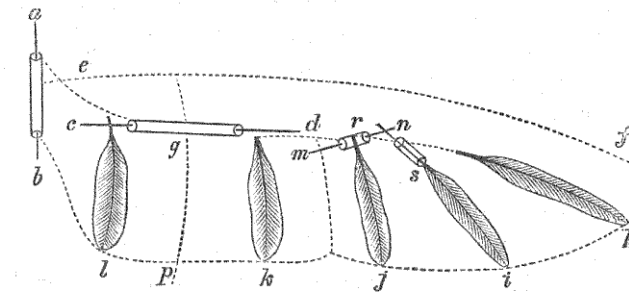


FIG. 80.

rendre l'aile imperméable à l'air ; et de haut en bas pendant le coup ascendant pour permettre à l'air de la traverser. Les rémiges primaires, secondaires et tertiaires ont ainsi une action valvulaire distincte¹. Les plumes tournent autour de leurs petits axes (*m n*) pendant l'ascension et la descente de l'aile, l'extrémité des plumes s'élevant légèrement pendant la descente de l'aile et s'abaissant pendant son ascension. Le même mouvement a lieu virtuellement dans la marge postérieure de l'aile de l'insecte et de la chauve-souris.

L'aile vibre inégalement par rapport à une ligne donnée. — L'aile, pendant sa vibration, descend plus au-des-

¹ Le degré d'action valvulaire varie suivant les circonstances.

sous du corps qu'elle ne s'élève au-dessus. Ceci est nécessaire pour l'*élévation*. De la même manière, la marge postérieure de l'aile (quelle que soit la position de cet organe) descend plus au-dessous de la marge antérieure qu'elle ne remonte au-dessus. Ceci est obligatoire dans le but d'*élever* et de *faire avancer*, la surface de l'aile étant toujours présentée à un certain angle ascendant avec l'horizon et agissant comme un véritable cerf-volant (fig. 82 et 83, p. 218. Comparez à la fig. 116, p. 313). Si l'aile oscillait également au-dessus et au-dessous du corps, et si le bord postérieur de l'aile vibrerait également au-dessus et au-dessous de la ligne formée par la marge antérieure, une grande partie de sa puissance élévatrice et propulsive serait sacrifiée. La queue du poisson oscille de chaque côté d'une ligne donnée, mais il en est autrement de l'aile d'un animal volant. Le poisson est à peu près de la même densité que l'eau, de façon qu'on peut dire que l'eau ne sert qu'à faire avancer. L'animal volant au contraire est beaucoup plus lourd que l'air de façon que l'aile doit à la fois pousser et *élever*. L'aile, pour être efficace comme *organe élévateur*, doit donc vibrer plutôt au-dessous qu'au-dessus du centre de gravité ; en tous cas, l'intensité de la vibration doit être plutôt au-dessous de ce point. En faisant cette affirmation, il faut bien se fixer dans l'esprit que le centre de gravité *varie sans cesse*, le corps s'élevant et s'abaissant suivant une suite de courbes pendant que l'aile monte et descend.

Pour élever et pousser, la marge postérieure de l'aile doit tourner autour de l'antérieure ; la marge postérieure étant, règle générale, à un niveau plus bas que l'antérieure.

Par le jeu oblique et plus vigoureux des ailes *au-dessous* plutôt qu'*au-dessus* du corps, chaque aile dépense toute son énergie à pousser le corps en haut et en avant. Il faut que les ailes descendent plus qu'elles ne montent ; que les ailes soient convexes à leur surface supérieure et concaves à leur surface inférieure ; et que les surfaces concaves ou mordantes soient amenées plus violemment en contact avec l'air pendant le coup descendant que les convexes pendant le coup ascendant. La portée de l'aile, plus grande au-dessous qu'au-dessus du corps, et de la marge postérieure plus grande au-dessous qu'au-dessus d'une ligne déterminée, peut être aisément démontrée par l'observation des oiseaux plus grands. On la voit très-bien dans le vol ascendant de l'alouette. Quand l'émouchet fond sur sa proie, et la mouette sur la proie qu'elle va enlever, les ailes agissent au niveau du corps plutôt qu'au-dessous ; mais ce sont là des mouvements exceptionnels pour des buts spéciaux et comme ils ne se continuent que quelques secondes, cela n'affecte pas l'exactitude de l'affirmation générale.

Points en lesquels les hélices formées par les ailes diffèrent de celles employées dans la navigation. — 1. Dans la lame de l'hélice ordinaire les parties intégrantes sont rigides et inflexibles, tandis que dans la lame d'hélice formée par l'aile, elles sont mobiles et plastiques (fig. 93, 95, 97, p. 240, 241, 242) ; c'est un point curieux et intéressant, d'autant qu'il ne paraît pas avoir été bien apprécié et compris. La mobilité et la plasticité de l'aile est nécessaire à cause de la ténuité de l'air, et parce que l'aile est un organe d'élévation et de support, aussi bien que de propulsion.

2. Les lames des hélices ordinaires à deux branches sont courtes et ont comparativement une portée limitée, la portée correspondant à leur surface de révolution. Les ailes, d'autre part, sont longues et ont comparativement une portée étendue, et pendant leur élévation et leur abaissement battent un espace étendu, le moindre mouvement à la base ou petit axe de l'aile étant accompagné d'un gigantesque coup ascendant ou descendant de l'autre axe (fig. 56, p. 167; fig. 64, 65 et 66, p. 192; fig. 82 et 83, p. 218). En conséquence, les ailes agissent ordinairement sur des couches successives d'air non troublé. L'avantage gagné par cette disposition dans un milieu tenu comme l'air, où la quantité d'air à comprimer est nécessairement grande, est simplement incalculable.

3. Dans l'hélice ordinaire les lames se suivent en rapide succession de manière qu'elles traversent le même espace et qu'elles opèrent sur les mêmes particules (eau ou air) à peu près au même moment. La portée limitée dont elles disposent n'est donc pas utilisée, l'action des deux lames semblant se borner à un même plan, et se suivant ou se précédant de telle manière que le travail est virtuellement accompli seulement par l'une d'elles. Ceci est particulièrement vrai quand le mouvement de l'hélice est rapide et que la masse à faire avancer commence à se mettre en mouvement, c'est-à-dire n'a pas encore acquis son *momentum*. Dans cet exemple, une grande proportion de la puissance motrice est inévitablement consumée en glissement parce que les lames de l'hélice opèrent à peu près sur les mêmes particules de matière. Les ailes au contraire ne se suivent pas mais ont un mouvement alternatif distinct, c'est-à-dire qu'elles

s'élancent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, de telle manière qu'elles créent pendant un coup, le courant sur lequel elles s'élèvent et progressent le suivant. Les lames formées par les ailes et l'impression qu'elles font sur l'œil quand elles vibrent rapidement, sont largement séparées, l'une des lames et son aspect étant situés sur le côté droit du corps et correspondant à l'aile droite, l'autre sur le côté gauche et correspondant à l'aile gauche. L'aile droite traverse et occupe complètement la moitié droite d'un cercle, et comprime tout l'air contenu dans cet espace; l'aile gauche occupant et mettant en mouvement tout l'air de la moitié gauche restante. La portée des deux ailes quand elles se meuvent jusqu'à leurs limites extrêmes, correspond autant que possible à un cercle entier ¹ (fig. 56, p. 167). En séparant les lames de l'hélice et en les faisant alterner, on produit un double résultat, puisqu'elles agissent toujours sur des colonnes d'air indépendantes, et que dans aucun cas elles ne se recouvrent et ne se doublent l'une l'autre. Les avantages de cette disposition sont particulièrement évidents quand le mouvement est rapide. Si l'hélice des bateaux est poussée au delà d'une certaine vitesse, elle coupe complètement l'eau contenue entre ses lames, les lames et l'eau tournant comme une masse solide. Dans ces circonstances le pouvoir propulseur de l'hélice est plutôt diminué qu'augmenté. Il en est tout autrement avec les hélices formées par les ailes; celles-ci à cause de leurs mouvements réciproques deviennent de

¹ On peut regarder le thorax comme formant le centre de ce cercle, l'abdomen, qui est toujours plus lourd que la tête inclinant légèrement le corps dans une direction ascendante. Cette inclinaison du tronc favorise le vol en faisant agir le corps à la manière d'un cerf-volant.

plus en plus effectives à mesure que leur vitesse s'accroît. Comme il ne semble pas y avoir de limite à la vitesse avec laquelle les ailes peuvent être menées, et comme de l'accroissement de la vitesse, résulte nécessairement un accroissement de la puissance élévatrice, propulsive et suspensive, nous avons ici un frappant exemple de la manière dont la nature triomphe sur l'art même dans ses créations les plus ingénieuses, les plus habiles et les plus réussies.

4. Les lames ou branches de l'hélice telle qu'elle est ordinairement construite, sont fixées à un angle donné, et par conséquent frappent toujours au même degré d'obliquité. De plus, la vitesse avec laquelle les ailes sont poussées est autant que possible uniforme. Dans cette disposition, la puissance est perdue, les deux lames frappant l'une après l'autre de la même manière, dans la même direction et presque exactement au même moment, — sans qu'on n'ait rien arrangé pour accroître l'angle et le pouvoir propulseur à une période du coup et les réduire à une autre, pour diminuer la quantité de glissement due à cette disposition. Les ailes, d'autre part, sont menées avec des vitesses variables et attaquent l'air avec une grande variété d'angles; les angles que forment les ailes avec l'horizon croissant graduellement à mesure qu'elles tournent autour de leurs grands axes, pendant le coup descendant, pour accroître le pouvoir élévateur et propulseur, et décroissant pendant le coup ascendant pour réduire la résistance occasionnée par les ailes pendant leur ascension. Ce dernier mouvement accroît la surface de sustentation en plaçant les ailes dans une position plus horizontale. Il suit de cet arrangement que chaque particule d'air se trouvant à la vaste portée des ailes est sépa-

rément influencée par elles, à la fois pendant leur élévation et leur descente, — leur puissance élévatrice, propulsive et suspensive étant, par ce moyen, accrue au maximum, pendant que le glissement ou transport de l'eau est réduit au minimum.

Ces résultats sont en outre assurés par la trajectoire ondulée décrite par l'aile pendant les coups ascendants et descendants. C'est une circonstance quelque peu remarquable, que l'aile, quand elle n'est pas effectivement engagée comme propulseur et élévateur, agisse comme *soutien* à la manière d'un parachute. Elle le fait sans peine, également à cause de sa forme et de son mode d'application, la double courbe spirale suivant laquelle elle est mise en action lui permettant de retenir l'aile avec fermeté, dans quelque direction qu'elle soit poussée. Je dis « dans quelque direction » car même lorsqu'elle se replie ou se dégage du vent dans le coup de retour, elle remonte un arc qui se courbe au-dessus du corps à élever et l'empêche ainsi de tomber. Il est difficile de concevoir une disposition plus admirable, plus simple ou plus effective ou une qui puisse plus complètement économiser la puissance. En effet une étude de la configuration spirale de l'aile, et de ses mouvements en spirale comme ceux du fléau, du fouet, renferme quelques-uns des plus profonds problèmes mathématiques, — les courbes formées par l'aile au point de vue anatomique et au point de vue actif ou physiologique étant excessivement élégantes et infiniment variées; elles s'étendent l'une dans l'autre, se confondent, s'allient pour accomplir la triple fonction d'*élévation*, de *propulsion* et de *soutien*.

On pourrait indiquer d'autres différences, mais ce qui

précède embrasse les plus fondamentales et les plus frappantes. De plus, on en a probablement assez dit pour montrer que c'est vers la structure des ailes et leurs mouvements que l'aéronaute doit diriger son attention, s'il veut apprendre « la voie de l'aigle dans l'air » et s'il veut s'élever sur le tourbillon d'accord avec les lois de la nature.

L'aile est en tout temps parfaitement soumise au contrôle. — L'aile est mobile dans toutes ses parties, et peut être menée avec intelligence même à son extrémité; circonstance qui permet à l'insecte, à la chauve-souris et à l'oiseau de s'élever sur l'air, d'y circuler en maître, — de le subjuguier en fait. L'aile, sans aucun doute, éprouve de la part de l'air un recul d'en bas, d'en haut, mais, en le faisant, elle exerce le pouvoir de choisir et de contrôler; elle saisit un courant, en évite un autre, en crée un troisième; elle essaie et tâte l'air comme un quadrupède essaierait et tâterait une surface flexible. Il n'est pas difficile de comprendre pourquoi cela devait être ainsi. Si la créature volante est vivante, douée de volonté, capable de diriger sa course, il est sûrement plus raisonnable de supposer qu'elle transmet à ses propres surfaces de déplacement les mouvements particuliers nécessaires à la progression, que de penser que ces mouvements sont le résultat de chocs de courants fortuits qu'elle n'a pas le moyen de régler. Un fait prouve que l'oiseau a besoin de contrôler l'aile, et l'aile d'être en état d'obéir aux commandements de l'oiseau, c'est que la plupart de nos poulets domestiques peuvent voler à de considérables distances quand ils sont jeunes et que leurs ailes sont flexi-

bles; tandis que quand ils sont vieux et que leurs ailes sont raides, ils ne peuvent plus voler du tout ou seulement à de courtes distances, et avec grandes difficultés. C'est aussi particulièrement le cas des cygnes apprivoisés. Cette remarque est encore vraie pour le microptère ou canard cheval de course (*anas brachyptera*), dont les jeunes seuls peuvent voler. Chez les oiseaux plus âgés les ailes deviennent trop raides et les corps trop lourds pour le vol. Qui a pu observer un goëland luttant bravement contre la tempête, et douter un instant que les ailes et les plumes des ailes soient soumises au contrôle? L'oiseau tout entier est la personnification de la vie et de la puissance. L'œil intelligent, actif, l'oscillation aisée, gracieuse de la tête et du cou, la flexion totale ou partielle d'une aile ou des deux ailes, et plus encore, le léger tremblement ou frémissement individuel des plumes ou des parties de l'aile si rapide, qu'un œil expérimenté peut seul le découvrir; tout confirme la croyance que l'aile vivante a non-seulement le pouvoir de diriger, de contrôler et d'utiliser les courants naturels, mais d'en créer et d'en utiliser d'artificiels. Sans ce pouvoir, qu'est-ce qui rendrait l'oiseau et la chauve-souris capables de s'élever et de voler dans le calme, ou de diriger leur course dans la tempête? C'est une erreur de supposer que quelque chose soit laissé au hasard dans les êtres vivants, ou que les animaux doués de volonté et de surfaces motrices soient privés du privilège de contrôler le mouvement de ces surfaces tout à fait indépendamment du milieu sur lequel elles sont destinées à opérer. Je n'oublierai jamais le plaisir que m'a un jour causé à Carlow (Irlande) la vue du vol d'une paire de cygnes magnifiques. Les oiseaux

volaient vers moi et me dépassèrent, et mon attention fut attirée par le sifflement particulier sonore que font leurs ailes. Ils volaient à peu près à quinze yards du sol, et comme le battement de leurs ailes n'était pas beaucoup plus rapide que celui du héron ¹, j'eus largement le loisir d'étudier leurs mouvements. Le spectacle était très-imposant et aussi nouveau que grand. Je n'avais rien vu auparavant, et je n'ai rien vu depuis qui pût me donner une conception plus élevée de la vaillance et de la puissance directrice que possèdent ces oiseaux. Ce qui me frappa surtout, ce fut le parfait commandement qu'ils semblaient exercer sur eux-mêmes et sur le milieu dans lequel ils voyageaient. Ils avaient visiblement sous leur contrôle leurs ailes et leurs corps, et l'air était attaqué de telle ma-

¹ J'ai fréquemment compté les battements de l'aile du héron commun (*Ardea cinerea*) dans une héronnière à Warren Point. En mars 1869, je me suis trouvé dans des circonstances particulièrement favorables pour obtenir des résultats dignes de foi. J'ai compté pendant cinquante secondes les battements d'un oiseau volant au-dessus d'un lac dans le voisinage de la héronnière et j'ai trouvé que, dans cette période, il fit cinquante coups descendants et cinquante ascendants; c'est-à-dire un coup ascendant et un coup descendant par seconde. J'ai compté ceux d'un autre dans la héronnière même, il neigeait alors (mars 1869) mais les oiseaux, malgré l'inclémence du temps et l'époque peu avancée de l'année, étaient activement occupés à couvrir, et pour les faire sortir de leurs nids au sommet des mélèzes, il fallait frapper avec de gros bâtons sur les troncs de ces arbres. Une mère extraordinairement inquiète refusa d'abandonner le voisinage immédiat de l'arbre contenant sa tendre couvée, et vola en cercle juste au-dessus de son sommet. Je comptai pendant dix secondes les battements de cet oiseau, et je trouvai qu'il donna dix coups descendants et dix ascendants, c'est-à-dire un coup ascendant et un descendant par seconde, juste autant que l'autre fois. Je n'ai donc aucune hésitation à affirmer que le héron, dans le vol ordinaire, fait exactement soixante coups descendants et soixante coups ascendants par minute. Le héron, cependant, comme tous les autres oiseaux, quand il est poursuivi ou agité, a le pouvoir d'augmenter grandement le nombre de battements faits par ses ailes.

nière et avec une telle énergie qu'il ne pouvait me rester dans l'esprit que peu de doute qu'il jouait un rôle tout à fait secondaire dans le problème placé devant moi. Les cous de ces oiseaux étaient tendus et leurs corps extrêmement raides. Ils avançaient d'un mouvement ferme et majestueux, et battaient des ailes avec une vigueur et une force qui m'impressionnèrent grandement et jusqu'à un certain point m'intimidèrent. Leur vol était ce qu'on pourrait imaginer que doit être une machine volante construite d'accord avec les lois naturelles ¹.

L'aile naturelle, quand elle s'élève et s'abaisse, doit se mouvoir en avant. — C'est une condition des ailes naturelles et des artificielles construites sur le principe des ailes vivantes, que quand elles sont élevées ou abaissées avec force, même dans une direction strictement verticale, elles doivent inévitablement se mouvoir en avant. Cela se voit bien dans la fig. 81.

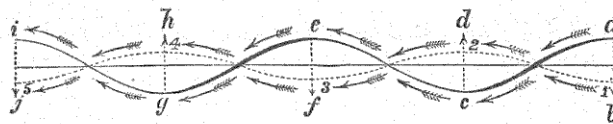


FIG. 81.

Si, par exemple, l'aile est subitement abaissée dans une direction verticale, comme on le voit en *ab*, elle s'élance immédiatement en bas et en avant suivant une courbe vers *c*, convertissant ainsi le coup vertical en un coup descendant oblique en avant. Si, de nouveau, l'aile

¹ L'observation ci-dessus a été faite à Carlow-sur-Barrow, et le récit est extrait de mon livre de notes.

est tout d'un coup élevée dans une direction strictement verticale, comme en *cd*, elle s'élance aussi certainement en haut et en avant, suivant une courbe vers *e*, convertissant ainsi le coup vertical ascendant en un coup *ascendant oblique vers le haut*. La même chose arrive quand l'aile est abaissée de *e* vers *f*, et élevée de *g* vers *h*. Dans les deux cas l'aile décrit une trajectoire ondulée, comme on le voit en *e g*, *g i*, ce qui prouve clairement que l'aile frappe *en bas et en avant* pendant le coup descendant, et *en haut et en avant* pendant le coup ascendant. En fait l'aile avance toujours, sa surface inférieure attaquant l'air comme le cerf-volant des enfants. Si d'autre part l'aile est abaissée par force, comme l'indique la grosse ligne ondulée *ac*, et laissée à elle-même, elle s'élèvera aussi certainement de nouveau et décrira une trajectoire ondulée, comme on le voit en *c e*. Elle le fait en tournant sur son grand axe en vertu de son élasticité et de sa flexibilité, aidée par le recul obtenu de l'air. En d'autres termes, il n'est pas nécessaire d'élever l'aile dans la direction *cd* pour obtenir le mouvement ascendant et progressif *c e*. Une simple impulsion communiquée en *a* fait aller l'aile en *e*, et une seconde impulsion communiquée en *c* la fait aller en *i*. Il suit de là qu'une série de vigoureuses impulsions vers le bas, si l'on permettait à un certain intervalle de s'écouler entre elles, produirait une série correspondante d'impulsions ascendantes, d'après la loi de l'action et de la réaction; l'aile et l'air étant dans ces circonstances alternativement actifs et passifs. Je dis : si l'on permettait à un certain intervalle de s'écouler entre deux coups descendants, mais c'est pratiquement impossible, les ailes étant menées avec une telle vitesse qu'il n'y a

218 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR
positivement pas de temps à perdre à attendre l'ascension

FIG. 82.

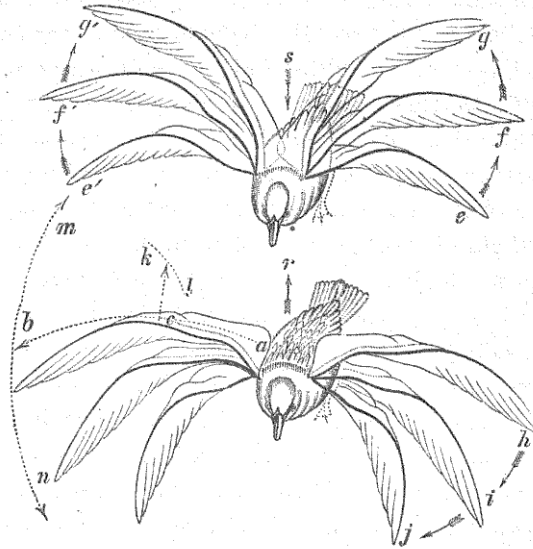


FIG. 83.

FIG. 82 et 83 montrant que quand les ailes s'élèvent (*e f g* de la fig. 82) le corps tombe (*s* de la fig. 82), et que quand les ailes s'abaissent (*h, i j* de la fig. 83) le corps s'élève (*r* de la fig. 83). La fig. 82 montre que les ailes s'élèvent comme des leviers courts (*e*) jusque vers la fin du coup ascendant, moment où elles s'étendent graduellement (*f, g*) pour se préparer à faire le coup descendant. La fig. 83 montre que les ailes descendent comme des leviers longs (*h*) jusqu'à la fin du coup descendant, moment où elles se fléchissent ou se plient graduellement pour perdre leur *momentum* et se préparer à donner le coup ascendant. Comparez aux fig. 74 et 75, p. 200. Par ce moyen, l'air qui est au-dessous de l'aile, est vigoureusement saisi pendant le coup descendant, tandis que celui qui est au-dessus est évité pendant le coup ascendant. La forme concavo-convexe des ailes et le mouvement du corps en avant contribuent à ce résultat. Les ailes, on l'observera, agissent comme un parachute à la fois pendant les coups ascendants et descendants. Comparez à la fig. 55, p. 155. La fig. 83 montre en outre la relation composée de l'aile, sa rotation autour de *a* comme centre, avec un rayon *m, b, n*, et sur *a b c* comme centre avec un rayon *k l*. Comparez à la fig. 80, p. 206. — *Originale*.

purement mécanique de l'aile. La preuve que l'ascension

de l'aile n'est pas et ne doit pas être entièrement due à la réaction de l'air, c'est que chez les créatures volantes (certainement chez l'oiseau et la chauve-souris) il y a des muscles élévateurs et des ligaments distincts destinés à l'accomplissement de cette fonction. La réaction de l'air est donc seulement l'une des forces employées à l'élévation de l'aile; les autres, comme je dois le faire voir à présent, sont vitales et *vito-mécaniques* dans leur nature. La chute en bas et en avant du corps, quand les ailes montent, contribue aussi à ce résultat.

L'aile monte quand le corps descend, et vice versa. — Comme le corps de l'insecte, de la chauve-souris et de l'oiseau tombe en avant suivant une courbe quand l'aile monte, et s'élève en courbe quand l'aile descend, il suit que le tronc de l'animal est poussé le long d'une ligne ondulée comme on le représente en 1, 2, 3, 4, 5 de la fig. 81, p. 216; la ligne ondulée *a c e g i* de la même figure donnant la trajectoire de l'aile. J'ai vu distinctement la chute et l'élévation du corps et de l'aile en observant le vol d'une mouette, de l'arrière d'un bateau à vapeur.

La direction du coup chez l'insecte est, comme on l'a déjà expliqué, beaucoup plus horizontale que chez la chauve-souris ou l'oiseau (comparez la fig. 82 et 83 aux fig. 64, 65 et 66, p. 192). Dans l'un et l'autre cas cependant, le coup descendant doit être donné dans une direction plus ou moins progressive. C'est nécessaire pour le support et la propulsion. Un mouvement horizontal de va et vient élèvera, et un mouvement vertical descendant et ascendant fera avancer; mais un mouvement oblique en avant est indispensable au vol progressif.

Dans toutes les ailes, quelle que soit leur position pendant les intervalles de repos, qu'elles soient d'une pièce ou de plusieurs, ce trait caractéristique du vol s'observe. Les ailes se jettent en bas et en avant, c'est-à-dire qu'elles vont plus ou moins dans la direction de la tête pendant la descente, et se renversent ou vont dans une direction opposée pendant l'élévation. En disant que les ailes s'éloignent de la tête pendant le coup de retour, je désire qu'il soit bien compris qu'elles ne reculent pas nécessairement dans l'espace pendant que l'animal vole en avant. Au contraire, les ailes, en général, se meuvent en avant suivant des courbes à la fois pendant les coups ascendants et descendants. Le fait est que les ailes à leur base sont si librement articulées et engrenées avec le tronc que le corps est libre d'osciller en avant, en arrière, en haut, en bas ou dans une direction oblique. Comme conséquence de cette liberté de mouvements, et aussi comme conséquence de la vitesse avec laquelle l'insecte voyage, les ailes, pendant le coup de retour, se déplacent effectivement pour la plus grande partie en avant. Ceci s'explique par le fait, que le corps tombe et avance suivant une courbe pendant le coup ascendant ou de retour des ailes, et parce que la vitesse horizontale atteinte par le corps est, règle générale, tellement plus grande que celle atteinte par les ailes, que celles-ci n'ont jamais le temps de reculer, le moindre mouvement étant comme absorbé par le grand. C'est pour la même raison qu'un passager sur un bateau à vapeur peut se déplacer rapidement vers l'arrière du vaisseau, et cependant avancer dans l'espace, le bâtiment naviguant beaucoup plus vite que lui-même ne peut marcher.

Quand l'aile descend, elle tourne sur sa racine comme centre (petit axe). Elle tourne aussi, et c'est là le point le plus important, sur sa marge antérieure (grand axe) de manière à faire prendre aux diverses parties de l'aile des inclinaisons différentes avec l'horizon.

Les fig. 84 et 85 en donnent l'explication nécessaire.

FIG. 84.

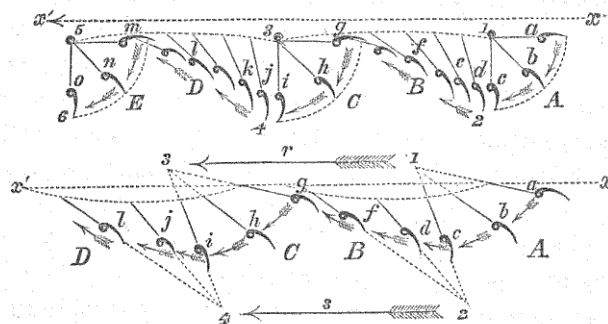


FIG. 85.

Dans la flexion, règle générale, la surface inférieure de l'aile (fig. 84, a) est disposée dans le même plan que le corps, étant en même temps en ligne avec l'horizon ou formant un petit angle avec lui¹.

Quand l'aile descend, elle fait graduellement, en vertu de sa rotation simultanée sur son grand et son petit axe,

¹ Il arrive parfois chez les insectes que la marge postérieure de l'aile est à un niveau plus élevé que l'antérieure vers la fin du coup ascendant. Dans de tels cas la marge postérieure est brusquement retournée en bas et en avant au commencement du coup descendant — la rotation en bas et en avant assurant un pouvoir élévatoire additionnel pour l'aile. Le bord postérieur de l'aile chez les chauves-souris et les oiseaux, à moins qu'ils ne volent vers le bas, ne s'élève jamais au-dessus de l'antérieur, soit dans le coup ascendant, soit dans le descendant.

un certain angle avec l'horizon comme on l'a représenté en *b*. L'angle s'accroît à la fin du coup descendant comme on le voit en *c*, de façon que l'aile, et particulièrement son bord postérieur, pendant sa descente (*A*), est vissée ou encastrée dans l'air avec sa surface concave ou mordante dirigée en avant et vers la terre. Les mêmes phénomènes sont indiqués en *a b c* (fig. 85), mais dans cette figure l'aile est représentée voyageant plus décidément en avant pendant sa descente, ce qui est le trait caractéristique du coup descendant de l'aile de l'insecte — le corps de l'insecte étant frappé dans une direction très-oblique et plus ou moins horizontale (fig. 64, 65 et 66, p. 192 ; fig. 71, p. 199). Le déplacement de l'aile en avant pendant la descente a pour effet de diminuer les angles faits par sa surface inférieure et l'horizon. Comparez *b c d* de la fig. 85, aux mêmes lettres de la fig. 84.

Dans la figure 88 (p. 229) les angles, pour une raison semblable, sont encore diminués. Cette figure (88) donne une idée très-exacte de l'action en cerf-volant de l'aile à la fois pendant qu'elle monte et qu'elle descend.

Le vissage descendant de la marge postérieure de l'aile pendant le coup vers le bas, se voit bien chez la libellule représentée fig. 86.

Les flèches *r s y* indiquent la portée de l'aile. Au commencement du coup descendant, la surface supérieure ou dorsale (*i d f*) est légèrement inclinée en avant et en haut. Quand l'aile descend, la marge postérieure (*i f*) se tord et tourne autour de la marge antérieure (*id*), et accroît notablement l'angle d'inclinaison, comme on le voit en *i j*, *g h*. Cette rotation de la marge postérieure (*i j*) autour de la marge antérieure (*g h*) a pour effet de faire

prendre aux différentes portions de la surface inférieure de l'aile des angles d'inclinaison différents avec l'horizon, l'aile attaquant l'air comme un cerf-volant d'enfant.

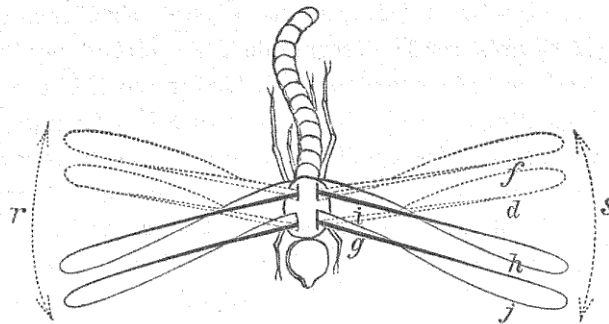


FIG. 86.

Les angles sont plus grands vers la racine de l'aile et moindres vers son extrémité. Ils s'accommodent aux vitesses avec lesquelles les différentes parties de l'aile se meuvent ; un petit angle avec une grande vitesse donnant la même quantité de puissance suspensive qu'un angle plus grand avec une vitesse moindre. Le vissage de la partie inférieure de l'aile (particulièrement de la marge postérieure) dans une direction descendante pendant le coup descendant, est nécessaire pour assurer le recul vers le haut ; l'aile se balançant en bas et en avant à la façon du pendule, dans le but d'élever le corps, ce qu'elle fait en agissant sur l'air comme un long levier, et à la façon d'un cerf-volant. Pendant le coup descendant, l'aile est active, l'air passif. En d'autres termes, l'aile est abaissée par un acte purement vital.

Le coup descendant s'explique aisément, et ses résultats

sur le corps sont évidents. La difficulté réelle commence au coup ascendant ou de retour. Si l'aile devait simplement se déplacer en arrière et en haut de c vers a (fig. 84, p. 221), il est évident qu'elle éprouverait une grande résistance de la part de l'air superposé, et qu'ainsi les avantages assurés par la descente de l'aile seraient perdus. Ce qui arrive réellement est ceci. L'aile ne se déplace pas en haut et *en arrière* dans la direction $c b a$ de la fig. 84 (le corps, on se le rappelle, avance) mais en haut et en avant dans la direction $c d e f g$. Cela se passe de la manière suivante : l'aile est à angle droit avec l'horizon $x x'$ en c . Elle est atteinte par l'air au point 2 à cause du déplacement plus ou moins horizontal du corps; les ligaments élastiques et autres organes combinés à la résistance éprouvée par l'air, retournant la marge postérieure ou mince de l'aile dans une direction ascendante, comme on le voit en $d e f g$ et $d f g$ des figures 84 et 85, p. 221. L'aile par cette disposition, en partie mécanique et en partie vitale, tourne en évitant le vent, de manière à garder sa surface dorsale ou non mordante dirigée vers le haut, tandis que sa surface concave ou mordante est dirigée vers le bas.

Bref, l'aile a ses plans disposés et ses angles ajustés de telle sorte à la vitesse avec laquelle elle se déplace, qu'elle s'élève sur un plan incliné à la manière d'un cerf-volant véritable, comme on le voit en $c d e f g$ des fig. 84 et 85, p. 221, ou $g h i$ de la fig. 88, p. 229. Conséquemment, l'aile élève et pousse pendant son *ascension* aussi bien que pendant sa descente : elle est, de fait, un cerf-volant dans le coup ascendant et descendant. L'ascension de l'aile est notablement aidée par le voyage *en avant* et

la chute du corps *en bas et en avant*. Cette idée sera vite comprise en supposant, ce qui est réellement le cas, que l'aile est plus ou moins fixée par l'air dans l'espace au point indiqué par 2, dans les fig. 84 et 85, p. 221; le corps, pendant que l'aile est fixée, tombant en avant suivant une courbe, ce qui, bien entendu, est équivalent à placer l'aile au-dessus, et, pour ainsi dire, en arrière de l'animal volant — en d'autres termes, à élever l'aile se préparant à un second coup descendant, comme on le voit en *g* des figures en question (fig. 84 et 85). L'ascension et la descente de l'aile sont toujours beaucoup plus grandes que celles du corps, parce que l'aile agit comme un long levier.

La particularité de l'aile consistant en ce qu'elle est un levier flexible qui agit sur des points d'appui non résistants (l'air), ce corps participant à tous les mouvements originairement produits par l'aile, et jusqu'à un certain point les perpétuant. Le rôle que le corps joue dans le

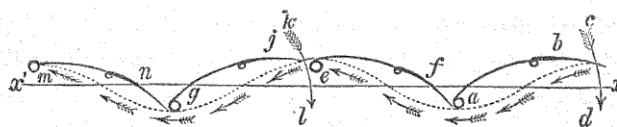


Fig. 87.

vol est indiqué fig. 87. En *a*, le corps est abaissé, l'aile est élevée et prête à donner le coup descendant en *b*. L'aile descend dans la direction *c d*, mais au moment où elle commence à descendre, le corps se meut en haut et en avant (voyez les flèches) suivant une ligne courbe en *e*. Comme l'aile est attachée au corps, elle est forcée

de prendre graduellement la position f . Le corps (e), il faut le remarquer, est maintenant à un niveau plus élevé que l'aile (f); la surface inférieure de celle-ci étant ajustée de manière à frapper en haut et en avant comme un cerf-volant.

C'est ainsi que l'aile se soutient et se pousse pendant le coup ascendant. Le corps (e) tombe maintenant suivant une ligne courbe vers g , et en le faisant, il élève ou aide à élever l'aile vers j . L'aile est une seconde fois abaissée dans la direction $h e$, ce qui a pour effet de forcer le corps à suivre une courbe ondulée dans une direction ascendante, jusqu'à ce qu'il atteigne le point m . L'ascension du corps et la descente de l'aile ont lieu simultanément ($m n$). Le corps et l'aile sont alternativement au-dessus et au-dessous d'une ligne donnée $x x'$.

Une étude attentive des fig. 84, 85, 86 et 87, p. 221, 223 et 225, montre la grande importance de la configuration tordue et des courbes particulières à l'aile naturelle. Si l'aile n'était pas courbée en toutes directions, elle ne pourrait pas rouler sur le vent et s'en dégager pendant les coups descendants et ascendants, comme on le voit particulièrement fig. 87, p. 225. C'est cependant un point vital dans le vol progressif. L'aile (b) roule sur le vent dans la direction $b a$, sa surface concave ou mordante étant fortement pressée vers le bas dans le but d'élever le corps en e . Le corps tombe en g , et l'aile (f) se dégage du vent dans la direction $f j$, et s'élève jusqu'à ce qu'elle prenne la position j . L'élévation de l'aile est effectuée en partie par la chute du corps, en partie par l'action des muscles éleveurs, et des ligaments élastiques, et en partie par la réaction de l'air, opérant sur sa face inférieure,

concave, mordante. L'aile est donc jusqu'à un certain point en repos pendant le coup ascendant.

La forme concavo-convexe de l'aile est admirablement adaptée au vol. En fait, le pouvoir que possède l'aile de tenir toujours sa surface concave ou inférieure, dirigée en bas et en avant, lui permet de saisir l'air à tout moment des coups ascendant et descendant, de manière à lui fournir constamment la faculté de se soutenir. L'action de l'aile naturelle est accompagnée par un petit glissement remarquable — l'élasticité de l'organe, le rebondissement de l'air, le raccourcissement et l'allongement des ligaments élastiques et des muscles, tous coopérant et alternant de telle manière que la descente de l'aile élève le corps; la descente du corps aidée par la réaction de l'air et le raccourcissement des ligaments élastiques élevant l'aile. L'aile, pendant le coup ascendant, se *recourbe au-dessus du corps* à la manière d'un parachute et empêche le corps de tomber. La sympathie qui existe entre les parties de l'animal volant et l'air, dont il tire soutien et progression, est donc du caractère le plus intime.

Le coup ascendant (B, D des fig. 84 et 85, p. 221), comme on le verra d'après la description précédente, est un mouvement composé, dû, dans une certaine mesure, au recul ou à la résistance de l'air; au raccourcissement des ligaments élastiques, muscles et autres organes vitaux; à l'élasticité des ailes, et à la chute du corps vers le bas et l'avant. On peut regarder l'aile comme tournant, pendant le coup descendant, sur 1 des figures 84 et 85, p. 221, que l'on peut regarder comme représentant le grand et le petit axe de l'aile; et pendant le coup ascendant, sur 2, qui peut être pris comme représentant le

point d'appui flexible offert par l'air. Une seconde pulsation est indiquée par les nombres 3 et 4 des mêmes figures (84 et 85).

L'aile agit sur des points d'appui flexibles. — La particularité principale de l'aile, comme on l'a dit, consiste en ce qu'elle est un levier flexible, tordu, spécialement construit pour agir sur des points d'appui flexibles (l'air). Les points de contact de l'aile avec l'air sont représentés en *a b c d e f g h i j k l*, respectivement des fig. 84 et 85, p. 224 ; et les points imaginaires de rotation de l'aile sur son grand et son petit axe en 1, 2, 3 et 4 des mêmes figures. Les points supposés de rotation avancent de 1 vers 3, et de 2 vers 4 (voyez les flèches marquées *r* et *s* fig. 85), qui constituent les pas ou pulsations de l'aile. Les points réels de rotation correspondent aux petites boucles *a b c d e f g h i j k l* de la fig. 85. L'aile descend en A et en C, et monte en B et en D.

L'aile agit comme un véritable cerf-volant à la fois pendant les coups descendant et ascendant. — Si, comme je me suis efforcé de l'expliquer, l'aile, même quand elle s'élève et s'abaisse dans une direction strictement verticale, s'élance inévitablement et invariablement en avant, il suit comme conséquence, que l'aile, ainsi qu'on l'a déjà expliqué en partie, vole en avant comme un véritable cerf-volant à la fois pendant les coups ascendant et descendant, comme on le voit en *c d e f g h i j k l m* de la fig. 88 ; et que sa face concave ou mordante en vertu du déplacement en avant qui lui est communiqué par le corps en mouvement, s'applique exactement à l'air, à la

fois pendant l'ascension et la descente — fait inaperçu jusqu'à présent, mais de la plus considérable importance comme montrant comment l'aile fournit constamment la faculté de se soutenir, quand elle s'élève et quand elle tombe.

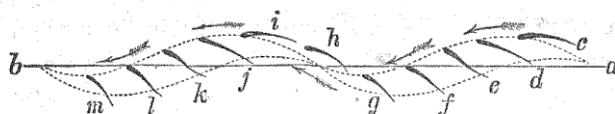


FIG. 88.

Dans la figure 88, la plus grande impulsion communiquée pendant le coup descendant est indiquée par les doubles lignes pointillées. L'angle fait par l'aile avec l'horizon ($a b$) varie constamment, comme le montrera une comparaison de c à d , de d à e , de e à f , de f à g , de g à h , de h à i ; ces lettres se rapportant à des sections transversales supposées de l'aile. Cela montre aussi que la face convexe ou non mordante de l'aile est toujours dirigée vers le haut, de manière à éviter une résistance inutile de la part de l'air contre l'aile pendant son ascension; tandis que la surface concave ou mordante est toujours dirigée vers le bas, de manière à permettre à l'aile de lutter avec succès contre la pesanteur.

En quoi le cerf-volant formé par l'aile diffère du cerf-volant de l'enfant. — Le cerf-volant naturel formé par l'aile ne diffère du cerf-volant artificiel qu'en ce qu'il est capable de mouvement dans toutes ses parties et est plus ou moins flexible et élastique, le dernier étant comparativement rigide. La flexibilité, l'élasticité du cerf-volant

230 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

formé par l'aile naturelle est nécessitée par l'articulation de l'aile à sa base ; ses diverses parties se déplaçant avec des degrés variés de vitesse proportionnels à leur éloignement de l'axe de rotation. Ainsi l'extrémité de l'aile parcourt dans un temps donné un espace beaucoup plus grand que la portion voisine de la base. Si l'aile n'était pas flexible et élastique, il serait impossible de la retourner à la fin des coups ascendants et descendants, de manière à produire une vibration continue. L'aile est aussi pratiquement articulée le long de sa marge antérieure, de façon que la marge postérieure de l'aile traverse dans un temps donné un espace plus grand que la marge antérieure (fig. 80, p. 206). La rotation composée de l'aile est grandement facilitée par sa flexibilité et son élasticité. Cela fait tordre l'aile autour de son grand axe, pendant sa vibration, comme on l'a déjà dit. La torsion est un acte en partie vital, en partie mécanique : c'est-à-dire qu'elle est occasionnée en partie par l'action des muscles, et en partie par le *momentum* acquis par l'extrémité et la marge postérieure de l'aile plus grand que celui de la racine et de la marge antérieure ; la vitesse acquise par l'extrémité et la marge postérieure les faisant toujours ensuite revenir vers la base et la marge antérieure, ce qui a pour effet de projeter les marges antérieure et postérieure de l'aile en figures de 8. C'est de cette manière que la marge postérieure de la portion extérieure de l'aile doit s'incliner en avant à la fin de chaque coup descendant, tandis que la marge antérieure est inclinée en arrière ; la marge postérieure de la portion extérieure de l'aile étant inclinée en arrière à la fin de chaque coup ascendant, quand une portion correspondante de la marge

antérieure est inclinée en avant (fig. 69 et 70, *g a*, p. 195; fig. 86, *j, f*, p. 223).

Angles formés par l'aile pendant ses vibrations. — Ce n'est pas le trait le moins intéressant de la rotation composée de l'aile — des divers degrés de vitesse atteints par ses diverses parties, et de la torsion ou plissement de la marge postérieure autour de l'antérieure — que la grande variété de surfaces semblables à celle des cerfs-volants, qui se forment sur ses faces ventrales et dorsales. Ainsi l'extrémité de l'aile forme un plan incliné en haut, en avant et en dehors, tandis que la racine en forme un incliné en haut, en avant et en dedans. Les angles formés par l'extrémité et les portions extérieures de l'aile avec l'horizon sont moindres que ceux formés par le corps ou partie centrale de l'aile; et ceux faits par le corps ou partie centrale, moindres que ceux faits par la racine et les portions intérieures. L'angle d'inclinaison particulier à chaque portion de l'aile croît comme la vitesse particulière de la dite portion décroît, *et vice versa*. L'aile est en conséquence mécaniquement parfaite; les angles faits par ses diverses parties avec l'horizon étant exactement ajustés à la vitesse acquise par ses différentes portions pendant le déplacement de va et vient. Il suit de là que l'air mis en mouvement par une partie de l'aile est saisi et utilisé par une autre; les portions intérieures et antérieures de l'aile semblant fournir des courants aux portions extérieures et postérieures. Ceci résulte de ce que l'aile force l'air en arrière et en dehors. Ces affirmations admettent la preuve directe, et je me suis fréquemment assuré de

leur exactitude par des expériences faites sur les ailes naturelles et artificielles.

Chez la chauve-souris et l'oiseau, la torsion de l'aile sur son grand axe est un acte plus vital et moins mécanique que chez l'insecte; les muscles qui règlent la vibration de l'aile chez ceux-là (chauve-souris et insecte) s'étendent tout à fait jusqu'au bout de l'aile (fig. 95, p. 241; fig. 82 et 83, p. 218).

Le corps et les ailes se meuvent dans des courbes opposées. — J'ai dit que l'aile avance en ligne ondulée, comme on le voit en *a c e g*, de la fig. 81, p. 216; et il faut faire de semblables remarques sur le corps, comme l'indiquent 1, 2, 3, 4, 5, de la même figure. Ainsi quand l'aile descend suivant la courbe *a c*, elle élève le corps suivant la courbe correspondante mais moindre, 1, 2; quand d'autre part l'aile monte suivant la courbe *ce*, le corps descend suivant une courbe correspondante mais plus petite (2, 3), et ainsi de suite à l'infini. Les ondulations faites par le corps sont si peu de chose comparées à celles que font les ailes, qu'elles sont très-propres à échapper. Elles méritent cependant l'attention comme exerçant une importante influence sur les ondulations faites par l'aile, le corps et l'aile se balançant alternativement en avant, l'un s'élevant quand l'autre tombe, et *vice versa*. On peut regarder le vol comme la résultante de trois forces : — la *force musculaire et élastique* résidant dans les ailes, qui les fait agir comme un véritable cerf-volant à la fois pendant les coups ascendant et descendant; le *poids du corps* qui devient une force à l'instant où le corps est soulevé du sol, à cause de sa tendance à tomber et en

avant; et le *recul obtenu de l'air* par l'action rapide de l'aile. On peut dire que ces trois forces sont actives et passives tour à tour.

Quand un oiseau s'élève du sol, il court quelques pas ou jette son corps en l'air par un saut brusque, les ailes étant simultanément élevées. Quand son corps est à une bonne distance du sol, il fait descendre ses ailes avec une grande vigueur, et leur action continue l'impulsion ascendante assurée par le saut ou la course préliminaire. Le corps tombe alors en avant suivant une courbe; les ailes, en partie par la chute du corps, en partie par la réaction de l'air contre leur surface inférieure, et en partie par le raccourcissement des muscles élévateurs et des ligaments élastiques, sont placées au-dessus, et jusqu'à un certain point, derrière l'oiseau, autrement dit, sont élevées. Le second coup descendant est alors donné et les ailes de nouveau élevées comme on l'a expliqué, et ainsi de suite dans une succession sans fin, le corps tombant quand les ailes s'élèvent, et *vice versa* (fig. 81, p. 216). Quand un oiseau océanique à longues ailes s'élève de la mer, il se sert des extrémités de ses ailes pour soulever le corps, sans que leurs pointes souffrent d'être amenées violemment au contact de l'eau. On ne peut dire qu'un oiseau vole que lorsque son tronc se balance en avant dans l'espace et prend part au mouvement. Le faucon, quand il se fixe en l'air au-dessus de sa proie, se soutient simplement. Voler, dans l'acception propre du terme, implique se supporter et avancer. C'est ce qui constitue la différence entre un oiseau et un ballon. L'oiseau peut s'élever et se porter en avant, le ballon ne peut que s'élever et doit monter ou descendre en ligne droite en

234 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

l'absence de courants. Quand le fou se précipite d'une falaise, l'inertie du tronc entre immédiatement en jeu, et épargne à l'oiseau les efforts herculéens qu'il lui faut faire pour s'élever de l'eau une fois qu'il y repose convenablement. Une hirondelle s'élancant du toit d'une maison, une chauve-souris d'une tour, présentent des applications du même principe. Beaucoup d'insectes se lancent de même dans l'espace avant de voler. Quelques-uns cependant ne le font pas. Ainsi la mouche à viande peut s'élever d'une surface plane, quand on lui a enlevé les pattes. On s'en rend compte par l'amplitude plus grande et le jeu plus horizontal de l'aile de l'insecte comparée à celles de la chauve-souris et de l'oiseau, et également par le remarquable pouvoir d'alterner que possède l'aile de l'insecte, lorsque le corps de l'insecte n'avance pas (fig. 67, 68, 69 et 70, p. 195) ; quand un scarabée veut s'envoler de la main, il étend ses pattes de devant, fléchit celles de derrière, et courbe vers le haut sa tête et son thorax de manière à ressembler à un cheval qui va se lancer. Après ces préliminaires, il fait tourner ses ailes avec une immense rapidité, et dans une direction presque horizontale, le corps étant incliné plus ou moins verticalement. L'insecte s'élève lentement et a souvent besoin de faire plusieurs essais avant de réussir à se lancer en l'air. Je n'ai jamais pu découvrir de pression communiquée à la main quand l'insecte va la quitter, d'où je conclus qu'il ne saute pas dans l'air. Les abeilles aussi, je suis disposé à le croire, s'élèvent sans rien qui ressemble à un saut ou à un élan. Je les ai souvent observées abandonnant les pétales de fleurs, et elles m'ont toujours paru s'élever par le ferme jeu de leurs ailes,

ce qui était d'autant plus nécessaire que la surface d'où elles s'élevaient, était dans bien des cas une surface flexible.

CHAPITRE II

AILES DES INSECTES ET DES CHAUVES-SOURIS

Elytres ou étuis d'ailes, ailes membraneuses. — *Leur forme et leurs usages.* — Les ailes des insectes consistent en une ou deux paires. Quand il y a deux paires, elles se divisent en antérieures ou supérieures, et en postérieures ou inférieures. Dans quelques cas, la paire antérieure est notablement modifiée et présente un état corné. Quand elles sont ainsi modifiés elles recouvrent les ailes inférieures, lorsque l'insecte est posé, et ont été, à cause de cette circonstance, nommées élytres, du grec *ἐλτρον*, étui. Les ailes antérieures sont denses, rapides et opaques chez les scarabées (fig. 89, *r*) ; solides d'un côté et membraneuses de l'autre chez la punaise d'eau (fig. 90, *r*) ; plus ou moins membraneuses chez les libellules (fig. 91, *e e*, p. 237). Les ailes supérieures ou antérieures sont inclinées d'un certain angle quand elles sont étendues, et sont indirectement liées au vol, chez les scarabées, les punaises d'eau et les sauterelles. Elles remplissent activement cette fonction chez les libellules et les papillons. Les élytres ou ailes antérieures sont souvent employées comme *soutien* et comme *glisseurs* dans le vol ¹,

¹ La preuve que les élytres prennent part au vol, c'est que, quand on les supprime, la faculté de voler est détruite en bien des cas.

FIG. 89.

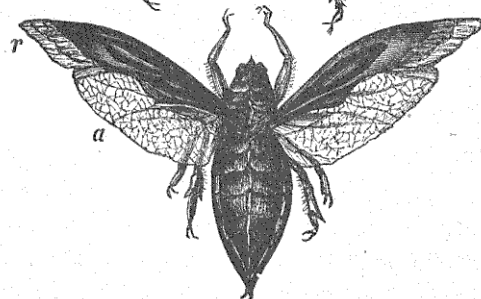
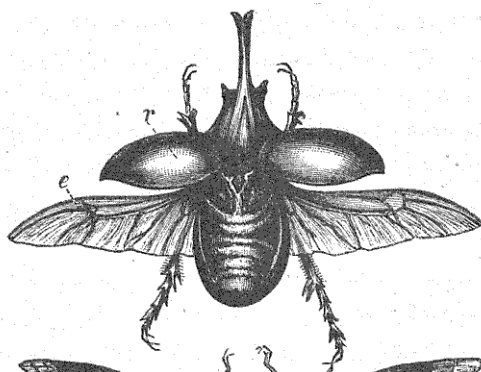


FIG. 90.

FIG. 89. — Le Scarabée Centaure (*Augusona centaurus*) vu d'en haut, montrant les élytres (*r*) et les ailes membraneuses (*e*) dans l'état étendu. Les nervures sont disposées et articulées de manière que les ailes membraneuses soient repliées (*e*) transversalement sur le dos, sous les élytres, pendant le repos. Quand elles sont ainsi repliées, les marges antérieures ou épaisses des ailes membraneuses sont dirigées en dehors et légèrement en bas, les postérieures ou minces étant dirigées en dedans et légèrement en haut. Pendant l'extension, les positions des marges sont renversées par la torsion et la rotation des ailes autour de leur grand axe, les marges antérieures comme chez les oiseaux et les chauves-souris étant dirigées en haut et en avant, et faisant avec l'horizon un angle bien décidé. Les ailes des scarabées sont d'une insignifiante petitesse quand on les compare à la surface du corps. Elles sont de plus élégamment tordues sur elles-mêmes, et possèdent une grande puissance d'élévation et de propulsion. — *Originale*.

FIG. 90. — La punaise d'eau (*Genus belostoma*). Chez cet insecte les ailes supérieures (élytres ou couvertures des ailes *r*) sont semi-membraneuses. Elles s'engrènent aux ailes membraneuses inférieures à l'aide d'un crochet, les deux agissant ensemble pendant le vol, quand elles sont ainsi accrochées. Les ailes supérieures et inférieures sont délicatement courbées et tordues. De plus elles s'amincissent de dedans en dehors, et d'avant en arrière. — *Originale*.

les ailes postérieures agissant plus particulièrement comme *élevateurs* et *propulseurs*. Dans ce cas, les élytres sont tordues sur elles-mêmes comme des ailes.

Les ailes des insectes présentent différents degrés d'opacité, — celles des phalènes et des papillons ne sont pas

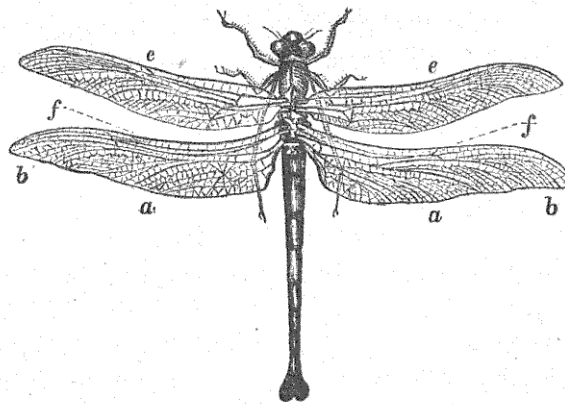


FIG. 91. — La libellule (*Petalura gigantea*). Chez cet insecte, les ailes sont finement coupées et délicatement transparentes, la nervure étant le plus fortement développée à l'insertion des ailes et le long de leurs marges antérieures (*e e, ff*), et le moins aux extrémités (*b b*), et le long des marges postérieures (*a a*). La paire antérieure (*e e*) est analogue à tous égards à la postérieure (*f f*). Toutes les deux font un certain angle avec l'horizon; la paire antérieure (*e e*), surtout employée comme élévatrice, fait un plus petit angle que la paire postérieure principalement employée à la propulsion. Les ailes de la libellule font les angles convenables pour le vol même pendant le repos, de sorte que l'animal peut instantanément se mettre à voler. Cet insecte vole avec une étonnante vélocité. — *Originale*.

transparentes; celles des libellules, des abeilles, des mouches communes présentent une apparence délicate, membraneuse, filandreuse. Les ailes dans tous les cas sont composées d'un double tégument ou membrane vêtissante, et sont renforcées en diverses directions par un système de tubes creux-cornés connus des entomologistes

sous le nom de nervures. Les nervures s'amincissent vers l'extrémité de l'aile, et sont les plus fortes vers sa base et sa marge antérieure où elles remplissent la place du bras des chauves-souris et des oiseaux. Elles sont diversement arrangées. Chez les scarabées, elles poursuivent une course à peu près longitudinale, et sont articulées de manière à permettre aux ailes de se replier transversalement sous les élytres¹. Chez les locustes, les nervures divergent d'un centre commun, à la manière d'un éventail, de sorte que par leur action les ailes sont repliées ou étendues comme on veut; tandis que dans la libellule où il n'existe aucun plissage, elles forment une structure réticulée d'une manière exquise. Les nervures, il faut le remarquer, sont plus fortes chez le scarabée dont le corps est lourd et les ailes petites. Elles décroissent en épaisseur quand ces conditions se renversent, et disparaissent entièrement dans les très-petits chalcis et psilus². On n'est pas bien certain de la fonction des nervures; mais comme elles contiennent des vaisseaux spiraux qui apparemment communiquent aux trachées du tronc, quelques-uns les ont regardées comme connexes au système respiratoire; tandis que d'autres les ont considérées comme les réceptacles d'un fluide subtil, que l'insecte peut y introduire ou en retirer à volonté pour obtenir le degré voulu d'expansion et de tension de l'aile. Aucune hypothèse n'est satisfaisante, car la respiration et le vol peuvent s'accomplir en leur absence. Elles me paraissent, quand elles

¹ Les ailes de l'éphémère sont repliées longitudinalement et transversalement, de manière qu'elles sont chiffonnées en petits carrés.

² Kirby et Spence, vol. II, 5^e éd., p. 355.

sont présentes, agir plutôt comme supports et comme tenseurs mécaniques, en vertu de leur rigidité et de leur élasticité seules, — leur disposition permettant à l'aile de se plier dans diverses directions, s'il est nécessaire, pendant la flexion et se donner le degré de fermeté pendant l'extension. Elles sont donc, à tous égards, analogues au squelette de l'aile chez la chauve-souris et l'oiseau. Dans les ailes qui, pendant la période de repos, sont repliées sous les élytres, la simple extension de l'aile chez l'insecte mort, où aucune injection de fluide n'a lieu, fait tomber les nervures en position, et fait dérouler ou déployer les portions membraneuses de l'aile précisément comme chez l'insecte vivant, et ainsi qu'il arrive chez la chauve-souris et l'oiseau. Ce résultat s'obtient par la disposition spirale des nervures à la racine de l'aile, la nervure antérieure occupant une position plus élevée que celle qui est plus en arrière, comme les feuilles d'un éventail. L'arrangement spiral qui se présente à la base s'étend aussi jusqu'aux bords, de sorte que les ailes qui se replient ou se forment, aussi bien que celles qui ne le font pas, sont tordues sur elles-mêmes et présentent un certain degré de convexité sur leur surface supérieure et une concavité correspondante à leur surface inférieure; leur bord libre fournissant ces belles courbes qui agissent avec tant d'efficacité sur l'air pour obtenir le maximum de résistance et le minimum de déplacement; ou, ce qui est la même chose, le maximum de soutien avec le minimum de glissement (fig. 92 et 93, p. 240).

Les ailes des insectes peuvent être mises en oscillation dans des espaces donnés, antérieurement, postérieurement ou centralement par rapport au plan du corps; ou

dans des positions intermédiaires par rapport à lui et à une ligne perpendiculaire. L'aile ou les ailes d'un côté

FIG. 92.

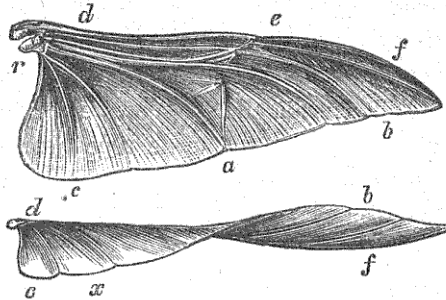


FIG. 93.

FIG. 92. — Aile droite du scarabée (*Goliathus micans*), surface dorsale. Cette aile ressemble quelque peu à celle de l'émouchet (fig. 61, p. 189) comme forme. Elle a une marge antérieure épaisse (*d e f*) et une postérieure mince (*a b c*). De fortes nervures s'étendent le long de la marge antérieure (*d*) jusqu'au point (*e*) où l'aile se replie pendant le repos. Ici, les nervures se séparent, divergent, et deviennent graduellement de plus en plus petites jusqu'à ce qu'elles atteignent l'extrémité de l'aile (*f*), et la marge postérieure ou mince (*b*); d'autres nervures rayonnent en courbes gracieuses depuis la racine de l'aile. Elles deviennent aussi plus fines en atteignant la marge postérieure ou mince (*c a*). *r*, Racine de l'aile avec sa complexe articulation composée. L'aile du scarabée a une certaine analogie avec celle de la chauve-souris, les nervures s'étendent le long de la marge antérieure (*d*) de l'aile, ressemblant à l'humérus et à l'avant-bras de la chauve-souris (fig. 94, p. 244), l'articulation de l'aile du scarabée (*e*) correspondant à l'articulation carpale ou du poignet de l'aile de la chauve-souris (fig. 94, *e*), les nervures terminales ou digitales du scarabée (*f b*), aux phalanges de la chauve-souris (fig. 94, *f b*). Les parties marquées *f b*, peuvent être assimilées aux rémiges primaires de l'oiseau, celles marquées *a c*, aux rémiges secondaires, et *e*, aux rémiges tertiaires. Les ailes du scarabée et de la chauve-souris ne se laissent pas traverser par l'air pendant les coups ascendants ou descendants. — Originale.

FIG. 93. — Aile droite du scarabée (*Goliathus micans*) comme on la voit de derrière et de dessous. Quand on les regarde ainsi, la marge antérieure ou épaisse (*d f*) et la marge postérieure ou mince (*b n e*) sont disposées dans des plans différents et forment une véritable vis ou hélice. Comparez aux fig. 95 et 97, p. 241 et 242. — Originale.

peuvent également se mouvoir indépendamment de celles du côté opposé de façon que le centre de gravité qui, chez

les insectes, les chauves-souris et les oiseaux, est suspendu, n'est pas troublé par les évolutions sans fin exécutées en montant, descendant, tournant. Le centre de gravité varie chez les insectes suivant la forme du corps, la longueur et la forme des membres et des antennes, et la position et la forme des ailes. Il est corrigé chez quelques-uns par la courbure du corps, chez d'autres par la flexion ou le redressement des membres et des antennes, mais surtout par l'habile jeu des ailes elles-mêmes.

FIG. 94.

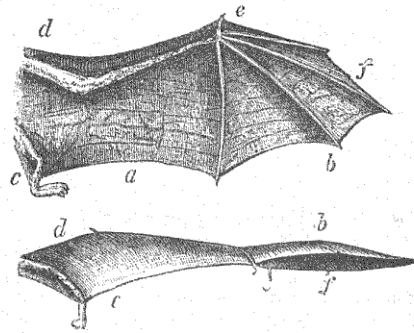


FIG. 95.

FIG. 94. — Aile droite de la chauve-souris (*Phyllorhina gracilis*), face dorsale. *d e f*, marge antérieure ou épaisse de l'aile, supportée par les os du bras, de l'avant-bras et de la main (première et deuxième phalanges); *e a b*, marge postérieure ou mince supportée par les autres phalanges, par le côté du corps et par le pied. — *Originale*.

FIG. 95. — Aile droite de la chauve-souris (*Phyllorhina gracilis*) vue de derrière et de dessous. Ainsi observée, la marge antérieure ou épaisse (*d f*) de l'aile forme des courbes différentes de celles de la marge postérieure ou mince (*b c*); les marges antérieures et postérieures étant disposées selon divers plans, comme la lame d'une hélice propulsive. — *Originale*.

L'aile de la chauve-souris et de l'oiseau, comme celle de l'insecte, est concavo-convexe et plus ou moins tordue sur elle-même (fig. 94. 95, 96 et 97).

La torsion est due en grande partie à la manière dont les os sont tordus sur eux-mêmes, et à la nature spirale de leurs surfaces articulaires, les grands axes des articulations se coupant toujours à peu près à angles droits. Comme résultat de cette disposition des surfaces articu-

FIG. 96.

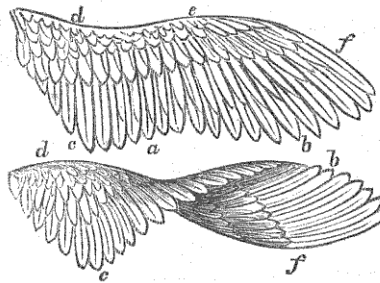


FIG. 97.

FIG. 96. — Aile droite de la perdrix à pieds rouges (*Perdix rubra*), face dorsale, montrant un exemple extrême des ailes courtes arrondies; elle contraste avec l'aile de l'albatros (fig. 62, p. 190) qui fournit un extrême exemple d'aile longue en ruban; *d e f*, marge antérieure; *b a c*, marge postérieure consistant en rémiges primaires (*b*), secondaires (*a*), et tertiaires (*c*), avec leurs grandes et leurs petites rectrices respectives; le tout se recouvrant et se supportant mutuellement. Cette aile, comme celle de l'émouchet (fig. 61, p. 189), a été dessinée d'après un spécimen placé contre la lumière, l'objet étant de déployer les relations mutuelles des plumes et de montrer comment elles se recouvrent. — *Originale*.

FIG. 97. — Aile droite de la perdrix à pieds rouges (*Perdix rubra*) vue de derrière et de dessous, comme chez le scarabée (fig. 93) et la chauve-souris (fig. 95). Mêmes lettres et mêmes explications pour les trois. — *Originale*.

lares, l'aile est développée ou étendue, retirée ou fléchie dans un véritable plan, les os de l'aile tournant dans la direction de leur longueur pendant les deux mouvements. Cette action secondaire ou la rotation des os composants sur leurs axes est de la plus grande importance, dans les mouvements de l'aile, car il communique à la main et à

l'avant-bras, et en conséquence à la membrane ou aux plumes qu'elles portent, les angles précis nécessaires au vol. Elle assure en fait que l'aile, et le rideau, la voile ou la frange de l'aile seront profondément vissés dans l'air pendant l'extension et dévissés ou dégagés pendant la flexion. On peut donc comparer l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau à la grande vrille ou tarière, l'axe de la vrille représentant les os de l'aile, les filets spiraux de la vrille le frein ou la voile (fig. 95 et 97).

Os de l'aile de la chauve-souris. — Configuration spirale de leurs surfaces articulaires. — Les os du bras et de la main méritent une attention spéciale. L'humérus (fig. 17, r, p. 51) est court et tordu sur lui-même, jusqu'à l'étendue d'un peu moins d'un quart de tour. Comme conséquence, le grand axe de l'articulation de l'épaule est à peu près à angle droit avec celui de l'articulation du coude. On peut faire de semblables remarques sur le radius (l'os principal de l'avant-bras) (*d*), et le second et le troisième os métacarpiens avec leurs phalanges (*e f*), qui tous sont grandement allongés et donnent de la force et de la rigidité à la marge antérieure ou épaisse de l'aile. Les surfaces articulaires des os dont nous parlons, aussi bien que des autres os de la main, sont disposées en spirale l'une par rapport à l'autre, les grands axes des articulations se coupant à peu près à angles droits. L'objet de cette disposition est particulièrement évident quand l'aile d'une chauve-souris vivante ou récemment morte est étendue et fléchie comme pendant le vol.

Dans l'état de flexion l'aile est notablement réduite en dimension, sa surface inférieure étant à peu près paral-

244 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

lèle au plan de progression. Quand l'aile est complètement étendue, sa surface inférieure fait un certain angle avec l'horizon, l'aile étant alors sur le point de donner le coup descendant qui est frappé comme par l'insecte *en bas et en avant*. Quand l'extension a lieu, l'articulation du coude est abaissée et portée en avant, le poignet élevé et porté en arrière, les articulations métacarpo-phalangiennes abaissées et inclinées en avant, et les articulations digitales phalangiennes légèrement élevées et portées en arrière. Le mouvement de l'aile de la chauve-souris, dans l'extension, a donc lieu en une spirale, courant alternativement de dessous en haut et en avant, et de dessus en bas et en arrière (comparez aux fig. 79, p. 203). Comme les os du bras, de l'avant-bras et de la main tournent sur leurs axes pendant l'acte de l'extension, il suit que la marge postérieure ou mince de l'aile tourne dans une direction descendante, l'antérieure ou épaisse tournant dans une direction opposée, jusqu'à ce que l'aile fasse avec l'horizon un angle d'à peu près 30 degrés, ce qui est, comme je me suis déjà efforcé de le démontrer, le plus grand angle fait par l'aile pendant le vol. L'action de l'aile de la chauve-souris à l'épaule est particulièrement libre, en partie parce que l'articulation de l'épaule est universelle, et en partie parce que l'omoplate participe aux mouvements de cette région. La liberté d'action dont nous parlons, permet à la chauve-souris, non-seulement de tourner et de tordre l'aile dans son ensemble, en vue de diminuer et d'accroître l'angle que sa surface inférieure fait avec l'horizon, mais d'élever et d'abaisser l'aile et de la mouvoir en avant et en arrière. Le mouvement rotatoire ou de torsion de l'aile est un trait essentiel du vol, en

ce qu'il permet à la chauve-souris (et ceci reste vrai de l'insecte et de l'oiseau) de s'équilibrer avec la plus parfaite exactitude, et de changer sa position et son centre de gravité avec une merveilleuse dextérité. Les mouvements de l'articulation de l'épaule sont restreints dans certaines limites par un système de ligaments modérateurs, et par les apophyses acromion et coracoïde de l'omoplate. L'aile est repliée ou fléchie par l'action de ligaments élastiques qui s'étendent entre l'épaule, le coude et le poignet. Certains tissus élastiques et fibreux situés entre les doigts et dans la substance de l'aile prennent généralement part à la flexion. La chauve-souris vole avec grande facilité et pendant des périodes prolongées. Son vol est remarquable par sa douceur, ce en quoi elle dépasse le hibou et les autres oiseaux nocturnes. L'action de l'aile de la chauve-souris, et les mouvements de ses os composants sont essentiellement les mêmes que chez l'oiseau.

CHAPITRE III

AILES DES OISEAUX

Os de l'aile de l'oiseau. — Leurs surfaces articulaires, mouvements, etc. — L'humérus ou os du bras de l'aile est supporté par trois os du tronc, l'omoplate, la clavicule ou fourchette¹, et l'os coracoïde, ces trois os convergeant pour former un *point d'appui*, ou centre de support pour

¹ Les clavicules sont ordinairement unies par un ligament à la partie antérieure du sternum ; mais chez les oiseaux à vol puissant dont les ailes sont habituellement étendues pour glisser ou

la tête de l'humérus, qui est reçue dans les facettes ou dépressions situées sur les omoplates et les os coracoïdes. Afin que l'aile puisse avoir un mouvement d'une portée presque illimitée, et soit menée à la manière d'un fléau, elle est articulée au tronc par une jointure universelle quelque peu lâche qui permet les mouvements verticaux, horizontaux et intermédiaires ¹. Le grand axe de l'articulation est dirigé verticalement ; la jointure elle-même quelque peu en arrière. Il en est autrement de l'articulation du coude qui est tournée en avant, et a son grand axe dirigé horizontalement, parce que l'humérus est tordu sur lui-même d'environ un quart de tour. L'articulation du coude est décidément de nature spirale, son grand axe coupant celui de l'articulation de l'épaule à peu près à angle droit. L'humérus s'articule au coude avec deux os, le radius et le cubitus, dont le premier s'écarte de l'humérus, pendant que l'autre s'en rapproche pendant l'extension, l'inverse ayant lieu pendant la flexion. Les deux os, de plus, pendant que ces mouvements ont lieu, tournent d'une plus ou moins grande quantité sur leurs axes. Les os de l'avant-bras s'articulent au poignet avec les os du carpe, qui sont disposés en spirale, placés obliquement entre eux et les os métacarpiens, et transmettent le mou-

planer, comme chez la frégate, la jonction est de nature osseuse. « Chez la frégate, la fourchette est comme ankylosée avec les os coracoïdes ». — Anat. et phys. comp. des vertébrés, par le prof. Owen, vol. II, p. 66.

¹ « L'os humérus, ou os du bras, est articulé par une petite surface arrondie à une cavité correspondante formée entre l'os coracoïde et l'omoplate de manière à laisser une grande liberté de mouvement. » Macgillivray, Oiseaux de la Gr. Bretagne, vol. I, p. 33. « Le bras est articulé au tronc par une articulation en boule et bassinnet donnant toute la liberté de mouvement nécessaire au vol. » — Cycl. d'An. et de Phys., vol. III, p. 424.

vement à ces derniers dans une direction recourbée. Le grand axe du poignet est autant que possible à angle droit avec celui du coude, et plus ou moins parallèle à celui de l'épaule. Les os métacarpiens ou os de la main et les phalanges ou os des doigts sont plus ou moins confondus, ce qui vaut le mieux pour soutenir les plumes primaires de l'efficacité desquelles le vol dépend principalement. Ils sont articulés les uns aux autres par de doubles articulations en charnière dont les grands axes font à peu près des angles droits entre eux.

Comme résultat de cette disposition des surfaces articulaires, l'aile s'allonge ou s'étend, se rétracte ou se fléchit dans un plan variable, les os composant l'aile, particulièrement ceux de l'avant-bras, tournant sur leurs axes pendant chaque mouvement.

Cette action secondaire ou rotation des os composants sur leurs axes, est de la plus grande importance dans les mouvements de l'aile, comme communiquant à la main et à l'avant-bras, et en conséquence aux rémiges primaires et secondaires qu'elles portent, précisément les angles nécessaires au vol ; en fait, elle assure que l'aile, et le rideau ou frange que forment les plumes primaires et secondaires se visseront dans l'air pendant l'extension, et s'en dévisseront ou s'en retireront pendant la flexion. L'aile de l'oiseau peut donc être comparée à une grande vrille ou à une tarière ; l'axe de la vrille représentant les os de l'aile, les filets spiraux de la vrille les plumes primaires et secondaires (fig. 63, p. 191, et fig. 97, p. 242).

Traces de dessein dans l'aile de l'oiseau. — Disposi-

tion des plumes primaires, secondaires, tertiaires, etc.

— Il y a dans la nature peu de choses construites plus admirablement que l'aile de l'oiseau, et peut-être aucune où l'on suive plus aisément la trace d'un dessein. Sa grande force et son extrême légèreté, la manière dont elle se ferme ou se replie pendant la flexion, dont elle s'ouvre ou s'étend pendant l'extension, aussi bien que la manière dont les plumes sont attachées ensemble et dont elles se recouvrent dans les diverses directions pour produire une surface à la fois solide et résistante, présentent un degré de perfection sur lequel l'esprit doit nécessairement revenir avec plaisir. Si l'on ne s'occupe que des plumes de l'aile, on peut convenablement les diviser en trois groupes de trois chacun sur les deux côtés de l'aile, — un groupe supérieur ou dorsal (fig. 64, *d, e, f*, p. 189), un groupe inférieur ou ventral (*c, a, b*) et un intermédiaire. Cette division a pour but de rapporter les plumes aux os du bras, de l'avant-bras et de la main, mais elle est plus ou moins arbitraire dans sa nature. Le groupe ou la rangée inférieure consiste en plumes primaires (*b*), secondaires (*a*), tertiaires (*c*), attachées ensemble par un tissu tel qu'elles se meuvent en dehors ou en dedans, tournent sur leurs axes, précisément au même moment; — les groupes moyen et supérieur, qui recouvrent les plumes primaires, secondaires et tertiaires constituant ce qu'on appelle les grandes et les petites couvertures. Les plumes ou rémiges primaires, sont les plus longues et les plus fortes, les secondaires (*a*) viennent ensuite, et les tertiaires en troisième lieu. Les tertiaires, cependant, sont parfois plus longues que les secondaires. Les plumes tertiaires, secondaires et primaires croissent en force de dedans en dehors, c'est-à-dire du

corps vers les extrémités de l'aile, et ainsi des divers

FIG. 98.

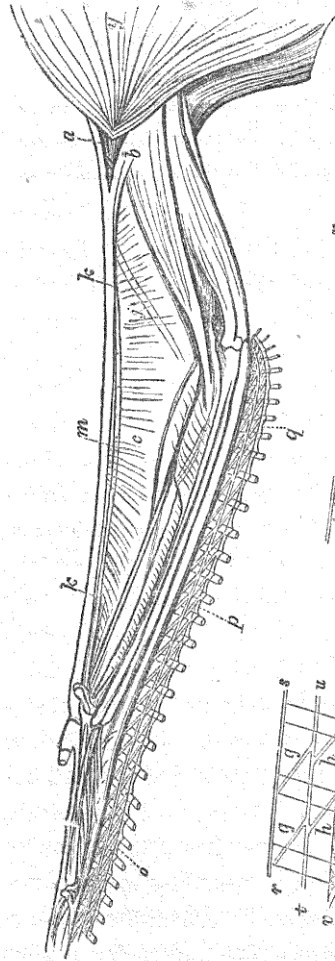


FIG. 101.

FIG. 100.

Fig. 98, 99, 100 et 101, montrant les muscles et les ligaments élastiques et la disposition des rémiges primaires et secondaires sur la face ventrale de l'aile de la grue à crête. L'aile est étendue.

y (fig. 98). Muscle grand pectoral qui abaisse l'aile.
a, b. Pièces musculaires volontaires se terminant dans la bande élastique *k*. Cette bande se fond en deux parties, *k m*. Une bande quelque peu semblable se voit en *j*. Ces trois bandes sont unies et agissent d'accord avec la grande membrane fibro-élastique pour fléchir le bras et l'avant-bras. La membrane fibro-élastique est plus ou moins sous l'influence des muscles volontaires (*a, b*).

o, p, q. Ligament fibro-musculo-élastique, qui enveloppe les bases des plumes primaires et secondaires, et forme un réseau symétrique d'une grande force et d'une grande beauté, ses parties composantes étant disposées de manière à envelopper individuellement la base de chaque plume. Le réseau en question supporte les plumes, et limite leur action valvulaire particulière. Il est agrandi fig. 99 et 101, et consiste en trois bandes longitudinales (*rs tu vw*). Entre elles s'étendent des bandes obliques *g* et *k*; les bandes obliques vont d'une plume à la deuxième suivante. La bande longitudinale du bord (*v w*) se divise en deux appendices, dont l'un entoure la racine de chaque plume (*x*) de droite à gauche (*c a b*); l'autre de gauche à droite (*d e f*). Ces appendices se voient aussi en *m, n*, (fig. 100). — *Originale*.

groupes de couvertures. Cette disposition est nécessaire parce que la compression des plumes pendant

le vol augmente en proportion de leur distance du tronc.

La manière dont les racines des plumes primaires, secondaires et tertiaires sont engrenées l'une dans l'autre pour tourner dans une direction pendant la flexion, et dans une autre et opposée pendant l'extension, se voit fig. 98, 99, 100 et 101. Dans la flexion, les plumes s'ouvrent et permettent à l'air de les traverser. Dans l'extension, elles se rapprochent et rendent l'aile aussi imperméable que celle de la chauve-souris ou de l'insecte. Les plumes primaires, secondaires et tertiaires ont donc une action valvulaire.

L'aile de l'oiseau n'est pas toujours ouverte de la même quantité pendant le coup ascendant. — Les dispositions compliquées et les adaptations pour accroître la surface de l'aile et la rendre imperméable pendant le coup descendant, et pour diminuer la surface et l'entr'ouvrir pendant le coup ascendant, quoique nécessaire au vol des oiseaux à corps lourds à courtes ailes comme la grive, la perdrix et le faisan, ne sont pas du tout indispensables au vol des oiseaux océaniques à longues ailes, excepté quand il s'agit de s'élever d'une surface de niveau. Les oiseaux lourds à courtes ailes n'ont pas non plus besoin de plier et d'ouvrir l'aile pendant le coup ascendant de la même quantité dans tous les cas ; il faut la plier et l'entr'ouvrir moins quand ils volent contre le vent et quand ils sont convenablement lancés. Tous les oiseaux océaniques, même l'albatros, ont besoin de plier et de battre leurs ailes vigoureusement quand ils s'élèvent de la surface de l'eau. Quand, cependant, ils ont acquis un certain degré de

momentum, et quand ils voyagent avec une vitesse horizontale, ils peuvent dans une grande mesure se dispenser d'ouvrir les ailes pendant le coup ascendant — et même dans beaucoup de cas se dispenser de ramer. C'est particulièrement vrai pour l'albatros qui, s'il souffle une brise tolérable, peut planer pendant une heure sans battre une seule fois de l'aile. Dans ce cas, l'aile est menée d'une seule pièce, comme l'aile de l'insecte, l'oiseau simplement vissant et dévissant son aile sur le vent et hors du vent, et exerçant une influence restreignante — la brise faisant la partie principale de la besogne. Chez la chauve-souris, l'aile est articulée comme chez l'oiseau, et repliée pendant le coup ascendant. Comme cependant, ainsi qu'on l'a déjà dit, l'aile de la chauve-souris est couverte d'une membrane continue et plus ou moins élastique, il suit qu'elle ne peut s'entr'ouvrir pendant le coup ascendant pour se laisser traverser par l'air. Le vol de la chauve-souris est donc assuré par une diminution et un accroissement de surface pendant les coups ascendant et descendant — l'aile tournant sur sa racine et le long de sa marge antérieure, et présentant une variété de surfaces comme celles du cerf-volant pendant sa montée et sa descente, précisément comme chez l'oiseau (fig. 80, p. 206, et fig. 83, p. 218).

La flexion de l'aile nécessaire au vol des oiseaux. —

Il existe une grande diversité d'opinions sur le point de savoir si les oiseaux fléchissent ou non leurs ailes en volant. Le dissentiment est dû à la grande difficulté que l'on éprouve à analyser les mouvements des animaux, particulièrement comme dans le cas des ailes, quand

252 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

ils se succèdent rapidement. Mon opinion est que toutes les ailes se fléchissent pendant le vol, mais qu'elles ne se fléchissent pas de la même quantité, et que ce qui est vrai d'une aile n'est pas nécessairement vrai d'une autre. Pour voir convenablement la flexion de l'aile, l'observateur doit être immédiatement au-dessus ou directement au-dessous de l'oiseau. Si l'on regarde l'oiseau de devant,

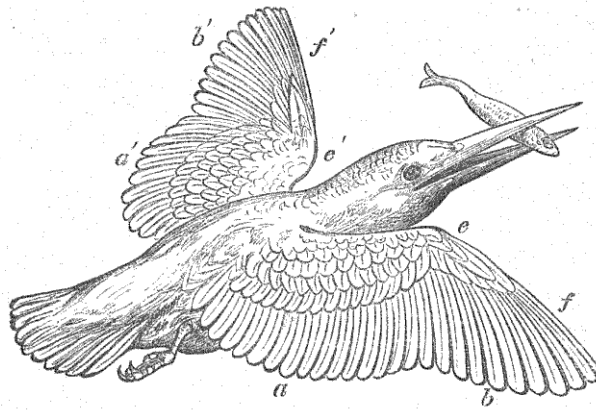


FIG. 102. — Montrant l'inclinaison montante du corps et la flexion des ailes (*ab, ef; a' b', e' f'*) dans le vol du martin-pêcheur. Le corps et les ailes dans leur ensemble forment un cerf-volant. Comparez à la fig. 59, p. 175, où les ailes sont complètement étendues.

de derrière ou de côté, les coups ascendant et descendant de l'aile distraient l'attention et compliquent le mouvement au point de rendre l'observation de peu de valeur. En observant des grolles volant à loisir contre une faible brise, je me suis de plus en plus convaincu que les ailes se fléchissent pendant la flexion, et que la flexion et l'extension simples, avec très-peu de choc descendant, suffisent dans ces cas à la propulsion. Je l'ai aussi observé

chez le pigeon en plein vol, et également chez le sansonnet, le moineau et le martin-pêcheur (fig. 102).

Elle a lieu principalement à l'articulation du poignet, et donne à l'aile cette trépidation, ce tremblement si apparent pendant le vol rapide, et chez les jeunes oiseaux encore nourris par les parents. L'objet à atteindre est manifeste. Par la flexion des ailes pendant le vol, les rémiges ou plumes ramantes s'entr'ouvrent, s'écartent, et l'air peut s'échapper au travers, — et l'on prend ainsi avantage de l'action particulière des plumes individuellement et de la possibilité de changer de dimension, perceptible à un plus haut degré dans l'aile de l'oiseau que dans celle de la chauve-souris et de l'insecte.

En vue de corroborer l'opinion ci-dessus, j'ai étendu les ailes de plusieurs oiseaux comme pendant le vol rapide et les ai fixées dans cette position étalée, en leur attachant des roseaux légers et inflexibles. Dans ces expériences, les articulations de l'épaule et du coude étaient tout à fait libres, les articulations du poignet ou carpienne et métacarpienne étant seules liées. Je pris soin, de plus, de contrarier aussi peu que possible l'action du ligament élastique ou membrane de l'aile qui dans les circonstances ordinaires ramène ou fléchit l'aile, les roseaux étant attachés pour la plupart aux ailes primaires et secondaires. Quand les ailes d'un pigeon étaient attachées de la sorte, l'oiseau ne pouvait pas s'élever, quoiqu'il fit des efforts excessifs pour y réussir. Quand on le laissait tomber de la main, il tombait violemment à terre malgré les vigoureux mouvements faits par ses ailes pour l'en préserver. Quand on le jetait en l'air, il battait énergiquement de l'aile pour tâcher d'atteindre le colombier

qui était tout auprès ; chaque fois, cependant, il tombait plus ou moins lourdement, la distance atteinte variant avec la hauteur à laquelle on le projetait.

Pensant que probablement la nouveauté de la situation et l'étrangeté de ces appareils confondaient l'oiseau, je le laissai se promener et se reposer sans enlever les roseaux. Je répétais l'expérience par intervalles, mais sans meilleur résultat. Les mêmes phénomènes, je dois le remarquer, se présentèrent avec le moineau ; de façon que je pense qu'on ne peut douter qu'un certain degré de flexion des ailes est indispensable au vol de tous les oiseaux — sa quantité variant suivant la grandeur et la forme des ailes, étant plus grande chez les oiseaux à courtes et larges ailes, comme la perdrix et le martin-pêcheur, moindre chez ceux dont les ailes sont modérément longues et étroites, comme chez les mouettes et un grand nombre d'oiseaux océaniques, et la plus petite chez les oiseaux à corps lourd, à ailes longues et étroites, voiliers ou planeurs, dont le meilleur exemple est l'albatros. De plus le degré de flexion varie suivant que l'oiseau s'élève, s'abaisse, avance dans une direction horizontale, ce degré étant le plus grand dans les deux premiers cas, moindre dans le dernier.

Il est vrai que chez les insectes, excepté peut-être chez ceux qui replient ou ferment l'aile pendant le repos, aucune flexion de l'aile n'a lieu dans le vol ; mais ce n'est pas un argument contre ce mode de diminution des ailes pendant le coup ascendant, là où existent les articulations ; et il est plus que probable que quand il y a des articulations, elles sont ajoutées pour augmenter la puissance de l'aile pendant sa période active, c'est-à-dire pendant le

vol, tout autant que pour aider à disposer l'aile sur le dos ou le côté du corps, quand elle est passive et que l'animal se repose. La flexion de l'aile est des plus visibles quand l'oiseau fait des efforts, et se découvre chez les oiseaux voiliers ou planeurs quand ils s'élèvent ou quand ils battent vigoureusement des ailes pour assurer l'élan né-

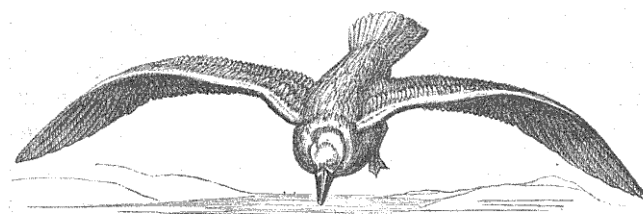


FIG. 103. — Montrant les leviers tordus ou vis formés par les ailes de la mouette. Comparez à la fig. 53, p. 149; et aux fig. 76, 77 et 78, p. 202, et fig. 82 et 83, p. 218. — *Originale*.

cessaire au planement. Il est moins marqué à la jointure du coude qu'à celle du poignet; et l'on peut dire en général que quand la flexion décroît, le mouvement de torsion de l'aile, semblable à celui du fléau, augmente à l'épaule, *et vice versa* — la grande différence entre les oiseaux voiliers et ceux qui ne planent pas se résumant en ceci : que chez les oiseaux voiliers, l'aile est mue à l'épaule en roulant sur le vent et s'en retirant alternativement, comme chez les insectes; tandis que chez les oiseaux qui ne planent pas le mouvement en spirale se propage le long du bras, comme chez les chauves-souris, et se manifeste pendant la flexion et l'extension par le rapprochement des articulations, et par la rotation des os de l'aile sur leurs axes. La conformation spirale des ailes à laquelle on a si souvent fait allusion se voit mieux chez

les oiseaux à corps lourds comme le dindon, le faisan et la perdrix ; et c'est ici que la forme concavo-convexe de l'aile est la plus saisissable. Chez les oiseaux à corps léger à grandes ailes, le montant de la torsion diminue, et, comme résultat, l'aile est plus ou moins aplatie, comme chez la mouette de mer.

Considération des forces qui meuvent les ailes des insectes. — Dans le thorax des insectes, les muscles sont arrangés en deux principaux groupes en forme de croix, c'est-à-dire qu'il y a un puissant groupe vertical qui s'étend de haut en bas, et un groupe puissant antéro-postérieur qui va d'avant en arrière. Il y a de même quelques minces muscles qui s'avancent dans une direction plus ou moins oblique. Les groupes de muscles antéro-postérieur et vertical sont tout à fait distincts, comme le sont également les muscles obliques. Cependant quelques portions des muscles verticaux et obliques se terminent à la racine de l'aile en pointes d'apparence gélatineuse, qui ressemblent grandement à des tendons rudimentaires, de manière que je penche à croire que les muscles verticaux et obliques exercent une action directe sur les mouvements de l'aile. Le raccourcissement du groupe de muscles antéro-postérieur (aidé par les obliques) a précisément l'effet opposé, et nécessite son ascension. Tandis que l'aile monte et descend, les muscles obliques la font tourner sur son grand axe ; la division en deux parties de l'aile à sa racine, la configuration spirale de l'articulation et la disposition des tissus élastique et autres qui unissent l'aile au corps, en même temps que la résistance qu'elle éprouve de la part de l'air, lui communiquent les angles

variés qui caractérisent les coups ascendant et descendant. On peut donc dire que l'aile est abaissée par le raccourcissement du groupe antéro-postérieur, aidé par les muscles obliques, et élevée par le raccourcissement des muscles verticaux et obliques, aidés par les ligaments élastiques et la réaction de l'air. Si nous adoptons cette manière de voir, nous avons une explication physiologique du phénomène, comme nous avons un cercle ou cycle complet du mouvement, le groupe de muscles antéro-postérieur se raccourcissant quand le groupe vertical s'allonge, *et vice versa*. Ceci est, je puis l'ajouter, en conformité avec tous les autres arrangements musculaires où nous avons ce qui est ordinairement appelé extenseurs et fléchisseurs, pronateurs et supinateurs, abducteurs et adducteurs, etc., mais qui, comme je l'ai déjà expliqué (p. 36 à 48), sont simplement deux moitiés d'un cercle de muscle et de mouvement, disposition qui assure les mouvements diamétralement opposés aux surfaces motrices de tous les animaux.

La note de Chabrier que je donne ci-dessous, appuie virtuellement cette hypothèse :

« C'est généralement par l'intervention de mouvements convenables du dos, qui sont très-considérables pendant le vol, que les ailes ou élytres sont mues également et simultanément. Ainsi quand il s'élève, il amène avec lui le côté interne de la base de l'aile auquel il est articulé, ce qui produit l'abaissement de la partie extérieure de l'aile ; et quand il s'approche de la partie sternale du tronc, le contraire a lieu. Pendant l'abaissement des ailes, le dos se courbe d'avant en arrière, ou de telle manière que son extrémité antérieure se rapproche de la posté-

rière, que son milieu s'élève et que ses portions latérales s'écartent encore plus l'une de l'autre. Le contraire a lieu pendant l'élévation des ailes ; l'extrémité antérieure du dos étant reportée à une plus grande distance de la postérieure, son milieu s'abaissant et ses côtés se rapprochant. Ainsi sa courbure dans une direction produit une diminution de courbure dans la direction qui lui est normalement opposée ; par les alternances de ces mouvements, et à l'aide d'autres moyens, le corps est alternativement comprimé et dilaté, et les ailes sont alternativement élevées et abaissées ¹. »

Chez les libellules, les muscles sont insérés dans les racines des ailes comme chez la chauve-souris et l'oiseau, la seule différence étant que chez ces derniers les muscles se prolongent dans les ailes jusqu'à leurs extrémités.

Toutes les ailes que j'ai examinées, soit d'insectes, de chauves-souris ou d'oiseau, sont ramenées, fléchies vers le corps par l'action de ligaments élastiques, ces tissus par leur simple contraction faisant reprendre aux ailes pleinement étendues et présentant leur maximum de surface, leur position de repos, et le plan de moindre résistance. Le principal effort requis pour le vol semble donc être pendant l'extension et le coup descendant. Les ligaments élastiques sont diversement formés, et le total de la contraction qu'ils subissent est en tous cas exactement adapté à la taille et à la forme des ailes, et la rapidité avec laquelle elles sont mises en mouvement — la contraction étant plus grande chez les oiseaux à courtes ailes et à corps lourd, et moindre chez ceux à corps léger et

¹ Chabrier, interprété par E. F. Bennett F. L. S., etc.

à grandes ailes, particulièrement ceux qui planent ou glissent.

L'action mécanique des ligaments élastiques, j'ai à peine besoin de le remarquer, assure une certaine période de repos aux ailes à chaque coup, et c'est un point de quelque importance, comme montrant que les vols prolongés et laborieux de certains insectes et oiseaux ne sont pas sans intervalles de repos déterminés.

Vitesse acquise par les insectes. — On peut citer un grand nombre d'exemples des merveilleuses facultés de voler que possède la classe des insectes. Le mâle du ver à soie (*Attacus Paphia*) fait, dit-on, plus de cent milles par jour¹; et un écrivain anonyme, dans le Nicholson Journal², calcule que la mouche commune (*Musca domestica*), dans le vol ordinaire, fait 600 coups par seconde, et avance de vingt-cinq pieds, mais que cette vitesse, si l'insecte est alarmé, peut être multipliée par six ou sept, de sorte que, dans certains cas, elle dépasse le cheval de course le plus agile. Toute personne qui a voyagé à cheval un chaud jour d'été a dû être frappée du nuage de mouches qui bourdonne autour des oreilles de son cheval même quand l'animal a son allure la plus rapide; et il n'est pas rare de voir une abeille ou une guêpe s'efforcer d'entrer par la fenêtre d'un chemin de fer à toute vitesse. Si un petit insecte avance beaucoup plus vite qu'un cheval de course, un insecte aussi grand qu'un cheval irait beaucoup plus vite qu'un boulet de canon. Leeuwenhoek raconte une chasse très-intéressante qu'il observa un jour

¹ Linn. Trans. VII, p. 40.

² Vol. III, p. 36.

dans une ménagerie d'à peu près cent pieds de long entre une hirondelle et une libellule (*Mordella*). L'insecte volait avec une vitesse incroyable et tournait avec tant d'adresse que l'hirondelle, malgré tous ses efforts, échoua complètement et ne put ni l'atteindre ni s'en emparer ¹.

Considération des forces qui meuvent les ailes des chauves-souris et des oiseaux. — Le système musculaire des oiseaux a été si fréquemment et si fidèlement décrit que je n'ai besoin d'y revenir que pour dire qu'il y a des muscles qui par leur action sont capables d'élever et d'abaisser les ailes, et de les faire mouvoir en avant, en arrière et obliquement. Ils peuvent aussi étendre ou redresser et ployer ou fléchir les ailes, et les faire tourner dans la direction de leur longueur pendant les coups descendant et ascendant. Les muscles qui contribuent principalement à l'élévation des ailes sont les petits pectoraux ou muscles de la poitrine (*pectorales minor*), ceux qui contribuent surtout à l'abaissement des ailes sont les grands pectoraux (*pectorales major*). Les muscles pectoraux correspondent à la masse charnue qui se trouve sur l'os de la poitrine ou sternum, qui chez les oiseaux volants a une forme de bateau et est munie d'une carène. Ces muscles sont souvent si puissants et si lourds qu'ils dépassent tous les autres muscles du corps. La puissance des oiseaux se concentre ainsi pour mouvoir les ailes et donner de la fermeté

¹ « Le faucon hobereau qui abonde en Bulgarie pendant les mois d'été, attrape de grosses libellules qu'il saisit avec les pieds et dévore pendant qu'il est en l'air. Il tue aussi, quoique plus rarement, des martinets, des alouettes, des tourterelles et des gobe-mouches. » — Fauconnerie dans les Iles Britanniques, par Francis Henry Salvin et William Brodrick. Londres, 1855.

à la masse volante. Chez les forts voiliers, la carène est très-grande pour fournir de larges points d'attache aux muscles qui servent à mouvoir les ailes. Chez les oiseaux qui ne peuvent pas voler, comme les membres de la famille de l'autruche, le sternum ou os de la poitrine n'est pas caréné.

Les remarques faites sur les muscles des oiseaux s'appliquent avec de très-légères modifications à ceux de la chauve-souris. Les muscles des chauves-souris et des oiseaux, particulièrement ceux des ailes, sont engrenés et unis pour l'action aux ligaments ou membranes élastiques que nous allons décrire à présent ¹.

Flaccidité de l'articulation de l'épaule chez les chauves-souris, les oiseaux, etc. — La grande flaccidité de l'articulation de l'épaule chez la chauve-souris et l'oiseau permet aisément à leur corps de tomber en avant pendant le coup ascendant. Cette articulation, comme on l'a déjà dit, permet le mouvement en toute direction de façon que le corps de la chauve-souris et de l'oiseau est comme une boussole sur sa double suspension, c'est-à-dire balance et oscille, et est en équilibre quelle que soit la position de ses ailes. Les mouvements de l'articulation de l'épaule chez l'oiseau, la chauve-souris et l'insecte sont renfermés entre certaines limites par un système de ligaments d'arrêts et de proéminences; mais en chaque cas, l'étendue du mouvement est très-grande, les ailes pouvant se balancer

¹ Une des meilleures descriptions des os et des muscles de l'oiseau est celle que donne M. Macgillivray dans son ouvrage admirable, étendu et intéressant, intitulé Histoire des Oiseaux de la Grande-Bretagne. Londres, 1837.

262 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

en avant, en arrière, en haut, en bas et à tout degré d'obliquité. Elles peuvent aussi tourner le long de leur marge antérieure ou se tordre dans la direction de leur longueur d'un quart de tour environ. Cette grande liberté de mouvements à l'articulation de l'épaule permet à l'insecte, à la chauve-souris, à l'oiseau, de tourner et de se balancer sur deux centres, l'un courant dans la direction de la longueur du corps, l'autre à angle droit ou en travers du corps, c'est-à-dire dans la direction des ailes.

Chez les oiseaux la tête de l'humérus est convexe et quelque peu ovale (pas ronde) le grand axe de l'ovale étant dirigé de haut en bas, c'est-à-dire de la face dorsale à la ventrale de l'oiseau. L'humérus peut donc facilement glisser *en haut et en bas* dans les *facettes* qui se trouvent aux extrémités articulaires des os coracoïdes et scapulaire, à très-peu près comme la tête du radius glisse sur l'extrémité inférieure de l'humérus. Mais l'humérus a un autre mouvement, il se meut comme une charnière d'arrière en avant *et vice versa*. L'axe de ce dernier mouvement est presque à angles droits avec celui du premier. Comme cependant l'épaule est unie au corps par de longs ligaments et peut s'en écarter d'un huitième de pouce au plus, il s'en suit qu'un *troisième mouvement de torsion peut s'accomplir*, la torsion admettant une rotation d'à peu près un quart de tour. Dans l'élévation et l'extension de l'aile préparatoires au coup descendant, il doit se faire deux mouvements opposés, c'est-à-dire un d'avant en arrière et un de bas en haut. Comme cependant les axes de ces mouvements sont à peu près à angles droits l'un par rapport à l'autre, un mouvement spiral ou de torsion est

nécessaire pour aller de l'un à l'autre, — pour tourner le coin.

D'après ce qui a été dit il sera évident que les mouvements de l'aile, particulièrement à la racine, sont remarquablement libres et très-variés. Une force directrice et limitatrice aussi bien qu'une force propulsive est donc nécessaire.

La force guidante se trouvera dans les muscles volontaires qui unissent l'aile au corps chez l'insecte, et qui, chez la chauve-souris et l'oiseau, outre cette jonction de l'aile au corps, s'étendent le long de l'aile même jusqu'à l'extrémité. On la trouve aussi dans les ligaments musculo-élastiques et autres qui se présentent dans les meilleures conditions chez l'oiseau.

L'aile fléchie et en partie élevée par l'action des ligaments élastiques, — Nature et position de ces ligaments chez le faisan, la bécassine, la grue à crête, le cygne, etc. — Quand on écarte à la main l'aile du corps d'un oiseau, la marge postérieure de l'aile formée par les ailes primaires, secondaires, tertiaires, descend en formant avec l'horizon diverses surfaces inclinées (*c b*, de la fig. 63, p. 191). Quand cependant on retire la main, même chez l'oiseau mort l'aile se replie instantanément; et en le faisant elle réduit le montant de l'inclinaison des diverses surfaces en question (*c b, d e f* de la même figure). L'aile est ployée par l'action de certains ligaments élastiques qui sont allongés pendant l'extension, et reprennent leur position originale pendant la flexion (fig. 98, p. 249). Cette simple expérience montre que les diverses surfaces inclinées requises pour le vol, sont produites par les simples actes de flexion

et d'extension chez les oiseaux morts. Il ne faut cependant pas conclure de ce fait que le vol peut, plus que la marche ordinaire, avoir lieu sans mouvements volontaires. Les plumes, os, ligaments, etc., sont ajustés de telle sorte l'un par rapport à l'autre, que si les ailes se meuvent le moins du monde elles doivent le faire dans la direction convenable — disposition qui permet à l'oiseau de voler sans y penser, juste comme nous pouvons marcher sans y penser. Il ne peut cependant y avoir de doute que l'oiseau ait le pouvoir de contrôler ses ailes pendant les coups ascendant et descendant ; car comment autrement pourrait-il fixer et diriger sa course avec une telle précision quand il cherche sa nourriture ? Comment fixer ses ailes au niveau et au-dessus du corps pour planer ? Comment voler en courbe ? comment voler avec, contre la brise, ou à travers ? comment se projeter d'un roc directement dans l'espace, ou comment s'élever d'une surface de niveau par l'habile action de ses ailes.

L'aile de l'oiseau s'élève dans une certaine mesure, pendant le vol par la réaction de l'air sur sa surface inférieure, mais elle est aussi élevée par l'action musculaire — par la contraction des ligaments élastiques, et par la chute du corps en avant, selon une courbe.

La preuve que l'action musculaire est nécessaire, c'est que l'aile est munie de deux muscles éleveurs distincts ¹. C'est, en outre, que l'oiseau peut, et il le peut

¹ M. Macgillivray et C. J. L. Krarup, auteur danois, disent que l'aile s'élève par une force vitale, c'est-à-dire par la contraction du petit pectoral. Ce muscle, suivant Krarup, agit avec la huitième partie de l'intensité du grand pectoral (abaisseur de l'aile). Il base son affirmation, sur ce fait que chez le pigeon le muscle pectoral

toujours, élever ses ailes avant de voler, tout à fait indépendamment de l'air.

Quand l'oiseau est convenablement lancé dans l'espace, les muscles éleveurs sont aidés par la tendance qu'a le corps à tomber en avant, par la réaction de l'air, et par la contraction des ligaments élastiques. L'air et les ligaments élastiques contribuent à l'élévation de l'aile, mais tous deux sont évidemment soumis au contrôle — ils forment en effet une chaîne de mouvement qui commence et finit à la fois dans le système musculaire.

Il est évident que les ligaments sont subsidiaires et jusqu'à un certain point sous le contrôle du système musculaire, dans le même sens que l'air l'est à cause de ce fait que les fibres musculaires pénètrent les ligaments en question en divers points (*a b* de la figure 98, p. 249). Les ligaments et les fibres musculaires agissent d'accord et replient ou fléchissent le bras et l'avant-bras. Il y en a d'autres qui fléchissent la main sur l'avant-bras. D'autres rapprochent les ailes du corps.

Les ligaments élastiques, tout en occupant une position analogue dans les ailes de tous les oiseaux, sont diversement construits et diversement combinés avec les muscles volontaires dans les différentes espèces.

Les ligaments élastiques présentent de plus grandes

ou éleveur de l'aile pèse un huitième d'once, tandis que le grand pectoral ou abaisseur de l'aile pèse sept huitièmes d'once. Il faut cependant se mettre dans l'esprit que le volume d'un muscle ne détermine pas nécessairement l'influence précise exercée par son action ; car le tendon du muscle peut agir sur un long levier et dans des conditions favorables pour développer sa force, tandis que l'autre muscle peut agir sur un court levier, et par suite dans des conditions défavorables. — Sur le vol des oiseaux, p. 30. Copenhague, 1869.

différences dans les ailes qui vibrent rapidement. — Les ligaments élastiques du cygne sont plus compliqués et mélangés plus libéralement de muscles volontaires que ceux de la grue, et, on ne peut en douter, grâce au fait que les ailes du cygne sont menées avec une vitesse inférieure à celle de la grue. Chez la bécassine, les ailes sont mises en vibration avec une beaucoup plus grande rapidité que chez le cygne, et en conséquence nous trouvons que les bandes fibro-élastiques sont non-seulement augmentées, mais qu'elles sont aussi engrenées à un beaucoup plus grand nombre de muscles volontaires, toutes choses qui semblent prouver que les appareils musculo-élastiques employés pour ramener ou fléchir les ailes vers la fin du coup descendant présentent de plus en plus de différence, à mesure qu'augmente la rapidité avec laquelle elle se meut ¹.

La raison en est évidente. Si l'aile doit s'agiter avec une plus haute vitesse, elle doit comme conséquence être plus rapidement fléchie et étendue. La rapidité avec laquelle l'aile de l'oiseau s'étend et se fléchit, est dans quelques cas excessivement grande; si grande, en effet, qu'elle échappe à l'œil de l'observateur ordinaire. La vitesse avec laquelle l'aile s'élance dans la flexion et l'extension, serait tout à fait inexplicable sans la connaissance du fait que les diverses portions de l'aile forment entre elles des angles qui diminuent ou augmentent instantanément par le plus léger frémissement des systèmes musculaires et fibro-élastiques. Si nous tenons compte du fait

¹ Une description soignée des tissus musculo-élastiques qui se trouvent dans l'aile du pigeon est donnée par M. Macgillivray dans son *Histoire des Oiseaux de la Grande-Bretagne*, p. 37 et 38.

que l'aile de l'oiseau est ramenée ou fléchie par l'action combinée des muscles volontaires et des ligaments élastiques; qu'elle est élevée en grande partie par l'effort musculaire; et qu'elle est étendue ou abaissée entièrement par l'effort musculaire; nous éviterons difficilement la conclusion que l'aile est complètement sous le contrôle du système musculaire, non-seulement dans la flexion et l'extension, mais pendant toute la durée des coups ascendant et descendant.

Une disposition à tous égards analogue à celle décrite chez l'oiseau se trouve dans l'aile de la chauve-souris, la couverture ou membrane de l'aile formant en ce cas le principal ligament élastique (fig. 17, p. 51).

Puissance de l'aile — à quoi elle est due. — La forme et la puissance de l'aile dépendent de trois circonstances : de la longueur de l'humérus ¹, de la longueur du cubitus ou de l'avant-bras, et de la longueur des plumes primaires. Chez l'hirondelle, l'humérus, et chez le colibri, le cubitus sont très-courts, et les plumes primaires sont très-longues; tandis que chez l'albatros, l'humérus ou os du bras est long, et les primaires courtes.

Quand une de ces conditions est remplie, l'aile est extraordinairement allongée et en forme de faux (fig. 62, p. 190) — disposition qui permet à l'oiseau de se tenir sur ses ailes pendant d'immenses périodes avec comparative-

¹ « L'humérus varie entièrement dans sa longueur; il est très-court chez les hirondelles, de longueur modérée chez les gallinacés, plus long chez les corneilles, très-long chez les mouettes et extraordinairement long chez l'albatros. Chez l'aigle doré il se trouve aussi d'une grande longueur ». — Macgillivray, Oiseaux de la Grande-Bretagne, vol. 1, p. 30.

ment peu d'effort, et de rouler, de tourner, de glisser avec facilité et avec grâce. Quand l'aile a une forme tronquée, arrondie (fig. 96, p. 242), qui est ordinairement associée à un corps lourd comme dans la grive, la caille, le plongeon et le grèbe, l'effort musculaire produit et la rapidité avec laquelle l'aile se meut sont très-grands. Ces oiseaux manquent de facilité pour tourner et volent en lignes droites ou font de grandes courbes. De plus, ils s'élèvent avec difficulté, et reviennent à terre un peu maladroitement et lourdement. Leur vol cependant est parfait quand il dure.

L'oie, le canard (fig. 107, p. 280), le pigeon (fig. 106, p. 279) et la corneille sont intermédiaires sous le rapport de la forme de l'aile et de la rapidité avec laquelle elle se meut.

Le héron (fig. 60, p. 175) et le colibri fournissent des exemples dans un autre sens, — le héron ayant de grandes ailes avec un mouvement lent, le colibri une aile comparativement grande avec un mouvement très-accélééré.

Mais je n'ai pas besoin de multiplier ces exemples; qu'il suffise de dire que le vol peut être atteint entre certaines limites par toute dimension et toute forme d'aile, si le nombre des oscillations s'accroît en proportion du poids à élever.

Raisons pour lesquelles le coup effectif doit être donné en bas et en avant. — Les ailes des oiseaux, quelle que soit leur forme, agissent en présentant alternativement à l'air des surfaces obliques et d'autres comparativement non obliques, — la simple extension de l'aile, comme on l'a montré, faisant que les plumes primaires, secondaires et tertiaires s'inclinent jusqu'à ce qu'elles fassent un angle de 30 degrés ou à peu près avec l'horizon, afin de

se préparer à donner le coup effectif qui est frappé avec grande rapidité et énergie *en bas et en avant*. Je répète « en bas et en avant; » car un examen attentif des rapports de l'aile chez les oiseaux morts, et une observation précise de son action pendant la vie, accompagnés d'un grand nombre d'expériences sur les ailes naturelles et artificielles, m'ont pleinement convaincu que le coup est invariablement donné dans cette direction ¹.

¹ *Opinions dominantes sur la direction du corps descendant.* — M. Macgillivray, dans son Histoire des Oiseaux de la Grande-Bretagne, publiée en 1837, dit (p. 34) que pendant la flexion, l'aile est menée en haut, en avant et en dedans, mais que pendant l'extension, pour donner le coup efficace, elle frappe en dehors, en bas et *en arrière*. Le duc d'Argyle est de la même opinion : en parlant du vol des oiseaux, il dit que si un oiseau déplaçant l'axe de son corps peut diriger son aile quelque peu *en avant*, cela aura pour effet *d'arrêter* au lieu d'entretenir la progression; » et que, « excepté pour suspendre leur vol, les oiseaux ne frappent jamais que *directement de haut en bas* — c'est-à-dire directement contre la force opposée de la pesanteur. » — Good Words, février 1865, p. 132.

M. Bishop, dans l'Encyc. d'An. et de Phys., vol. III, p. 425, dit : « Comme conséquence de ce que les plans des ailes sont dirigés *perpendiculairement* ou *obliquement en arrière* à la direction de leur mouvement, une impulsion correspondante est donnée à leur centre de gravité ».

Le professeur Owen, de la même manière, affirme que « un coup de haut en bas tendrait seulement à élever l'oiseau en l'air; pour le faire avancer les ailes doivent être mues suivant un plan oblique de manière à *frapper en arrière* aussi bien qu'en bas ». — Anat. et Phy. comp. des Vertébrés, vol. II, p. 115.

Voici ce que dit M. E. Liais : — Quand un oiseau est sur le point d'abaisser l'aile, celle-ci est légèrement inclinée d'avant en arrière. Quand le mouvement de descente commence, l'aile ne descend pas parallèlement à elle-même d'avant en arrière; mais le mouvement est accompagné par une rotation de plusieurs degrés autour de la marge antérieure, de façon que l'aile présente la face antérieure plus que la postérieure, et que le *mouvement descendant se transmet de plus en plus en arrière*.... Quand l'aile est complètement descendue, elle est à la fois plus en arrière et plus bas qu'au commencement du mouvement. » — « Sur le mouvement des oiseaux et des insectes, » Annales des Sc. nat., vol. xv, 3^e série, p. 156.

Si l'aile ne frappait pas en bas et en *avant*, elle agirait avec un désavantage manifeste :

1. Parce qu'elle présenterait la surface postérieure ou convexe à l'air, — une surface convexe dispersant ou faisant diverger l'air, tandis qu'une surface concave le réunit et le fait converger.

2. Afin de frapper efficacement en arrière, la concavité de l'aile devrait aussi être tournée en arrière; et cela impliquerait l'abaissement de la marge antérieure ou épaisse, et l'élévation de la postérieure ou mince pendant le coup descendant, ce qui n'a jamais lieu.

3. La pression à laquelle l'aile est soumise pendant le vol, si l'aile frappait en arrière, ne porterait pas sur la marge antérieure ou forte de l'aile formée par les os et les muscles, mais sur la marge postérieure ou mince, formée par les extrémités des plumes primaires, secondaires et tertiaires, — ce qui n'est pas d'accord avec la structure des parties.

4. Les plumes de l'aile au lieu d'être closes, comme elles le sont nécessairement, par un mouvement en bas et en avant, seraient inévitablement entr'ouvertes et l'intégrité de l'aile diminuée par un mouvement en bas et en arrière.

5. La disposition des surfaces articulaires de l'aile, particulièrement celle de l'épaule, est de nature à faciliter le mouvement en bas et *en avant*, tandis qu'elle empêche en grande partie le mouvement en bas et en *arrière*.

6. *Enfin* si l'aile frappait réellement en bas et en arrière, on produirait assurément un résultat tout à fait inverse de celui qu'on désire, car une surface oblique qui

heurte l'air dans une direction en bas et en arrière (si on l'abandonne à elle-même), tendra à abaisser le corps qui la porte. Cela se prouve par l'action sur l'air de plans inclinés, libres, disposés en forme d'hélice.

L'aile agit comme élévateur, propulseur et support à la fois pendant l'extension et la flexion. — L'aile, comme on l'a expliqué, est ramenée ou retirée du vent principalement par la contraction des ligaments élastiques s'étendant entre les articulations, de sorte que, pendant la flexion, l'aile jouit d'un certain degré de repos. Le temps occupé à ramener n'est pas perdu tant que l'aile fait un angle avec l'horizon, et que l'oiseau est en mouvement, et il importe peu que l'aile agisse sur l'air, ou que l'air agisse sur l'aile tant que le corps qui porte celle-ci est lancé; et c'est la principale raison pour laquelle l'albatros, qui est un oiseau si pesant ¹, peut planer sans battre le moins du monde les ailes pendant d'aussi incroyables périodes. Le capitaine Hutton décrit ainsi d'une manière saisissante le vol de ce magnifique oiseau : — « Le vol de l'albatros est véritablement majestueux, quand il plane au-dessus de la surface de la mer, les ailes étendues et sans mouvement, — tantôt s'élevant au haut des airs, tantôt d'un coup hardi, et les ailes inclinées sur l'horizon, descendant jusqu'à ce que leur extrémité la plus basse effleure à peine la crête des vagues au-dessus desquelles il plane ². »

¹ Le poids moyen de l'albatros donné par Gould est 17 livres. — Ibis, 2^e série, vol. I, 1865, p. 295.

² Sur quelques oiseaux habitant l'Océan austral, par le capitaine F. W. Hutton. — Ibis. 3^e série, vol. I, 1865, p. 282.

272 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

Vol des oiseaux divisible en quatre espèces :

1. Celui des oiseaux à corps lourds, à ailes courtes qui ont un mouvement rapide (fig. 59, p. 175).
2. Celui des oiseaux à corps léger et grandes ailes, qui volent à loisir (fig. 60, p. 175; fig. 103, p. 255).
3. Celui des oiseaux à corps lourds et à ailes longues et étroites, ayant un mouvement décidément lent (fig. 105, p. 275).
4. Celui des intermédiaires, sous le rapport de la taille du corps, des dimensions de l'aile et de l'énergie avec laquelle elle est menée (fig. 102, p. 252; fig. 106, p. 279; fig. 107, p. 280).

Ils peuvent être subdivisés en ceux qui flottent, glissent ou planent, et ceux qui volent en ligne droite et irrégulièrement.

Le faisan, la perdrix (fig. 59, p. 175), la grive et la caille fournissent de bons exemples des oiseaux à corps lourds et à courtes ailes. Chez ceux-ci l'aile est arrondie et fortement concave. Elle est de plus menée avec une vélocité et une puissance immenses.

Le héron (fig. 60, p. 175), la mouette de mer (fig. 103,



FIG. 104. — La chouette du Cap (*Strix capensis*, Smith) en plein vol, chassant. La surface inférieure et le corps ont une inclinaison légèrement ascendante et agissant sur l'air à la manière d'un cerf-volant. Comparez à la fig. 59, p. 175, et 102, p. 252. — Originale.

p. 255), l'engoulevent (fig. 63, p. 191) et le hibou (fig. 104) fournissent des exemples de la seconde classe, où l'aile par rapport au corps est très-grande, et est par con-

séquent menée plus à loisir et avec moins d'énergie.

L'albatros (fig. 105, p. 275) et le pélican présentent des exemples de la troisième classe, embrassant les oiseaux à corps lourds et à longues ailes.

Le canard (fig. 107, p. 280), le pigeon (fig. 106, p. 279), la corneille et la grive, sont intermédiaires à la fois quant à la taille de l'aile et à la rapidité avec laquelle elle est mise en oscillation. Ils constituent la quatrième classe.

L'albatros (fig. 105, p. 275), l'hirondelle, l'aigle et le faucon fournissent des exemples d'oiseaux voiliers ou planeurs, où l'aile est ample, allongée, et plus ou moins pointue et où l'on prend avantage du poids du corps et de la force de l'aile pour utiliser l'air comme milieu soutenant. Chez ceux-ci l'aile agit comme un long levier¹, et

¹ Avantages possédés par les longues ailes. — Les ailes longues et étroites sont plus effectives comme élévateurs et propulseurs, à cause de ce fait (indiqué par M. Wenham), qu'à de grandes vitesses avec des incidences très-obliques, l'effet de support se transmet au bord antérieur de l'aile. C'est dans ce sens que « la surface propulsive efficace d'une hélice à deux lames est le total de son cercle entier de révolution. » Un principe semblable fut annoncé par Sir George Cayley il y a plus de cinquante ans. « *Quand elle fait des angles très-aigus avec le courant, il paraît que le centre de résistance de la voile ne coïncide pas avec le centre de sa surface, mais est considérablement en avant. Quand l'obliquité du courant décroît, ces centres se rapprochent, et coïncident quand le courant devient perpendiculaire au plan ; de là, toute déviation de la machine en avant ou en arrière déplace le centre de support en avant ou en arrière du point de suspension.* » — Journal de Nicholson, vol. xxv, p. 83. Quand la vitesse de l'oiseau est grandement accélérée, et que la couche d'air franchie pendant un temps donné s'accroît énormément, le soutien présenté par l'air aux plans inclinés formés par les ailes est également augmenté. La preuve en est dans le vol rapide des oiseaux voiliers ou planeurs, quand les ailes se meuvent à longs intervalles et tout à fait à loisir. Le même principe assure le patin qui glisse avec impétuosité sur de la glace trop peu épaisse, et la mince pierre plate projetée le long de la surface d'une eau tranquille. La vitesse du mouvement empêche dans les deux cas de plonger, en ne donnant pas aux particules qui soutiennent le temps de se séparer.

274 PROGRESSION DANS OU A TRAVERS L'AIR

est menée avec une grande précision et une grande puissance particulièrement à l'épaule.

Le vol de l'albatros comparé au mouvement d'une boussole sur sa double suspension. — Un examen attentif des mouvements des oiseaux planeurs m'a conduit à conclure que par une judicieuse torsion ou action en hélice des ailes à l'épaule, pendant laquelle les ailes sont alternativement rapprochées et éloignées de la tête d'une manière analogue à ce qui a lieu aux hanches quand on patine sans lever les pieds, des oiseaux de cette espèce peuvent non-seulement conserver le mouvement qu'ils ont créé par quelques coups énergiques, mais, s'il est nécessaire, l'accroître effectivement, et cela sans courber l'aile ou battre l'air.

L'action en hélice, en avant et en arrière dont nous parlons, ne trouble en aucune manière la rotation de l'aile sur son grand axe, l'aile étant alternativement avancée et vissée dans le vent, puis retirée et dévissée. Comme les mouvements décrits permettent à l'oiseau d'incliner son corps d'avant en arrière, ou inversement et d'un côté à l'autre ou latéralement, on peut le représenter comme oscillant sur l'un des deux centres comme on le voit fig. 105; l'un correspondant au grand axe du corps (fig. 105, *ab*), l'autre au grand axe des ailes (*cd*). Entre ces deux extrêmes, toute variété de mouvement, de glissement ou de planement, possible à la boussole de marine posée sur une double suspension, peut être exécutée; de sorte qu'un oiseau planeur ou voilier peut être considéré comme possédant un parfait commandement sur lui-même et sur l'élément dans lequel il se meut.

Le capitaine Hutton dit les remarquables paroles suivantes à propos de l'albatros : — J'ai parfois observé de près un de ces oiseaux planant et tournant en toutes directions pendant plus d'une heure sans voir le plus léger

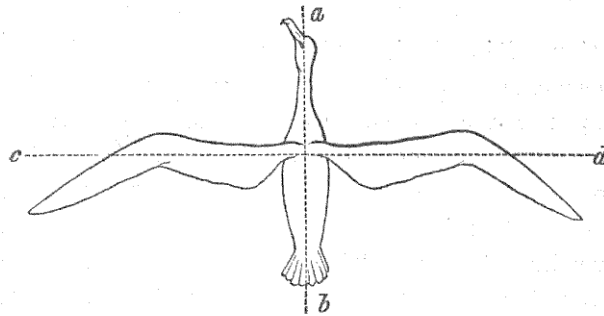


FIG. 103.

mouvement des ailes, et je n'ai jamais rien vu de comparable à l'aisance et à la grâce de cet oiseau lorsqu'il traverse l'espace, souvent à la distance de quelques yards, toutes les parties de son corps parfaitement immobiles, excepté la tête et l'œil qui tournent lentement et semblent prendre note de toute chose ¹.

Son âme paraissait tranquille et flottait lentement ; dans son mouvement même elle était en repos ².

Comme antithèse aux ailes en apparence sans vie de l'albatros, on peut présenter l'incessante activité de celles de l'oiseau-mouche. Chez ces oiseaux d'une beauté et d'une délicatesse exquis, les ailes, selon M. Gould, se meuvent avec tant de rapidité, quand l'oiseau est tenu en

¹ « Sur quelques oiseaux habitant les mers du Sud ». — Ibis, 2^e série, vol. I, 1865.

² Sonnet du professeur Wilson : « Un nuage, » etc.

équilibre devant un objet, qu'il est impossible à l'œil de suivre chaque coup, et qu'un cercle brumeux de chaque côté de l'oiseau est tout ce qu'on peut apercevoir. Quand le colibri vole dans une direction horizontale, il va parfois avec une vitesse qui élude complètement l'observation.

Régularité et irrégularité du vol. — La foulque, le plongeon, le canard et l'oie volent avec une grande rapidité et à peu près en droite ligne, et avec une immense vitesse; ils glissent ou planent rarement, si jamais, leurs ailes étant trop petites pour cet objet. Le pivert, la pie, la litorne et le moineau fournissent des exemples de ce que l'on appelle le vol irrégulier. Ceux-ci, comme on le sait, volent en courbes d'une plus ou moins grande étendue tantôt donnant de vigoureux coups, tantôt les suspendant, ce qui a pour effet de les projeter le long d'une série de courbes paraboliques. La bécassine et le coq de bruyère ont un autre genre d'irrégularité : leur vol est soudain, saccadé et d'un côté à l'autre.

Manière de monter, de descendre, de tourner, etc. — Tous les oiseaux qui, comme l'hirondelle et les oiseaux-mouches, ne se précipitent pas d'une hauteur, s'élèvent d'abord par un saut vigoureux, pendant lequel ils inclinent leur corps dans une direction ascendante, la hauteur atteinte leur permettant d'étendre et d'abaisser leurs ailes sans endommager leurs plumes. Par quelques battements exécutés en bas et en avant, pendant lesquels les ailes se rencontrent presque au-dessus et au-dessous du corps, ils s'élèvent en haut et en avant et dans un temps d'une brièveté surprenante ils acquièrent un degré de momentum qui les aide notablement dans leur voyage ultérieur. En

s'élevant du sol, comme on le voit aisément chez la corneille, le pigeon et le martin-pêcheur (fig. 102, p. 252) la queue est épanouie et le cou tendu, de façon que le corps se convertit en plan incliné et agit mécaniquement comme un cerf-volant. Le centre de gravité et la position du corps se changent à la volonté de l'oiseau par les mouvements du cou, des pieds et de la queue et en augmentant ou diminuant les angles que la surface inférieure des ailes fait avec l'horizon. Quand un oiseau veut voler dans une direction horizontale, il fait faire à la surface de ses ailes un léger angle *en avant* avec l'horizon. S'il veut monter cet angle s'accroît; s'il veut descendre, il fait faire à la surface inférieure de ses ailes un angle légèrement *en arrière* avec l'horizon. Quand un oiseau vole vers le haut, ses ailes frappent en bas et *en avant*. Quand il vole vers le bas, ses ailes frappent en bas et en arrière. Quand une hauteur suffisante est atteinte, la longueur du coup descendant est ordinairement diminuée, la simple extension et la flexion de l'aile aidées par le poids du corps suffisant en de tels cas. C'est spécialement le cas si l'oiseau avance contre une brise légère, l'effort voulu dans ces circonstances n'existant au total que de nom. La faible dépense de pouvoir est prouvée par les détours sans fin des freux et des autres oiseaux qui les continuent pendant des heures. Chez les oiseaux qui glissent ou planent, il me semble que l'aile est ramenée beaucoup plus vite et le coup descendant donné plus lentement que dans le vol ordinaire — en fait, que la rapidité avec laquelle l'aile agit habituellement pendant la montée et la descente est dans quelques cas renversée; et c'est ce à quoi nous devons naturellement nous attendre, si nous nous rappelons que pour planer

les ailes doivent être étendues pendant la plus grande partie du temps. Si cette observation est correcte, il s'en suit que les oiseaux ont le pouvoir de modifier à leur gré l'adurée des coups ascendant et descendant. Quoique l'aile de l'oiseau frappe ordinairement l'air sous un angle qui varie de 15 à 30 degrés, cet angle peut s'accroître au point de renverser la position de l'oiseau. Le pigeon culbutant par exemple peut en poussant ses ailes en avant et rejetant brusquement sa tête en arrière, faire une cabriole. Quand les oiseaux sont convenablement sur leurs ailes, l'air, à moins qu'il ne soit agité par une tempête, reste complètement sous leur contrôle. Ceci provient de ce qu'ils ont un plus grand poids spécifique et un mouvement indépendant. S'ils veulent tourner, ils n'ont simplement qu'à incliner latéralement leur corps, comme s'incline un chemin de fer qui tourne ¹, ou à accroître le nombre des battements donnés par l'une des ailes par rapport à l'autre ; ou de garder une aile étendue pendant que l'autre est en partie fléchie. Le cou, les pieds et la queue peuvent ou non contribuer à ce résultat. Si l'oiseau veut s'élever, il incline tout son corps (avec la participation du cou et de la queue) dans une direction ascendante (fig. 59, p. 175, fig. 102, p. 252) ; ou il s'élève principalement par l'action des ailes et des efforts musculaires, comme il arrive pour l'alouette. L'oiseau peut également de cette manière con-

¹ « Si l'albatros veut tourner à droite il relève légèrement la tête et la queue, en même temps que le côté et l'aile gauches, et abaisse le droit en proportion avec l'accentuation de la courbe qu'il veut suivre, les ailes restant pendant ce temps tout à fait rigides. Il fait cela dans une telle étendue que souvent ses ailes sont dirigées presque perpendiculairement à la mer ; et cette position des ailes plus ou moins inclinée sur l'horizon se voit toujours et seulement quand l'oiseau tourne ». — Sur quelques oiseaux habitant les mers du Sud. » *Ibis*, 2^e série, vol. I, 1865, p. 227.

server sa position dans l'air, comme on le voit quand le faucon voltige au-dessus de sa proie. Si l'oiseau veut descendre, il peut renverser le plan incliné formé par le corps et les ailes, et plonger la tête en avant et les ailes étendues (fig. 106), ou bien fléchir les ailes, et ainsi accé-

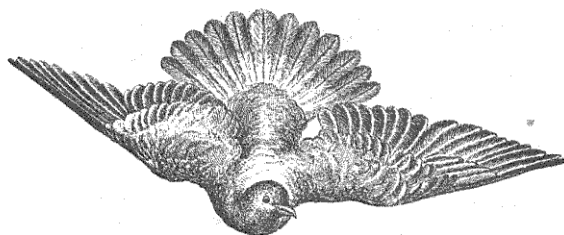


FIG. 106. — Le Pigeon (*Treron bicincta*, Jerdon), volant vers le bas et tournant avant de toucher terre. Le pigeon étend la queue en montant et en descendant — Originale.

lérer sa vitesse, ou encore étendre les ailes et tomber à la façon d'un parachute (fig. 55, p. 155; *gg* de la fig. 82, p. 218); ou même enfin voler dans une direction descendante — quelques coups brusques, une courbe plus ou moins abrupte, et un certain degré de mouvement horizontal étant en tout cas nécessaires pour rompre la chute avant d'arriver à terre (fig. 107). Les oiseaux qui pêchent en volant comme l'orfraie et le fou, se précipitent de hauteurs incroyables et tombent dans l'eau avec la rapidité d'une météorite — le momentum qu'ils acquièrent pendant la descente les aidant naturellement dans leur vol sub-aquatique. Ils émergent et de nouveau sont sur l'aile, avant qu'aient disparu les ronds formés par leur descente précipitée, dans quelques cas s'élevant en apparence sans efforts, dans d'autres, courant à la surface de l'eau et la battant pendant une courte période de leurs pieds et de leurs ailes.

Le vol des oiseaux peut se rapporter à l'effort musculaire et au poids. — Les mouvements variés exécutés pour monter, descendre, tourner, planer, et progresser

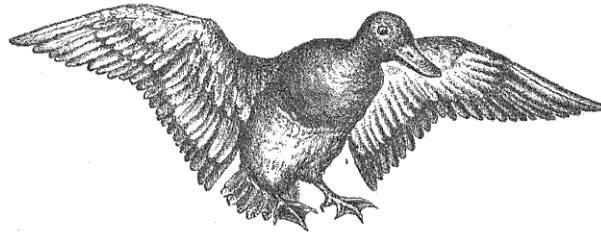


FIG. 107. — Le Pochard à tête rouge (*Fuligula ferina*, Lin.) en train de se jeter à l'eau ; la tête et le corps ont une inclinaison ascendante en avant, les pieds sont étalés, et les ailes donnent des coups forts et vigoureux en bas et en avant. — Originale.

horizontalement, sont tous, les résultats de la puissance musculaire et du poids, convenablement dirigés et agissant sur des surfaces appropriées — la faculté apparente de se soutenir en l'air qu'ont les oiseaux, et que nous estimons si fort, provenant non d'une légèreté supérieure, mais de ce qu'ils possèdent ce degré de solidité qui leur permet de dominer l'air — le poids et le mouvement indépendant, c'est-à-dire, le mouvement associé à la vie animale ou ce qui lui est équivalent, étant deux choses indispensables au succès de la progression aérienne. Le poids chez les insectes et les oiseaux est dû, en grande partie, au grand développement de leur système musculaire, celui-ci se trouvant en cet état délicat de tonicité qui leur permet d'agir par son moyen avec une dextérité et une puissance merveilleuses, et de dépenser, ou de réserver leur énergie, ce qu'ils peuvent faire avec la plus parfaite exactitude dans leur vol en apparence interminable.

Puissance élévatoire des oiseaux. — La puissance musculaire des oiseaux est ordinairement en grand excès, particulièrement chez les oiseaux de proie, comme par exemple les condors, les aigles, les faucons et les hiboux. Les aigles sont remarquables à cet égard — on sait qu'ils enlèvent de jeunes biches, des agneaux, des lapins, des lièvres, et, c'est avéré, même de jeunes enfants. Beaucoup d'oiseaux pêcheurs, comme les pélicans et les hérons, peuvent de même porter des charges considérables de poisson¹; et même des oiseaux plus petits, comme on le revoit au printemps, peuvent transporter, pour bâtir, des brindilles relativement grandes. J'ai moi-même vu un hibou qui pesait un peu plus de 10 onces, enlever 2 1/2 onces ou un quart de son poids, sans efforts, après avoir jeûné vingt-quatre heures; et un de mes amis m'informe qu'on a tué, il y a peu de temps, à Littlehampton, sur la côte de Sussex, une splendide orfraie ayant un poisson de 5 livres au bec.

Il y a bien des points dans l'histoire et les mœurs des oiseaux qui méritent notre sympathie et attirent notre admiration. Leur indubitable courage et leurs merveilleuses facultés de voler les revêtent d'une dignité supérieure, et leur assurent, pour ainsi dire, une double existence. L'hirondelle si frêle, si minime qu'elle paraisse, peut traverser 1000 milles en un seul voyage; et l'albatros, dédaignant boussole et frontières, se confie hardiment pendant des semaines à la merci, à la furie du puissant océan. Le gigantesque condor des Andes s'élève, par sa souveraine volonté, à des hauteurs où aucun bruit ne s'entend plus,

¹ Le héron a l'habitude, quand il est poursuivi par le faucon, de dégorger les produits de sa récolte, afin de diminuer son poids.

sauf les sons aériens de ses vastes ailes, et d'un point invisible relève dans une solitaire grandeur l'immense étendue des plaines et des prairies¹; tandis que l'aigle chauve nullement épouvanté du fracas et de l'indescriptible confusion de la reine des cataractes, l'effroyable Niagara, se pose avec calme sur son aire vertigineuse, jusqu'à ce que son penchant ou son caprice le fasse plonger au milieu, ou s'élever au-dessus du brouillard humide et sans forme qui de tous côtés s'élève perpétuellement des eaux frémissantes de la chaudière inférieure.

¹ Le condor, en quelques cas, atteint une hauteur de six milles.

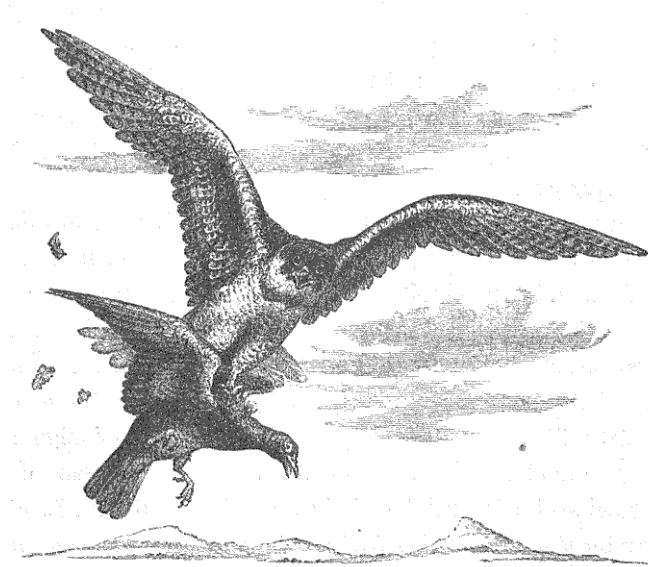


FIG. 408. — Faucon et sa proie. — D'après le *Graphique*.

LIVRE V

AÉRONAUTIQUE

Le sujet du vol artificiel, malgré la grande part d'attention qu'on lui a accordé, a été spécialement vide de résultat. C'est d'autant plus à regretter que l'intérêt que l'on y a pris depuis les premiers temps de la Grèce et de Rome, a été universel. On peut attribuer l'état peu satisfaisant de la question à un grand nombre de causes dont les principales sont :

- 1° L'extrême difficulté du problème ;
- 2° L'incapacité ou les tendances théoriques de ceux qui se sont consacrés à son élucidation ;
- 3° La grande rapidité avec laquelle les ailes, spécialement celles des insectes, sont mises en vibration, et la difficulté que l'on trouve à analyser leurs mouvements ;
- 4° Le poids de tous les êtres volants comparés à celui d'un égal volume d'air ;
- 5° La découverte des ballons, qui a retardé la science de l'aérostation en fourvoyant les esprits, et en faisant

chercher la solution du problème dans une machine plus légère que l'air, qui n'a pas d'analogue dans la nature.

Le vol a été extraordinairement malheureux quant à ceux qui s'y sont dévoués. Il a été médité d'une part par de profonds penseurs, spécialement des mathématiciens, qui ont fabriqué d'innombrables théorèmes, mais qui ne les ont jamais soumis à l'épreuve de l'expérience ; d'autre part, par des charlatans ignorants qui, méprisant les abstractions de la science, ont fait les plus ridicules essais d'une solution pratique du problème.

Sur la question du vol, existent en ce moment deux opinions principales, représentées par deux grandes sectes ou écoles :

1^o Les ballonistes ou ceux qui plaident pour l'emploi d'une machine spécifiquement plus légère que l'air ;

2^o Ceux qui croient que le poids est nécessaire au vol. La seconde école peut se subdiviser en deux :

(a) Ceux qui plaident pour l'emploi de plans rigides inclinés poussés en avant en droite ligne, ou des plans tournants (hélices aériennes) ; et (b) ceux qui ont confiance pour l'élévation et la propulsion dans le battement vertical des ailes.

Ballon. — Le ballon, comme le savent mes lecteurs, est construit d'après ce principe évident qu'une machine spécifiquement plus légère que l'air doit nécessairement s'y élever. Les frères Montgolfier ont inventé cette machine en 1782. Leur ballon consistait en un globe ou cylindre de papier, le moteur étant de l'air chauffé fourni par la combustion d'esprit-de-vin placé au-dessous. La montgolfière ou ballon à feu, comme on l'appela, fut rem-

placée par le ballon à gaz hydrogène de MM. Charles et Robert, qui fut à son tour supplanté par le ballon à gaz ordinaire de M. Green. Depuis l'introduction du gaz de la houille à la place du gaz hydrogène, on n'a effectué aucune amélioration radicale, tous les essais faits pour diriger les ballons ayant échoué d'une manière éclatante. Ceci provient de la vaste étendue qu'ils offrent nécessairement, et qui en fait une conquête facile pour la moindre brise qui souffle, et de ce que le pouvoir qui les anime n'est qu'une force élévatrice, qui en l'absence de vent doit nécessairement agir en ligne verticale. Le ballon s'élève donc en l'air en opposition aux lois de la pesanteur, exactement comme un oiseau mort tombe, d'accord avec elles. N'ayant pas de prise sur l'air, il ne peut l'employer comme levier pour régler ses mouvements et de là la difficulté fondamentale de l'art du ballon.

Trouvant qu'aucun perfectionnement marqué n'avait été fait au ballon depuis son introduction (1782), les penseurs les plus avancés ont, dans ce dernier quart de siècle, tourné leur attention dans un sens opposé, et en sont venus à regarder les êtres volants qui sont tous plus lourds que l'air comme les véritables modèles des machines volantes. On attaque plus facilement une vieille doctrine qu'on ne la déracine ; aussi trouvons-nous que l'on oppose aux disciples de la foi nouvelle l'assertion que les insectes et les oiseaux ont à l'intérieur de grandes cavités à air, que ces cavités contiennent de l'air chauffé et que cet air chauffé contribue au vol de quelque mystérieuse manière, s'il ne le produit effectivement lui-même. Il ne pouvait y avoir d'argument plus trompeur. Beaucoup de voiliers admirables, comme les chauve-souris, n'ont pas de cellules à air ;

tandis que beaucoup d'oiseaux, l'aptéryx par exemple, et plusieurs animaux qui ne volent jamais, comme l'orang-outan et un grand nombre de poissons, en sont munis. On peut donc conclure raisonnablement que le vol peut parfaitement s'accomplir en leur absence.

Le plan incliné. — L'école moderne du vol est à quelques égards tout aussi irrationnelle que celle du ballon.

L'idée favorite est de s'insinuer en avant à l'aide d'un *plan incliné* agissant sur l'air, poussé par une « *vis a tergo*. »

On peut faire avancer le plan incliné en ligne horizontale ou le faire tourner en forme d'hélice. Les deux manières ont leurs adhérents. L'une recommande une large surface de support s'étendant de chaque côté du poids à élever; la surface de l'air de support faisant un petit angle avec l'horizon, et le tout étant poussé en avant par l'action d'hélices propulsives verticales. Tel est le plan suggéré par Henson et Stringfellow.

M. Henson a imaginé son aérostat en 1843. « Le trait principal de son invention était le grand développement des plans de support qui étaient plus grands en proportion du poids à élever que celui de beaucoup d'oiseaux. La machine avançait son *bord antérieur faiblement élevé*, ce qui avait pour effet de présenter sa surface inférieure à l'air sur lequel elle passait, lequel, par sa résistance, agissait sur elle comme un fort vent sur les ailes d'un moulin à vent et empêchait la descente de la machine et de sa charge. La suspension du tout dépendait donc de *la vitesse avec laquelle il voyageait à travers l'air, et de l'angle suivant lequel sa surface inférieure rencon-*

trait l'air en avant... La machine toute prête à voler était lancée du sommet du plan incliné, et en le descendant, elle atteignait la vitesse nécessaire pour la soutenir dans sa progression ultérieure. Cette vitesse devait être graduellement détruite par la résistance de l'air au vol progressif ; c'était donc l'office de la machine à vapeur et des palettes de réparer simplement la perte de vitesse ; on ne leur avait donné que la force et la puissance nécessaires pour ce faible effet (fig. 109). L'éditeur du *Newton's Journal* des arts et des sciences, en parle ainsi : « L'appareil consiste en un chariot contenant les marchandises, les passagers, la machine, le combustible, etc., auquel est attaché un cadre rectangulaire de bois ou de canne de bambou et couvert de canevas ou de soie huilée. Ce cadre s'étend de chaque côté du chariot de la même manière que les ailes étendues d'un oiseau, mais avec cette différence que le cadre est immobile.

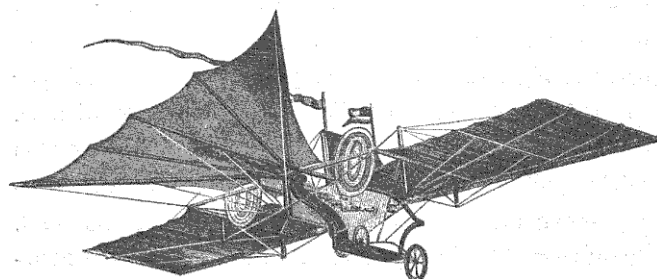


FIG. 109. — Machine volante de M. Henson.

Derrière les ailes sont deux roues verticales en éventail, munies de palettes obliques qui sont destinées à pousser l'appareil en l'air. Les roues circulaires en forme d'arc-en-ciel sont les propulseurs, répondant aux roues

d'un bateau à vapeur, et agissant sur l'air à la manière d'un moulin à vent. Ces roues, à l'aide de cordes et de poulies, reçoivent leur mouvement d'une machine à vapeur ou d'un autre engin contenu dans le chariot. A l'axe de l'arrière du chariot est attaché un cadre triangulaire ressemblant à la queue d'un oiseau, qui est aussi couvert de canevas ou de soie huilée. Il peut s'étendre ou se contracter à volonté, et on l'élève ou on l'abaisse pour faire monter ou descendre la machine. Au-dessous de la queue se trouve un gouvernail pour diriger la course de la machine à droite ou à gauche ; et pour faciliter la conduite, une voile est tendue entre deux mâts qui s'élèvent du chariot. La quantité de canevas ou de soie huilée nécessaire pour supporter la machine est, dit-on, égale à un pied carré pour chaque demi-livre de poids.

Wenham ¹ a plaidé pour l'emploi de *plans superposés*, en vue d'augmenter le support fourni, tout en diminuant l'espace occupé horizontalement par les plans. Wenham appela ces plans *Aéroplanes*. Ils étaient inclinés d'un très-petit angle sur l'horizon et poussés en avant soit par le poids à élever, soit par l'emploi d'hélices verticales. Le plan de Wenham fut adopté par Stringfellow dans un modèle qu'il exhiba à l'Exposition de la société aéronautique, tenue au palais de Cristal, pendant l'été de 1868.

La gravure ci-jointe (fig. 110), faite d'après une photographie du modèle de M. Stringfellow, donne une très-bonne idée de l'arrangement ; *a b c* représentent les plans superposés, *d* la queue, et *e f*, les hélices propulsives verticales.

¹ « Locomotion aérienne, » par F. H. Wenham. — *Monde de la science*, juin 1867.

Les plans superposés (*a b c*) de cette machine ont une surface de support de vingt-huit pieds carrés, non compris la queue (*d*).

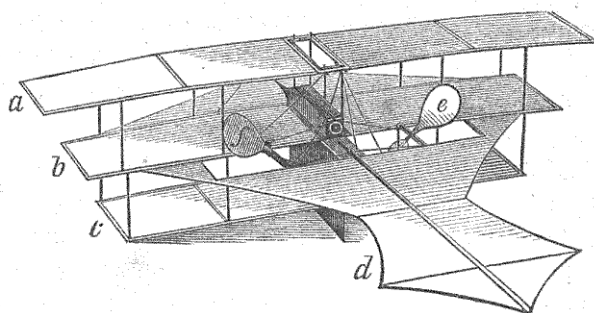


FIG. 110. — Machine volante de M. Stringfellow.

La machine était d'un tiers de cheval-vapeur, et le poids du tout (machine, bouilleur, eau, combustible, plans superposés et propulseurs) était de moins de douze livres. Son aire de suspension en y comprenant celle de la queue (*d*) avait quelque chose comme trente-six pieds carrés, c'est-à-dire trois pieds carrés pour chaque livre, — la surface de support du fou, on se le rappellera (p. 185), ayant moins d'un pied carré d'aile par chaque double livre du corps.

Le modèle était poussé par ses propulseurs à grande vitesse, le long d'un fil de fer, mais, autant que j'ai pu le déterminer par l'observation, elle ne réussit pas à s'élever, malgré son extrême légèreté et la puissance comparative-ment très-grande que l'on employait ¹.

¹ M. Stringfellow affirma que sa machine avait parfois quitté le fil de fer, et s'était soutenue seulement par ses plans superposés.

L'idée adoptée par Henson, Wenham et Stringfellow est tout à fait celle d'un cerf-volant d'enfant allant contre le vent. Le cerf-volant est toutefois un appareil plus parfait que ceux de Henson, Wenham et Stringfellow, d'autant plus que les plans inclinés formés par son corps frappe l'air à angles variés, — les angles variant selon la longueur de la corde, la force du vent, la longueur et le poids de la queue, etc. Les procédés de Henson, Wenham et Stringfellow, quoique soigneusement essayés, ont échoué jusqu'ici. Les objections sont nombreuses. En premier lieu, les plans supportants (aéroplanes ou autres) ne sont pas flexibles et élastiques comme le sont les ailes, mais *rigides*. C'est un point sur lequel j'attire particulièrement l'attention. Ensuite ils frappent l'air *sous un angle fixe*. C'est encore un point de divergence avec la nature. Troisièmement, une machine ainsi construite doit être précipitée d'une hauteur, ou tirée le long d'une surface sur la terre ou sur l'eau avec une très-grande vitesse initiale, afin de lui fournir l'impulsion initiale. Quatrièmement, elle n'est pas faite pour voler avec du vent, à moins que sa vitesse n'excède notablement celle du vent. Cinquièmement, elle n'est pas faite pour voler en travers du vent à cause de la grande surface qu'elle expose. Sixièmement, les surfaces de soutien sont comparativement très-grandes. Ce sont de plus des surfaces mortes ou passives, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas de puissance pour se mouvoir ou s'accommoder aux circonstances changeantes. Les ailes naturelles, au contraire, présentent de petites surfaces volantes, la grande vitesse avec laquelle les ailes sont menées convertissant l'espace dans lequel elles circulent en quelque chose qui est pratiquement une base de support,

comme on l'a expliqué p. 164, 165, 208 et 209 (voyez fig. 64, 65, 66, 82 et 83, p. 192 et 218). Cet arrangement permet aux ailes naturelles de saisir et d'utiliser l'air, et de dominer les courants accidentels. Les ailes naturelles opèrent sur l'air dans lequel elles se meuvent, mais à moins que l'animal volant ne le désire, elles sont à peine, si elles le sont, influencées par les vents et les courants qu'elles n'ont pas formées elles-mêmes. Sous ce rapport elles diffèrent entièrement du ballon et des aéroplanes fixes. Dans la nature, de petites ailes poussées avec une grande vitesse produisent le même résultat que de grandes ailes poussées avec une faible vitesse (comparez la fig. 58, p. 173, à la fig. 57, p. 172). Dans le vol, un certain espace doit être couvert, soit par de grandes ailes étalées comme un solide (fig. 57, p. 172) ou par de petites ailes vibrant rapidement (fig. 64, 65 et 66, p. 192).

L'hélice aérienne. — Notre compatriote sir George Cayley, a donné le premier, en 1796, une démonstration pratique de l'efficacité de l'hélice appliquée à l'air. Il construisit cette année-là une petite machine consistant en deux hélices faites de plumes d'oie (fig. 111). Sir George écrit ce qui suit :

« Comme ce peut être un amusement pour quelques-uns de vos lecteurs de voir une machine s'élever en l'air par des moyens mécaniques, je vais terminer cette communication en décrivant un instrument de cette espèce, que chacun peut construire en dix minutes de travail. « a et b (fig. 111) sont deux bouchons dans chacun desquels on a planté quatre plumes d'ailes d'un oiseau, de manière qu'elles soient légèrement inclinées comme les

ailes d'un moulin à vent, mais dans des directions opposées pour chaque groupe. Un arbre arrondi est fixé dans le bouchon *a*, et se termine en pointe effilée. A la partie supérieure du bouchon *b*, l'on fixe un arc de baleine avec

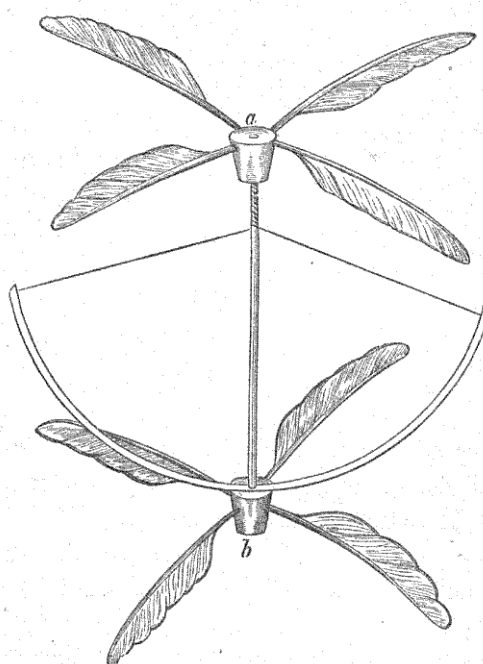


FIG. 111. — Appareil volant de Cayley.

un petit trou au centre pour laisser passer la pointe de l'arbre. On joint alors l'arc par des cordes égales de chaque côté, à la partie supérieure de l'arbre, et la petite machine est complète. On monte le ressort en tournant les volants en sens contraire de manière que le ressort de

l'arc les déroule, leurs bords antérieurs étant ascendants ; on place alors sur une table le bouchon auquel est attaché l'arc, et avec le doigt on presse suffisamment fort sur le bouchon supérieur pour empêcher le ressort de se détendre ; si on l'abandonne subitement, cet instrument s'élèvera jusqu'au plafond. »

Les hélices de Cayley avaient cela de particulier qu'elles étaient superposées et tournaient dans des directions opposées. Il estimait que si l'aire de l'hélice s'accroissait jusqu'à 200 pieds carrés et était mue par un homme, elle le soulèverait. L'expérience intéressante de Cayley est décrite tout au long, et l'appareil figuré dans le journal de Nicholson pour 1809, p. 172. En 1842 M. Philipps réussit aussi à élever un modèle au moyen de palettes tournantes. L'appareil de M. Philipps était fait entièrement de métal et pesait, complet et chargé, 2 livres. Il consistait en un bouilleur ou générateur de vapeur et quatre palettes soutenues par huit bras. Les palettes étaient inclinées sur l'horizon de 20° ; à travers les bras s'échappait de la vapeur d'après le principe découvert par Héron d'Alexandrie. La sortie de la vapeur faisait tourner les palettes avec une immense énergie, si bien que le modèle s'éleva à une très-grande hauteur, et traversa deux champs avant de toucher terre. La force motrice employée dans cette circonstance était obtenue par la combustion de charbon, nitre et gypse, tel qu'on en employait dans l'extincteur primitif. Les produits de la combustion se mêlant à l'eau de la chaudière, et formant le gaz chargé de vapeur qui sortait à haute pression de l'extrémité des huit bras. Ce modèle est remarquable comme étant probablement le premier qui, mis en action

par la vapeur, a volé à une distance considérable ¹. Les

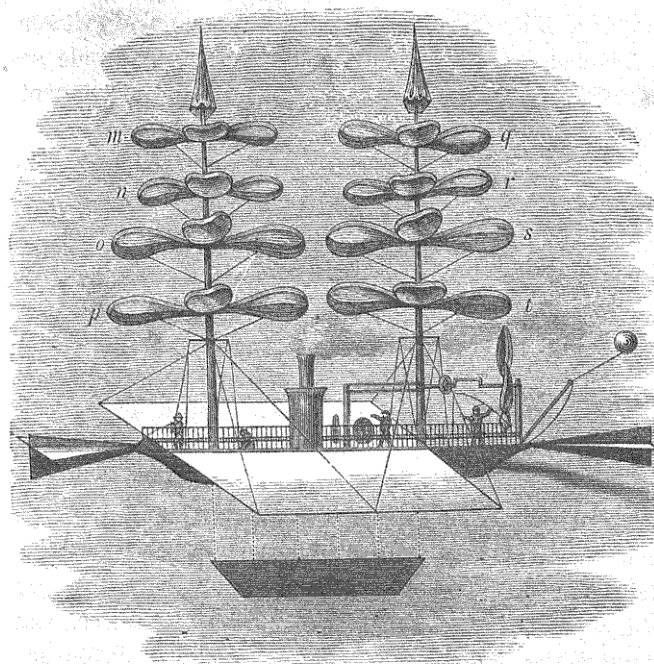


FIG. 112. — Machine volante projetée par M. de la Landelle.

Français ont adopté l'hélice aérienne avec grand enthousiasme, et il y a dix ans (1863) MM. Nadar ², Pontin, d'A-

¹ Rapport sur la première Exposition de la société aéronautique de la Grande-Bretagne, tenue au Palais de Cristal, Londres, en juin 1868, p. 10.

² M. Nadar dans un article écrit en 1863, entre tout-à-fait pleinement dans le sujet du vol artificiel accompli à l'aide de l'hélice. D'amples extraits de l'article de Nadar sont donnés dans *Astra* par le capitaine Hatton Turner, Londres, 1865, p. 340. Nous renvoyons le lecteur au beau volume de Turner, pour plus d'informations curieuses et intéressantes au sujet de l'Aérostation.

mécourt et de la Landelle, ont construit des modèles d'horlogerie (*orthoptères*), qui non-seulement s'élèvent eux-mêmes en l'air, mais encore emportent une certaine charge. Ces modèles sont excessivement fragiles et, à cause de la force prodigieuse nécessaire pour les mettre en action, ils se brisent ordinairement après quelques essais. La fig. 112 représente les idées de M. de la Landelle.

Dans les modèles hélicoptériques faits par MM. Nadar, Pontin, d'Amécourt et de la Landelle, les hélices (*m n o p q r s t* de la fig.) sont disposées en batteries, c'est-à-dire qu'elles sont placées les unes au-dessus des autres. Sous ce rapport, elles ressemblent aux aéroplanes recommandées par M. Wenham et essayées par M. Stringfellow (comparez *m n o p q r s t* de la fig. 110, p. 289). Les hélices superposées, comme on l'a déjà indiqué, furent figurées et décrites pour la première fois par sir George Cayley (p. 215). Les hélices françaises et celle employée par M. Philipps, sont rigides et inflexibles, et frappent l'air sous un angle donné, et en cela, je pense, consiste leur principal défaut. De cet arrangement résulte une ruineuse dépense de force et une très-grande quantité de glissement. L'hélice aérienne et la machine qu'elle doit élever peuvent se mettre en mouvement sans élan préliminaire, et sous ce rapport, elle a l'avantage sur la machine qui n'est soutenue que par des plans de support. Elle a en fait une certaine quantité de mouvement inhérente, son hélice tournant et lui donnant des surfaces actives ou motrices. Elle est en conséquence plus indépendante que la machine imaginée par Henson, Wenham et Stringfellow.

Je puis observer sur le système des plans inclinés poussés en avant sous un angle donné en ligne droite ou en cercle, qu'il ne représente pas le principe adopté par la nature.

L'aile d'un être volant, comme j'ai pris la peine de le montrer, *n'est pas rigide*; et elle ne frappe pas l'air *sous un angle donné*. Au contraire elle est capable de se mouvoir de tous côtés, et attaque l'air sous une variété infinie d'angles (p. 208 à 212). Par-dessus tout la surface présentée par une aile naturelle quand on la compare au poids à soulever est remarquablement petite (fig. 89, p. 236). On s'en rend compte par la longueur et la grande portée du mouvement des ailes naturelles. Celle-ci permet aux ailes de convertir de larges espaces d'air en surfaces de support (fig. 64, 65 et 66, p. 192). On s'en rend aussi compte par la multiplicité des mouvements des ailes naturelles, qui permettent aux ailes de créer des courants, de s'élever sur eux et d'éviter les courants naturels, quand ils ne sont pas bien adaptés pour les pousser et les contenir (fig. 67, 68, 69 et 70, p. 195).

Si quelqu'un observe un insecte, un oiseau ou une chauve-souris quand ils préparent leurs ailes, il observera qu'ils peuvent incliner la surface inférieure de leurs ailes sous une grande diversité d'angles avec l'horizon. Ils le font en faisant tourner le bord postérieur ou mince autour du bord antérieur comme axe. Comme résultat de ce mouvement, les deux bords sont fléchis en courbes doubles et opposées, et l'aile est convertie en une *vis* ou *hélice plastique*. Il observera en outre que la chauve-souris, l'oiseau et d'autres insectes ont en plus, le pouvoir de plier et de ramener leurs ailes vers le corps pendant le

coup ascendant, et de les éloigner du corps et de les étendre pendant le coup descendant, de manière à diminuer et à accroître leur surface, dispositions nécessaires pour diminuer le montant de la résistance éprouvée par l'aile pendant son ascension, et l'augmenter pendant sa descente. Il est à peine utile d'ajouter que dans les aéroplanes et les hélices aériennes, construites jusqu'à présent, on n'a rien fait en prévision d'une augmentation ou d'une diminution instantanées de la surface volante ; rien fait pour lui donner de l'élasticité, ou lui faire prendre cette diversité infinie d'angles qui lui permettrait de saisir et d'abandonner l'air avec la rapidité nécessaire. Beaucoup de chercheurs pensent que le vol n'est qu'une question de légèreté et de puissance, et que si une machine pouvait être faite assez légère et assez puissante, elle volerait nécessairement, quelle que fût la nature de ses surfaces volantes. C'est là une erreur des plus graves. Les oiseaux ne sont pas plus vigoureux que des quadrupèdes de même taille, et la machine de Stringfellow qui, comme nous l'avons vu, ne pesait que 12 livres, possédait une force d'un tiers de cheval. Les probabilités sont donc que le vol dépend en grande partie de la nature des surfaces volantes et de la manière de les appliquer à l'air.

Ailes artificielles (idées de Borelli). — Quant à la production du vol par un battement d'ailes, beaucoup de choses peuvent être et ont été dites. De toutes les méthodes jusqu'ici proposées, elle est sans contredit de beaucoup la plus ancienne. Sans nous occuper de la fameuse histoire apocryphe de Dédale et de ses ailes de cire, nous avons une description très-bien faite d'ailes artificielles

dans le « De motu animalium » de Borelli datant de 1680, c'est-à-dire de près de deux siècles ¹.

En effet, ce n'est pas trop d'affirmer qu'à ce physiologiste et mathématicien distingué appartient presque tout ce que nous avons connu des ailes artificielles jusqu'à 1865. Il était bien familiarisé avec les propriétés du coin appliqué au vol, et connaissait également la flexibilité et l'élasticité des ailes. C'est à lui qu'on doit faire remonter la théorie purement mécanique de l'action des ailes. Il a figuré un oiseau avec des ailes artificielles dont chacune consiste en une baguette rigide en avant, et des plumes flexibles derrière. J'ai cru bon de reproduire la figure de Borelli à la fois à cause de sa grande antiquité et parce qu'elle éclaircit admirablement son texte ².

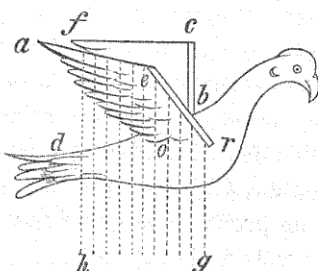


FIG. 113. — Oiseau artificiel de Borelli.

Les ailes ($b c f, o e a$) sont représentées comme frappant verticalement en bas (gh). Elles s'accordent remarquablement avec celles décrites par Straus-Durckheim, Girard, et tout récemment par le professeur Marey ³.

¹ Borelli, De Motu Animalium. Sm. 4^{to}, 2 vols. Rome, 1680.

² De Motu Animalium, Lugduni Batavorum, apud Petrum Vander. Anno MDCLXXXV. Tab. XIII, fig 2. (New Edition).

³ Revue des Cours Scientifiques de la France et de l'Etranger, mars 1869.

Borelli pense que le vol résulte de l'application d'un plan incliné qui bat l'air, et qui fait l'office de coin. En effet, il s'efforce de prouver qu'un oiseau s'insinue dans l'air par la vibration perpendiculaire de ses ailes, les ailes pendant leur action formant un angle dont la base ($c b e$) est dirigée vers la tête de l'oiseau ; le sommet ($a f$) étant dirigé vers la queue. Cette idée est développée dans les propositions 195 et 196 de la première partie du livre de Borelli. Dans la proposition 195, il explique comment si un coin est poussé dans un corps, il tend à le séparer en deux portions ; mais que si l'on permet aux deux portions du corps de réagir sur le coin, elles communiqueront des *impulsions obliques* aux faces du coin, et le feront sortir la base la première, en ligne droite.

Poursuivant cette analogie, Borelli s'efforce de montrer dans sa 196^e proposition, « que si l'air agit obliquement sur les ailes (ce qui est, bien entendu, une action semblable à celle d'un coin) le résultat sera *un transport horizontal du corps de l'oiseau*. » Dans cette proposition (196) Borelli dit : — « Si les ailes étendues d'un oiseau suspendu en l'air impriment à l'air non troublé du dessous un *mouvement perpendiculaire à l'horizon*, l'oiseau volera avec un mouvement transversal dans un plan parallèle à l'horizon. » En d'autres termes, si l'aile frappe *verticalement vers le bas*, l'oiseau volera *horizontalement en avant*. Il base son argumentation sur la croyance que les bords antérieurs des ailes sont *rigides et inflexibles*, tandis que les parties et le bord postérieurs sont *plus ou moins flexibles* et cèdent aisément à la pression. « Si les ailes d'un oiseau, ajoute-t-il, sont étendues, et si les surfaces inférieures des ailes sont frappées par l'air *ascendant*, *perpendiculai-*

rement à l'horizon, avec une force suffisante pour empêcher l'oiseau glissant vers le bas (c'est-à-dire ayant une tendance à glisser vers le bas) de tomber, il sera poussé dans une direction horizontale. Cela provient de ce que les deux baguettes osseuses formant les marges antérieures des ailes résistent à la pression ascendante de l'air, et conservent ainsi leur forme originale (littéralement extension ou expansion) tandis que les parties postérieures flexibles de l'aile (marges postérieures), sont poussées vers le haut et rapprochées pour former un cône dont le sommet (voyez *af* de la fig. 113) est dirigé vers la queue de l'oiseau. En vertu du jeu de l'air qui comprime les faces du coin formé par les ailes, le coin est poussé en avant dans la direction de sa base (*c b e*), ce qui équivaut à dire que les ailes portent le corps de l'oiseau auquel elles sont attachées dans une direction horizontale. »

Borelli répète le même argument en des termes différents, comme il suit :

« Si, dit-il, l'air placé sous les ailes est frappé par les portions flexibles des ailes (*flabella*, littéralement chassemouches ou petites palettes), avec un mouvement perpendiculaire à l'horizon, les voiles (*vela*) et les portions flexibles des ailes (*flabella*) céderont dans une direction ascendante, et formeront un coin, ayant la pointe dirigée vers la queue. Que l'air, donc, frappe les ailes par-dessous, ou que les ailes frappent l'air par-dessous, le résultat est le même, — les bords postérieurs ou flexibles des ailes cèdent dans une direction ascendante, et en agissant ainsi, poussent l'oiseau dans une direction horizontale. »

Dans sa 197^e proposition, Borelli développe et complète les arguments contenus dans les propositions 195 et 196.

Ainsi, observe-t-il, il est évident que l'objet du vol est d'élever les oiseaux, de les tenir suspendus en l'air, et de leur permettre de se tourner dans un plan parallèle à l'horizon. La première chose (vol ascendant) ne peut s'accomplir que si l'oiseau est poussé vers le haut par de fréquents sauts ou vibrations des ailes, et si sa descente est empêchée. Et comme la tendance des corps lourds est de tomber perpendiculairement à l'horizon, la vibration des surfaces planes des ailes doit s'accomplir en frappant l'air au-dessous, dans une direction perpendiculaire à l'horizon; et c'est de cette manière que la nature produit la suspension des oiseaux dans l'air. »

« Quant au second point ou au mouvement transversal des oiseaux (c'est-à-dire au vol horizontal), quelques auteurs se sont étrangement mépris; car ils pensent qu'il est semblable à celui des bateaux qui, poussés à l'aide de rames, se meuvent horizontalement dans la direction de la proue, et en pressant sur l'eau résistant en arrière, s'élancent avec un mouvement contraire et sont ainsi portés en avant. De la même manière, disent-ils, les ailes vibrent vers la queue, avec un mouvement horizontal, et frappent également contre l'air non troublé, grâce à la résistance duquel elles se meuvent par une réflexion de mouvement. Mais c'est contraire au témoignage de nos yeux aussi bien qu'à la raison; car nous voyons que les plus grandes espèces d'oiseaux, tels que cygnes, oies, etc., ne font jamais, en volant, vibrer leurs ailes vers la queue avec un mouvement horizontal comme celui des rames, mais les courbent toujours vers le bas, et décrivent ainsi des cercles élevés perpendiculairement à l'horizon ¹.

¹ Il est clair d'après cela que Borelli ne savait pas que les ailes

En outre dans les bateaux, le mouvement horizontal des rames se fait aisément, et un coup perpendiculaire à l'eau serait parfaitement inutile, d'autant plus que la densité de l'eau empêche leur descente. Mais chez les oiseaux, un tel mouvement horizontal (qui en effet arrêterait le vol) serait absurde, et aurait pour résultat de faire tomber à terre l'oiseau la tête en avant ; il ne peut être suspendu en l'air que par une constante vibration des ailes *perpendiculairement à l'horizon*. La nature a été ainsi forcée de montrer sa merveilleuse habileté en produisant un mouvement qui, par une seule et même action, suspendit l'oiseau en l'air et le portât en avant dans une direction horizontale. Cela s'effectue en frappant l'air au-dessous perpendiculairement à l'horizon, mais avec des coups obliques, — action qui n'est rendue possible que par la flexibilité des plumes, car les palettes des ailes acquièrent en frappant la forme d'un coin, par la réaction duquel l'oiseau est nécessairement poussé en avant dans une direction horizontale. »

Les points que Borelli s'efforce d'établir sont les suivants :

Premièrement, que l'action de l'aile est comme celle du coin.

Secondement, que l'aile consiste en deux portions — une portion antérieure *rigide* et une portion *non rigide* flexible. Il représente dans son oiseau artificiel (fig. 113,

des oiseaux frappent *en avant* aussi bien qu'en bas pendant le coup descendant, et *en avant* aussi bien qu'en haut pendant le coup ascendant. Ces points, comme la forme de torsion et de détorsion en 8 de chiffre, ont été pour la première fois décrits par l'auteur. Borelli semble avoir également ignoré le fait que les ailes des insectes vibrent dans une direction plus ou moins horizontale.

p. 298) la portion rigide par *une baguette (e r)*, la portion flexible par *les plumes (o a)*.

Troisièmement, que si l'air frappe la surface inférieure de l'aile perpendiculairement de bas en haut, la portion flexible de l'aile cède dans une direction montante, et forme un coin avec la voisine.

Quatrièmement, que de même, et réciproquement, si l'aile frappe l'air d'en haut, la portion postérieure et flexible de l'aile cédera dans une direction montante.

Cinquièmement, que cette *flexion ascendante* du bord postérieur ou flexible de l'aile a pour résultat nécessaire *un transport horizontal* du corps de l'oiseau.

Sixièmement, que pour soutenir un oiseau dans l'air, les ailes doivent frapper verticalement en bas, ce qui est la direction suivant laquelle tomberait un corps pesant abandonné à lui-même.

Septièmement, que pour pousser l'oiseau dans une direction horizontale, les ailes doivent descendre dans une direction perpendiculaire, et la portion postérieure ou flexible de l'aile céder dans une direction ascendante, de manière à leur communiquer virtuellement une action oblique.

Huitièmement, que les plumes de l'aile sont *courbées dans une direction ascendante* quand elle *descend*, la flexion ascendante des plumes élastiques contribuant au déplacement horizontal de l'oiseau.

J'ai mis beaucoup de soin à exposer les idées de Borelli pour plusieurs raisons :

1. Parce que la théorie purement mécanique de l'action des ailes doit clairement lui être attribuée ;
2. Parce que ces doctrines sont restées incontestées

pendant près de deux siècles, et ont été adoptées par tous les écrivains depuis ce temps, et dans la majorité des cas, j'ai regret de le dire, sans en avouer l'origine;

3. Parce que ses idées ont été ressuscitées par l'école française moderne;

4. Et parce que, en commentant et en critiquant Borelli, je commenterai et critiquerai nécessairement tous ses successeurs.

Direction du coup, flexion de l'aile, etc. — Le duc d'Argyll ¹ s'accorde avec Borelli pour croire que l'aile frappe d'une manière invariable *perpendiculairement vers le bas*. Ses paroles sont : — « Excepté pour arrêter leur vol, les oiseaux ne peuvent frapper que *directement vers le bas*; c'est-à-dire en opposition à la force de la pesanteur. » Le professeur Owen, dans son *Anatomie comparée*; M. Macgillivray, dans ses « Oiseaux de la Grande-Bretagne »; M. Bishop, dans son article « Mouvement » dans l'*Encyclopédie d'Anatomie et de Physiologie*, et M. Liais, « Sur le vol des oiseaux et des insectes » dans les *Annales des Sciences naturelles*, tous assurent que le coup est donné vers le bas et plus ou moins en arrière.

Pour obtenir une réaction *vers le haut*, on supposerait naturellement que tout ce qu'il faut c'est un coup *vers le bas*, et pour obtenir une réaction *en haut et en avant* on conclurait qu'il ne faut qu'un coup *en bas et en arrière*. Tel n'est cependant pas le cas.

En premier lieu, une aile naturelle ou une artificielle convenablement construite ne peut être abaissée ni *verticalement* ni *en arrière*. Elle doit nécessairement *descen-*

¹ « Reign of Law » Good words, 1865.

dre en avant suivant une courbe. Ceci provient de ce qu'elle est en tous points flexible et élastique, et graduée avec un soin spécial sous le rapport de l'épaisseur, la pointe étant plus mince et plus élastique que la racine, et la marge postérieure plus que l'antérieure.

En second lieu, il n'y a qu'une seule direction dans laquelle l'aile puisse frapper de manière à *supporter et en même temps à porter l'oiseau en avant.* Quand l'oiseau vole, il est un corps en mouvement. Il a donc acquis un momentum. Si l'on tue au vol un coq de bruyère d'un coup de fusil, *il ne tombe pas verticalement,* comme le croient Borelli et ses successeurs, mais *en bas et en avant.* Les surfaces planes de ses ailes frappent donc en bas et en avant, et elles agissent de cette manière comme des cerfs-volants sur le corps tombant qu'elles portent, ou tendent à porter *en haut et en avant.*

Il en est de même pour la direction du coup pendant la descente de l'aile.

Considérons maintenant dans quelle étendue la marge postérieure de l'aile cède dans une direction ascendante, quand l'aile descend. Borelli n'en donne pas le montant exact. Le duc d'Argyll, qui croit avec Borelli que la marge postérieure de l'aile s'élève pendant le coup descendant, affirme que, « puisque l'air comprimé dans le creux de l'aile ne peut la traverser grâce à l'exact rapprochement des plumes, ou s'échapper en avant à cause de la rigidité des os et des pennes dans cette direction, il passe en arrière, et en le faisant il soulève par sa force les extrémités élastiques des plumes. En passant en arrière, il communique à toute la ligne des deux ailes une poussée en avant correspondante au corps de l'oiseau. Le même

volume d'air est ainsi forcé, suivant la loi de l'action et de la réaction, *de soutenir l'oiseau et de le porter en avant*¹. » M. Macgillivray observe que pour avancer dans *une direction horizontale*, il est nécessaire que le coup descendant soit modifié *par l'élévation à un certain degré des extrémités libres des rémiges*².

Idées de Marey. — Le professeur Marey dit que, pendant le coup descendant, la marge postérieure ou flexible de l'aile *cède dans une direction ascendante*, dans une étendue suffisante pour que la surface inférieure de l'aile regarde en arrière, et fasse avec l'horizon un angle de 45° plus ou moins suivant les circonstances³. Que le bord postérieur de l'aile cède légèrement vers le haut pendant le coup descendant, je l'admets. En le faisant il empêche le choc, donne de la continuité au mouvement, et contribue en quelque mesure à l'élévation de l'aile. Le montant de la flexion est cependant en tous cas très-faible, et le petit mouvement qu'il y a vers le haut est en partie le résultat de la rotation du bord postérieur de l'aile autour de l'antérieur comme axe. Que le bord postérieur de l'aile ne cède jamais dans une direction ascendante jusqu'à faire à sa surface inférieure un angle en arrière de 45° avec l'horizon, comme le remarque Marey, c'est un point d'absolue certitude. Cette affirmation admet la preuve directe. Si quelqu'un observe le vol horizontal ou ascendant d'un oiseau, il observera que la marge postérieure

¹ « Reign of Law » — Good words, février 1865, p. 128.

² Histoire des Oiseaux de la Gr.-Bret. Londres, 1837, p. 429.

³ « Mécanisme du vol chez les insectes. Comment se fait la propulsion, » par le professeur E. J. Marey. Revue des Cours scientifiques de la France et de l'Etranger, 20 mars 1869, p. 254.

ou flexible de l'aile ne s'élève jamais pendant le coup descendant, d'une étendue perceptible, de manière que dans aucune occasion *la surface inférieure de l'aile* ne regarde en arrière, comme il est dit par Marey. Au contraire, il trouvera que *la surface inférieure de l'aile* (pendant le coup descendant) invariablement *regarde en avant* — le bord postérieur de l'aile étant incliné en bas et en arrière, comme le montrent les fig. 82 et 83, p. 218; fig. 103, p. 255; fig. 85 (*a b c*), p. 221; et fig. 88 (*c d e f g*), p. 229.

La surface inférieure de l'aile, comme on le voit par cette explication, non-seulement regarde en avant, mais elle forme un véritable cerf-volant avec l'horizon, les angles faits par le cerf-volant variant à chaque partie du coup descendant, comme on le voit plus particulièrement en *d, e, f, g; j, k, l, m* de la fig. 88, p. 229. Je suis donc d'un avis contraire à ceux de Borelli, Macgillivray, Owen, Bishop, M. Liais, le duc d'Argyll et Marey, quant à la direction et à la nature du coup descendant. Il diffère également du leur quant à la direction et à la nature du coup descendant.

Le professeur Marey dit non-seulement que le bord postérieur de l'aile cède dans *une direction ascendante* pendant le *coup descendant*, jusqu'à ce que la surface inférieure fasse avec l'aile un angle de 45° avec l'horizon, mais que pendant le *coup ascendant*, elle cède de la même quantité dans *une direction opposée*. Le bord postérieur flexible de l'aile, suivant Marey, traverse un espace de 90° chaque fois que l'aile change de sens, cet espace étant consacré au simple ajustement des plans des ailes selon ce qu'il faut pour le vol. De plus, les plans,

affirme-t-il, s'ajustent non par des actes vitaux et vitomécaniques, mais *par la seule action de l'air*; celui-ci opérant sur la surface inférieure de l'aile et forçant son bord postérieur à s'élever pendant le *coup descendant*; l'air pendant le *coup ascendant*, agissant sur le bord postérieur de la surface supérieure de l'aile et la forçant à s'abaisser. C'est une simple répétition des idées de Borelli. Marey confie à l'air la tâche difficile et délicate d'arranger les détails du vol. Le temps, la puissance et l'espace occupés seulement à retourner l'aile, d'après cette théorie, sont à rendre le vol impossible. On peut aisément prouver par l'expérience que l'aile n'agit pas comme le disent Borelli, Marey et autres. On peut aussi le démontrer mathématiquement, comme le montrera l'étude des fig. 114 et 115, p. 309.

Soit ab , l'horizon (fig. 114); mn , la ligne de vibration; xc , l'aile inclinée d'un angle de 45° ascendant postérieurement en train de donner le coup descendant; et xd , l'aile inclinée d'un angle de 45° descendant en arrière en train de donner le coup ascendant. Quand l'aile xc descend, elle tend à plonger vers le bas dans la direction f donnant très-peu de soutien horizontal (ab); quand l'aile xd monte, elle s'efforce de s'élever dans la direction g , puisqu'elle se lance comme un cerf-volant (le corps qui la porte étant en mouvement). Si nous prenons la résultante de ces deux forces, nous aurons tout au plus une propulsion dans la direction ab . Mais encore, ceci ne serait vrai que si l'oiseau était aussi léger que l'air. Comme cependant la pesanteur tend à tirer l'oiseau en avant à mesure qu'il avance, le vol réel de l'oiseau, selon sa théorie, tomberait en une ligne entre b et f , probable-

ment en xh . Il ne peut en être autrement ; l'aile décrite et figurée par Borelli et Marey est d'une seule pièce et vibre verticalement sur l'un et l'autre côté d'une ligne donnée. Si cependant une aile d'une seule pièce est élevée et abaissée dans une direction strictement perpendiculaire, il est évident que l'aile éprouvera une plus grande résistance pendant le *coup en haut* quand elle agit contre la pesanteur, que pendant le *coup en bas* quand elle agit avec la pesanteur. En conséquence, l'oiseau sera plus

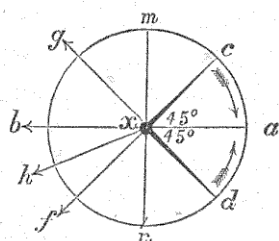


FIG. 114.

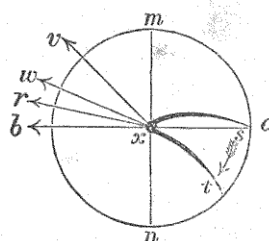


FIG. 115.

vigoureusement abaissé pendant la montée de l'aile qu'il ne sera élevé pendant sa descente. Que l'aile mécanique à laquelle ont recours Borelli et Marey n'est pas une *aile volante*, mais un simple appareil propulseur, cela semble évident au dernier, car il dit que la machine ailée qu'il a imaginée *n'a incontestablement pas assez de puissance pour soutenir son propre poids*¹.

La manière dont l'aile naturelle (et l'aile artificielle convenablement construite et menée) échappe à la résistance de l'air pendant le coup ascendant et donne conti-

¹ Revue des Cours Scientifiques de la France et de l'Etranger, 29 mars 1869.

nuellement de l'appui et de la propulsion est très-remarquable. La figure 115 en éclaircit le vrai principe. Soit $a b$, l'horizon; $m n$, la direction de la vibration; $x s$, l'aile prête à donner le coup descendant, et $x t$, l'aile prête à donner le coup ascendant. Quand l'aile $x s$ descend, le bord postérieur (s) est vissé *en bas et en avant* dans la direction s, t , l'angle antérieur qu'elle forme avec l'horizon s'accroissant quand l'aile descend. (Comparez à la fig. 85 ($a b c$), p. 221, et fig. 88 ($c d e f$), p. 229.) L'air est ainsi saisi par une grande diversité de surfaces inclinées, et comme la surface inférieure de l'aile qui est un véritable cerf-volant regarde *en haut et en avant*, elle tend à porter le corps *en haut et en avant* dans la direction $x w$. Quand l'aile $x t$ donne le coup ascendant, elle tourne dans la direction $t s$ pour se préparer au second coup descendant. Elle ne monte cependant pas dans la direction $t s$. Au contraire, elle se lance comme un vrai cerf-volant qu'elle est, dans la direction $x v$, en vertu de la réaction de l'air, et parce que le corps de l'oiseau auquel elle est attachée a un mouvement en avant qui lui est communiqué par l'aile pendant le coup descendant. (Comparez à $g h i$ de la fig. 88, p. 229). La résultante des forces agissant dans les directions $x v$ et $x b$, est une force agissant dans la direction $x w$, et si l'on tient compte de l'effet de la pesanteur, le vol correspondra à une ligne quelque part entre w et b , probablement la ligne $x r$. Ce résultat est produit par l'aile agissant comme un excentrique — par la surface supérieure convexe de l'aile toujours dirigée en haut, la surface inférieure concave dirigée en bas — par la surface inférieure qui est un vrai cerf-volant, s'élançant en avant en courbes ondulées à la fois pendant le

coup ascendant et le coup descendant, et ne faisant jamais postérieurement un angle avec l'horizon (fig. 88, p. 229); et enfin par l'aile employant l'air au-dessous d'elle comme un point d'appui pendant le coup descendant, l'air de son côté réagissant sur la surface inférieure de l'aile et, quand arrive le temps convenable, contribuant à l'élévation de l'aile.

Si, comme le croient Borelli et ses successeurs, le bord postérieur de l'aile cédait d'une manière marquée dans *une direction ascendante* pendant le *coup descendant*, et plus spécialement si elle cédait dans une telle étendue que sa surface inférieure fit en arrière un angle de 45° avec l'horizon, ils'ensuivrait inévitablement de deux choses l'une — ou l'air sur lequel l'aile compte comme support et propulsion pourrait s'échapper avant d'être utilisé; ou l'aile s'élancerait rapidement *en bas*, et entraînerait avec elle le corps de l'oiseau. Si le bord postérieur de l'aile cédait dans une direction ascendante jusqu'au point indiqué par Marey pendant le coup descendant, cela équivaldrait à éloigner le point d'appui (l'air) sur lequel opère le levier formé par l'aile.

Si un oiseau vole dans une direction horizontale, les angles faits par la surface de l'aile avec l'horizon sont très-petits, mais ils *regardent toujours en avant* (fig. 60, p. 175). Si un oiseau vole en montant, les angles en question s'accroissent (fig. 59, p. 175). Dans aucun cas, excepté quand l'oiseau se renverse et vole vers le bas, le *bord postérieur* de l'aile n'est à un niveau supérieur au *bord antérieur* (fig. 106, p. 279). Ceci est vrai du vol naturel et par suite aussi du vol artificiel.

Ces remarques sont plus spécialement applicables au

vol de la chauve-souris et de l'oiseau où l'aile est mise en vibration plus ou moins perpendiculairement. (Fig. 17, p. 51, fig. 82 et 83, p. 218. Comparez aux fig. 85, p. 221, et fig. 88, p. 229.) Si une chauve-souris ou un oiseau désire voler en montant, il faut que ses surfaces volantes soient toujours inclinées vers le haut. Il en est de même du poisson. Un poisson ne peut voler en montant, que si son corps est dirigé vers le haut. Chez l'insecte, comme on l'a expliqué, l'aile vibre dans une direction plus ou moins horizontale. Dans ce cas, l'aile n'a pas à lutter directement contre la pesanteur (une aile qui bat verticalement doit le faire). Comme conséquence, elle s'attache à l'air obliquement en zigzag, comme un cheval de charrette qui veut gravir une colline escarpée. (Voyez fig. 67 à 70, p. 195. Comparez aux fig. 71 et 72, p. 199.) Dans cette disposition, la pesanteur est surmontée par l'aile qui renverse ses plans et agit à la manière d'un cerf-volant qui vole alternativement en avant et en arrière. Les cerfs-volants formés par les ailes de la chauve-souris et de l'oiseau volent toujours en avant (fig. 88, p. 229). Chez l'insecte, comme chez la chauve-souris et l'oiseau, le bord postérieur de l'aile ne s'élève jamais au-dessus de l'horizon de manière à faire avec lui un angle ascendant postérieur, comme le disent Borelli, Marey et autres ($c x a$ de la fig. 114, p. 309).

Tandis que Borelli et ses successeurs ont raison quant à l'action en coin de l'aile, ils ont donné une interprétation erronée de la manière dont le coin est produit. Ainsi Borelli dit que quand les ailes descendent leurs marges postérieures montent, les deux ailes formant un cône dont la base est représentée par $c b e$ de la fig. 113 (p. 298) ;

son arête est représentée par $a f$ de la même figure. On observera que la base du cône de Borelli est inclinée en avant dans la direction de la tête de l'oiseau. Maintenant c'est juste l'opposé de ce qui doit être. Au lieu que les deux ailes forment un cône dont la base est dirigée *en avant*, chaque aile par elle-même forme deux cônes dont les bases sont dirigées *en arrière* et *en dehors*, comme on le voit fig. 116.

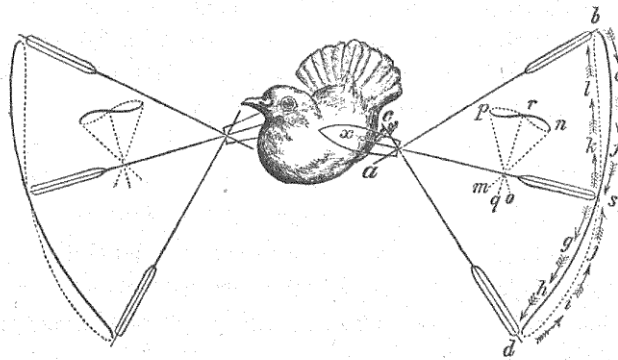


FIG. 116.

Dans cette figure l'action de l'aile est comparée au godillement de la rame avec laquelle elle a une ressemblance considérable ¹.

Le premier cône, c'est-à-dire celui dont la base est dirigée en dehors, est représenté en $x b d$. Ce cône correspond à l'aire tracée par l'extrémité de l'aile pendant l'acte de l'*élévation*. Le second, celui dont la base est dirigée en arrière, est représenté en $q p n$. Ce cône correspond à

¹ Dans le godillement, pour parler strictement, c'est la surface supérieure de l'aviron qui est la plus efficace; tandis que dans le vol, c'est l'inférieure.

l'aire tracée par la marge postérieure de l'aile dans l'acte de la *propulsion*. Les deux cônes sont produits en vertu de l'aile tournant sur sa racine et le long de sa marge antérieure quand elle monte et descend (fig. 80, p. 206 ; fig. 83, p. 218). La figure actuelle (116) montre la double action de torsion de l'aile, l'extrémité décrivant la figure en 8 indiquée en *b e f g h i j k l* ; la marge postérieure décrivant la figure en 8 indiquée en *p r n*. De cette manière se produit la pulsation transversale ou ondulée dont il est question, p. 204. Pour représenter l'action de l'aile, la rame godillante (*ab*, *xa*, *cd*) doit avoir une petite rame (*mn*, *qr*, *op*) agissant à angles droits avec elle. Ceci provient de ce que l'aile doit élever aussi bien que pousser la rame d'un bateau, quand on l'emploie comme godille, n'ayant qu'à pousser. Afin d'élever plus efficacement, les rames formées par les ailes oscillent au niveau et au-dessous de l'animal volant plutôt qu'au-dessus de lui ; les marges postérieures des ailes oscillant au niveau et au-dessous des marges intérieures (p. 206 et 208).

Borelli et ceux qui ont écrit depuis ce temps, sont unanimes à affirmer que le transport horizontal du corps de l'oiseau est dû à la vibration perpendiculaire des ailes, et à la flexion des bords postérieurs ou minces des ailes vers le haut quand l'aile descend. Je suis cependant, comme je l'ai déjà dit, disposé à attribuer ce transport, 1° à ce fait que les ailes à la fois pendant l'élévation et l'abaissement, sautent en avant suivant des courbes qui en s'unissant forment une courbe ondulée continue ; 2° à la tendance qu'a le corps de l'oiseau à se balancer en avant dans une direction plus ou moins horizontale, lorsqu'il est une fois mis en mouvement ; 3° à la construction des ailes (ce sont

des vis ou hélices élastiques, qui se tordent et se détordent quand elles sont mises en vibration et tendent à porter en haut et en avant, tout poids qui y est suspendu); 4° à la réaction de l'air sur les faces inférieures des ailes qui agissent toujours comme des cerfs-volants; 5° à la force toujours variable qui pousse les ailes, et qui est la plus grande au commencement du coup descendant, la plus petite à la fin du coup ascendant; 6° à la contraction des muscles volontaires et des ligaments élastiques; 7° à l'effet produit par les surfaces diversement inclinées formées par les ailes pendant leurs oscillations; 8° au poids du corps de l'oiseau, — poids qui, en agissant sur les plans inclinés (ailes), devient lui-même puissance propulsive et contribue au mouvement horizontal. Cela est prouvé par le fait que si un oiseau se lance d'une falaise avec les ailes étendues sans mouvement, il plane une incroyable distance avant d'atteindre l'eau (fig. 102, p. 252).

Les auteurs qui ont adopté le plan d'aile artificielle de Borelli, et qui ont endossé le plus pleinement ses idées mécaniques sur l'action des ailes sont Chabrier, Straus-Durckheim, Girard et Marey. L'aile artificielle de Borelli, comme on l'a déjà expliqué (p. 298, fig. 113) consiste en une baguette rigide (*er*) en avant et une voile flexible (*ao*) composée de plumes derrière. Elle agit sur l'air, et l'air agit sur elle, suivant l'occasion.

Idées de Chabrier. — Chabrier dit que l'aile n'a qu'une période d'activité, — qu'en effet, si l'aile est subitement abaissée par les muscles fléchisseurs, elle est élevée seulement par la réaction de l'air. Il y a contre cette théorie une objection sans réponse, les oiseaux, les chauves-

souris et quelques insectes, sinon tous, ont des muscles éleveurs distincts. La présence de muscles éleveurs bien développés implique une fonction élevatrice, et en outre nous savons que l'insecte, la chauve-souris et l'oiseau peuvent élever les ailes quand ils ne volent pas, et quand par conséquent il n'y a pas de réaction possible de l'air.

Idées de Straus-Durckheim. — Durckheim croit que l'insecte extrait de l'air au moyen du *plan incliné* une force composante qu'il emploie à se supporter et à se diriger. Dans sa Théologie de la Nature il décrit comme suit une aile schématique : — Elle se compose d'une nervure rigide en avant et d'une voile flexible en arrière. Une membrane ainsi construite est selon lui bonne pour le vol. Il suffira qu'une telle voile s'élève et s'abaisse successivement. Elle se disposera d'elle-même en plan incliné et, *recevant obliquement la réaction de l'air*, elle transformera en force tractile une partie de l'*impulsion verticale qu'elle a reçue*. Ces deux parties de l'aile sont de plus également indispensables l'une à l'autre. Si nous comparons l'aile schématique de Durckheim à celle de Borelli, nous les trouverons identiques comme construction et comme mode d'application.

Le professeur Marey, aussi tard que 1869, répète les arguments et les vues de Borelli et de Durckheim avec d'insignifiantes modifications. Marey décrit deux ailes artificielles, l'une composée d'une *baguette rigide* et d'une *voile*, — la baguette représentant le *bord antérieur raide*; la voile qui est faite de papier bordé de carton, la *portion flexible postérieure*. L'autre aile consiste en

une nervure rigide en avant, et en arrière en mince parchemin que supportent de *finas baguettes d'acier*. Il dit que si l'aile s'abaisse et s'élève seulement, la résistance de l'air suffit à la production de tous les mouvements. En effet, l'aile d'un insecte n'a pas le pouvoir de résister également de tous côtés. Sur le bord antérieur les nervures étendues la rendent rigide, tandis que derrière elle est mince et flexible. Pendant le vigoureux abaissement de l'aile la nervure a le pouvoir de *rester rigide*, tandis que la *portion flexible*, poussée dans une *direction ascendante* par la résistance de l'air, prend une position oblique qui fait regarder en avant la surface supérieure de l'aile. »

...« D'abord le plan de l'aile est parallèle au corps de l'animal. Elle s'abaisse — la *partie antérieure* de l'aile résiste fortement, la voile qui la suit étant flexible cède. Entraînée par la nervure (bord antérieur de l'aile) qui s'abaisse, pendant que la voile ou marge postérieure de l'aile est élevée par l'air qui la redresse de nouveau, la voile prendra une position intermédiaire et *s'inclinera d'environ 45 degrés, plus ou moins* selon les circonstances. L'aile continue ses mouvements d'abaissement vers l'horizon, mais l'impulsion de l'air qui continue son effet, a le pouvoir de se résoudre en deux forces, *une verticale et une horizontale*, la première suffisant à *élever* l'animal, la deuxième à le *faire avancer*¹. » L'inverse de ceci, dit Marey, a lieu pen-

¹ Comparez la description de Marey à celle de Borelli dont je donne ci-dessous une traduction : « Soit un oiseau suspendu en l'air les ailes étendues, et supposons que les surfaces inférieures (des ailes) soient frappées par de l'air montant perpendiculairement à l'horizon avec une force telle que l'oiseau glissant sur lui, soit empêché de tomber : je dis qu'il (l'oiseau) sera poussé avec *un mouvement horizontal en avant*, parce que les deux tiges osseuses des ailes peuvent, grâce à la force des muscles et à leur

dant l'élévation de l'aile — la résistance de l'air venant d'en haut faisant *regarder en arrière* la surface supérieure. La nature fallacieuse de ce raisonnement a déjà été indiquée, et nous n'avons pas besoin d'y revenir. Ce n'est pas une chose peu curieuse que l'aile artificielle de Borelli ait été reproduite dans son intégrité à une distance de près de deux siècles.

Idées de l'Auteur : — Sa méthode pour construire et appliquer les ailes artificielles ; en quoi elle se distingue de celle de Borelli, Durckheim, Marey, etc. — Les ailes artificielles que j'ai souvent fait faire pendant plusieurs années diffèrent de celles recommandées par Borelli, Durckheim et Marey en quatre points essentiels :

- 1° Leur mode de construction.
- 2° La manière dont elles s'appliquent à l'air.
- 3° La nature de la force employée.
- 4° La nécessité d'appliquer certaines substances élas-

dures, résister à la force de l'air, et par conséquent conserver la même forme (littéralement étendue, expansion), mais la largeur totale de la palette de chaque aile *cède à l'impulsion de l'air* quand les plumes flexibles peuvent tourner autour des *manubria* ou axes osseux, et de là il est nécessaire que les extrémités de l'aile s'approchent l'une de l'autre : les ailes acquièrent donc la forme d'un coin dont l'arête est dirigée vers la queue de l'oiseau, mais dont les surfaces sont comprimées de chaque côté par l'air de telle façon qu'il est chassé dans la direction de sa base. Mais supposons maintenant que la couche inférieure d'air tranquille soit frappée par les palettes (plumes) des ailes avec un mouvement perpendiculaire à l'horizon. Comme les voiles de l'aile prennent la forme d'un coin dont la pointe est tournée vers la queue (de l'oiseau), et comme elles reçoivent de l'air la même forme et la même compression, soit que les ailes vibrantes frappent l'air tranquille au-dessous, soit que les ailes étendues (leurs axes restant rigides), reçoivent le choc de l'air ascendant ; en tous cas, les *plumes flexibles cèdent à l'impulsion*, se rapprochent et poussent ainsi l'oiseau en avant. » — De Motu Animalium, pars prima, prop. 196, 1685.

tiques à la base de l'aile si elle est d'une seule pièce, et à la base et dans le corps de l'aile si elle est de plusieurs pièces.

Et, d'abord, quant au mode de construction.

Borelli, Durckheim et Marey prétendent que *le bord antérieur de l'aile doit être rigide* ; je crois, au contraire, qu'aucune part de l'aile ne doit être rigide, pas même la marge antérieure, et que l'aile doit être, en tous points, flexible et élastique.

On peut, je pense, démontrer par une foule de moyens que le bord antérieur de l'aile ne doit pas être composé d'une tige rigide. Si l'on fait vibrer avec la main une tige rigide, la vibration n'est pas douce et continue ; au contraire elle est irrégulière et saccadée, et caractérisée par deux haltes ou pauses (points morts), l'un se présentant à la fin du coup ascendant, l'autre à la fin du coup descendant. Cet inconvénient mécanique est accompagné de conséquences sérieuses en ce qui concerne la puissance et la vitesse — le ralentissement de l'aile à la fin du coup ascendant et du descendant impliquant une grande dépense de force et une désastreuse perte de temps. L'aile, pour être efficace comme organe élévateur et propulseur, ne doit pas avoir de points morts et doit être caractérisée par un rapide mouvement de van ou d'éventail. Elle doit se renverser et alterner avec la rapidité et la douceur les plus parfaites ; en fait, le mouvement doit paraître aussi continu que celui d'un volant en mouvement rapide : il en est ainsi chez l'insecte (fig. 64, 65 et 66, p. 192).

Pour obvier à cette difficulté, il est nécessaire, à mon avis, d'employer une *baguette effilée élastique* ou une

série de baguettes attachées ensemble pour faire le bord antérieur de l'aile.

Si l'on prend une section longitudinale de canne de bambou, de dix pieds de long, et d'un pouce de large (fig. 117) par l'extrémité, et qu'on la fasse vibrer, on trouvera qu'il produit un mouvement ondulé, sinueux, dont les ondes sont les plus grandes quand la vibration est la plus lente (fig. 118), et les moindres quand elle est la plus rapide (fig. 119). On trouvera de plus qu'à l'extrémité de la canne où l'on communique l'impulsion, il y a un *ferme mouvement alternatif dépourvu de points morts*. Le mouvement continu en question est, sans nul doute, dû au fait que les diverses portions de la canne se renversent aux diverses périodes, — les ondulations produites étant à un mouvement interrompu ou vibratoire, à fort peu près ce que le jeu continu d'une roue-volant est à un mouvement rotatoire.

Aile ondulée de Pettigrew. — Si à une canne semblable on ajoute des baguettes effilées de baleine, qui rayonnent en dehors d'un pied ou à peu près, et si les baleines sont couvertes d'une mince lame de caoutchouc, on aura de suite produit une aile artificielle ressemblant dans tous ses points essentiels à l'aile naturelle (fig. 120). Je propose, à cause de la particularité de ses mouvements, de lui donner le nom d'aile ondulée (fig. 121). Si l'on fait vibrer à sa base l'aile en question (fig. 121), il se produit immédiatement une série de vibrations longitudinales (*cde*) et transverses (*fgh*); l'une des séries courant dans la direction de la longueur de l'aile; l'autre dans la direction de sa largeur (voyez p. 205). De plus cette aile se tord et se

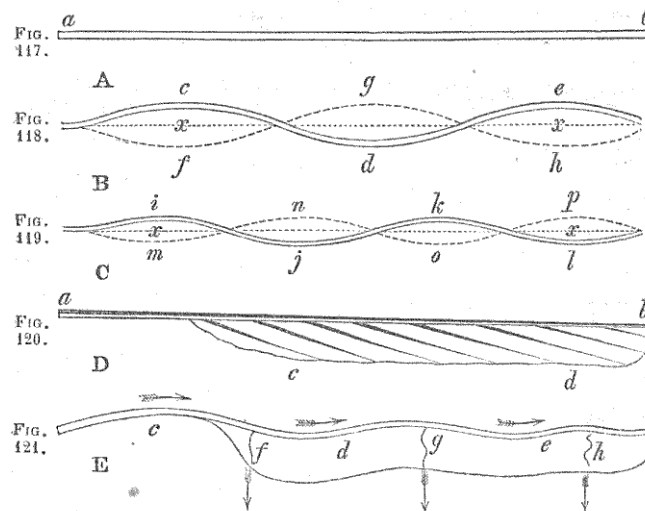


FIG. 117. — Représentant une section longitudinale de canne, de bambou de dix pieds de long sur un pied de large. — *Originale.*

FIG. 118. — Apparence présentée par la même canne, quand on la fait vibrer avec la main. La canne vibre de chaque côté d'une ligne donnée ($x\ x$), et paraît être en deux endroits en même temps, c'est-à-dire, c et f , g et d , e et h . Elle se projette ainsi pendant la vibration en figures en 8 ou en courbes opposées. — *Originale.*

FIG. 119. — La même canne, quand on la fait vibrer plus rapidement. Dans ce cas, les ondes faites par la canne sont plus petites mais plus nombreuses. On voit alternativement la canne de chaque côté de la ligne ($x\ x$) tantôt en i et tantôt en m , tantôt en n et tantôt en j , tantôt en k et tantôt en o , tantôt en p et tantôt en l . La canne, quand elle est mise en vibration, n'a pas de points morts, circonstance due à ce fait qu'aucune de ces deux parties ne change ou ne renverse ses courbes précisément au même instant. Ce curieux mouvement alternatif permet à l'aile de suiser l'air et de s'en dégager avec une étonnante rapidité. — *Originale.*

FIG. 120. — La même canne à laquelle on a ajouté une frange ou rideau élastique. Cette frange consiste en baguettes de baleine amincies, couvertes d'une mince couche de caoutchouc. $a\ b$, marge antérieure de l'aile. $c\ d$, marge postérieure. — *Originale.*

FIG. 121. — Donnant l'apparence présentée par l'aile artificielle (fig. 120) quand on la fait vibrer à la main. Elle forme des ondes longitudinales et transversales. Les ondes longitudinales sont représentées par les flèches $c\ d\ e$, et les transversales, par les flèches $f\ g\ h$. Une aile construite d'après ce principe donne continuellement une puissance élévatrice et propulsive. Elle développe des courbes en 8, pendant son action dans des directions longitudinales, transversales et obliques. Elle flotte littéralement sur l'air. Elle n'a pas de points morts. Elle est mise en vibration par une puissance étonnamment petite, et n'a pas en apparence de glissement inutile. Elle peut voler dans des directions ascendantes, descendantes horizontales simplement en changeant l'angle d'inclinaison avec l'horizon. Elle s'applique à l'air par un mouvement irrégulier, ce mouvement étant plus soudain et plus vigoureux au commencement du coup descendant. — *Originale.*

PETTIGREW.

21

détord, comme on le voit fig. 122, p. 324 (comparez aux fig. 82 et 83, p. 218; fig. 86, p. 223, et fig. 103, p. 255). Il y a encore un jeu continu de l'aile, le coup descendant se fondant avec l'ascendant, *et vice versa*, ce qui montre clairement que les coups ascendant et descendant sont les parties d'un tout, et que l'un ne peut être parfait sans l'autre.

L'aile ondulée est douée de la propriété très-remarquable de pouvoir voler en toute direction, ce qui démontre plus ou moins clairement que le vol est essentiellement un mouvement progressif, c'est-à-dire un mouvement horizontal plutôt qu'un vertical. Ainsi, si la marge antérieure de l'aile est dirigée en haut, de manière que sa surface inférieure forme avec l'horizon un angle *antérieur* de 45 degrés, l'aile, quand on la fera vibrer à la main, volera avec un pouvoir ondulatoire dans une *direction ascendante*, comme un pigeon vers le colombier. Si sa surface inférieure ne fait pas d'angle ou un très-petit angle en avant avec l'horizon, l'aile s'élancera par une série de courbes dans une *direction horizontale*, comme une corneille dans un vol horizontal rapide. Si la marge antérieure ou épaisse de l'aile est dirigée en bas, de façon que la surface inférieure de l'aile fasse *en arrière* un angle de 45 degrés avec l'horizon, l'aile décrira une courbe ondulée et volera *vers le bas* comme un moineau descendant d'un arbre ou d'un toit (p. 312). Dans tous ces mouvements, la progression est de nécessité. Les mouvements sont des glissades continues en avant. Il n'y a pas de halte ou de pause entre les coups, et si l'angle que fait la surface de l'aile avec l'horizon peut être convenablement réglé, la quantité de ferme puissance tractile

et élévatoire développée est vraiment étonnante. Cette forme d'aile que l'on peut regarder comme la réalisation de la théorie du vol en forme de 8, élève et pousse en même temps pendant le coup ascendant et le coup descendant, et son action n'est accompagnée presque d'aucun glissement inutile. Elle semble littéralement flotter sur l'air. Il n'y a pas d'aile dont le bord antérieur soit rigide qui puisse se tordre et se détordre pendant son action, et produire les courbes en 8 de chiffre engendrées par l'aile vivante. Pour produire les courbes en question, l'aile doit être élastique et capable de changer de forme dans toutes ses parties. Les courbes faites par les ailes artificielles, comme il a été dit, sont d'autant plus grandes que la vibration est plus lente, et d'autant moindre qu'elle est plus rapide. De même l'air est projeté en vastes ondes par le lent mouvement d'une grande aile, et en petites ondes par le rapide mouvement d'une petite. Les dimensions des courbes de l'aile et des ondes de l'air ont une relation fixe entre elles, et toutes deux dépendent de la rapidité avec laquelle l'aile est mise en vibration. Ceci est prouvé par ce fait que les insectes, pour voler, doivent, règle générale, mouvoir leurs ailes avec une immense rapidité. C'est de plus prouvé par le fait que le petit oiseau-mouche, pour se tenir stationnaire devant une fleur, a besoin de faire osciller ses frêles ailes avec une grande rapidité, tandis que le grand oiseau-mouche (*Patagona gigas*), comme l'indique Darwin, peut arriver au même résultat en battant ses larges ailes avec un mouvement très-lent et très-puissant. Chez les oiseaux plus grands, le mouvement est ralenti en proportion de la longueur de l'aile; les grues et les vautours meuvent leurs

ailes tout à fait à loisir, et les grands oiseaux océaniques se dispensent en grande partie de battre des ailes, et se confient pour la progression et le support aux ailes dans la position étalée.

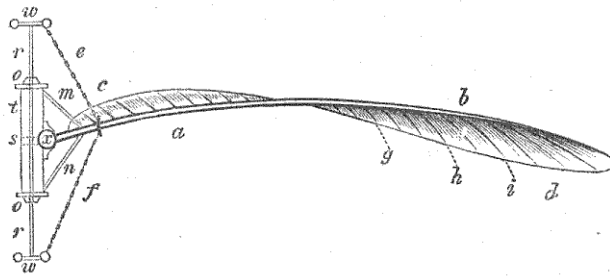


FIG. 123. — Aile élastique spirale; qui se tord et se détord pendant son action pour former une vis ou une hélice mobile. L'aile est mise en vibration par la vapeur à l'aide d'un piston à action directe, et par une faible modification peut être poussée verticalement, horizontalement, ou à tout degré d'obliquité.

a, b, Marge antérieure de l'aile à laquelle sont fixés les nerfs ou côtes. *c, d*, Marge postérieure croisant l'antérieure. *x* Articulation en boule et emboîture à la racine de l'aile; l'aile étant attachée au côté du cylindre par la cavité. *t*, Cylindre. *r, r'*, Piston avec les têtes transversales (*w, v*) et la base du piston (*s*). *o, o'*, Boîtes à étoupes. *e, f*, Chaines motrices. *m*, Corde supérieure élastique, qui aide à élever l'aile. *n*, Corde élastique inférieure antagoniste de *m*. La tension alternative des cordes élastiques inférieure et supérieure contribue au jeu continu de l'aile, en empêchant les points morts à la fin des coups ascendants et descendants. L'aile peut se mouvoir dans une direction horizontale, verticale ou d'une obliquité quelconque. — *Originale*.

Ceci m'amène à conclure que les ailes très-grandes peuvent être animées d'un mouvement relativement lent, fait de grande importance pour le vol artificiel obtenu par un battement d'ailes.

Comment construire une aile artificielle ondulée sur le type insecte. — Les points suivants me paraissent essentiels pour la construction d'une aile artificielle :

L'aile doit avoir une forme générale triangulaire.

Elle doit s'amincir de la base à l'extrémité, et de la marge antérieure à la postérieure.

Elle doit être convexe en dessus et concave en dessous et légèrement tordue sur elle-même.

Elle doit être flexible et élastique en tous ses points et doit se tordre et se détordre pendant sa vibration, pour produire des courbes en 8.

Une telle aile est représentée fig. 122 (p. 324).

Si l'aile est de plus d'une pièce, il faut ajouter au corps de l'aile des articulations et des ressorts.

En faisant un modèle d'une seule pièce sur le modèle de l'aile de l'insecte, tel qu'on le voit fig. 122 (p. 324), j'emploie un ou plusieurs roseaux élastiques effilés, qui se courbent de haut en bas (*ab*) pour le bord antérieur. A ceci j'ajoute des roseaux élastiques amincis qui rayonnent vers l'extrémité de l'aile, et qui se courbent également de haut en bas (*g, h, i*). Ces derniers sont disposés de manière à donner à l'aile *un certain degré de spirauté*; les marges antérieure (*ab*) et postérieure (*cd*) étant disposées en divers plans de manière à paraître se croiser.

Si l'aile est grande, j'emploie des tubes d'acier courbés selon la forme convenable. Dans quelques cas j'assure une force additionnelle en ajoutant aux nervures ou soutiens obliques (*g h i* de la fig. 122), une série de soutiens très-obliques, et une autre série de soutiens transversaux, comme on le voit en *m* et *a, n, o, p, q*, de la fig. 123, p. 326.

On fait osciller cette forme d'ailes sur deux centres, c'est-à-dire la base et la marge antérieure pour mettre en évidence l'action excentrique particulière de l'aile.

Si je veux produire une aile délicate, légère, je le fais

FIG. 123.

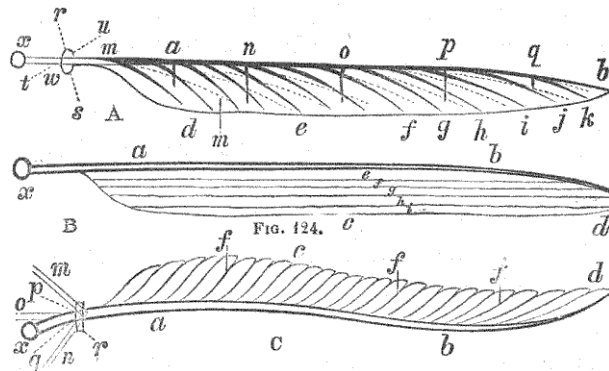


FIG. 125.

FIG. 123. — Aile artificielle avec des cordes élastiques attachées perpendiculairement (*r s*) et horizontalement (*t u*) à l'anneau *w*.

a, b, Fort roseau élastique qui s'effile vers le bout de l'aile.

d, e, f, h, i, j, k, Roseaux courbes effilés qui courent obliquement du bord antérieur au bord postérieur de l'aile et qui rayonnent vers l'extrémité.

m, Roseaux semblables courbés, s'étendant encore plus obliquement.

a, n, o, p, q, Roseaux courbes effilés qui s'étendent du bord antérieur de l'aile et à angle droit avec elle. Ceux-ci supportent les deux groupes de roseaux obliques et donnent encore plus de force au bord postérieur.

x, Articulation en boule et emboîture par laquelle la racine de l'aile est attachée au cylindre, comme fig. 122, p. 324. — *Originale*.

FIG. 124. — Aile élastique avec roseau élastique effilé (*a b*) s'étendant le long du bord antérieur.

c, d, Bord postérieur de l'aile. *i*, Portion de l'aile composée d'une couche de matière flexible. *h*, Portion de l'aile composée de deux couches.

g, Portion de l'aile composée de trois couches. *f*, Portion de l'aile composée de quatre couches. *e*, Portion de l'aile composée de cinq couches.

x, Articulation en boule et emboîture à la racine de l'aile. — *Originale*.

FIG. 125. — Aile valvulaire flexible avec ressorts de caoutchouc attachés à sa base.

a, b, Bord antérieur de l'aile effilé et élastique. *c, d*, Bord postérieur de l'aile élastique. *f, f, f*, Segments qui s'ouvrent pendant le coup ascendant et se ferment pendant le coup descendant à la manière de soupapes. Ils sont très-étroits et s'ouvrent et se ferment instantanément. *x*, Articulation universelle. *m*, Corde élastique supérieure. *n*, Id. inférieure. *p, q*, Id. oblique. *r*, Anneau auquel sont fixés les cordons élastiques. — *Originale*.

en choisissant un fin roseau élastique comme le représente *ab* de la fig. 124.

A ceci j'ajoute des couches successives (*i, h, g, f, e,*) de quelque matière flexible, parchemin, bougran, toile cirée, ou même papier. Comme les couches empiètent l'une sur l'autre, il suit qu'il y a cinq couches à la marge antérieure (*a b*), et une seule à la postérieure (*c d*). Cette forme d'aile n'est pas tordue sur elle-même par structure, mais elle se tord et se détord, et devient une véritable hélice pendant son action.

Comment construire une aile ondulée qui évitera l'air supérieur pendant le coup ascendant. — Pour construire une aile qui évitera l'air pendant le coup ascendant, il est nécessaire de la faire valvulaire, comme on le voit fig. 125.

Cette aile, comme l'indique la figure, est composée de nombreux segments étroits (*f f f*) arrangés de façon que l'air, quand l'aile est mise en vibration, les ouvre et les sépare au commencement du coup ascendant, et les ferme ou les rapproche au commencement du coup descendant.

Le temps et la puissance nécessaire pour ouvrir et fermer les segments sont comparativement insignifiants, grâce à leur extrême étroitesse et à leur extrême légèreté. De plus l'espace qu'elle traverse en accomplissant son action valvulaire est excessivement petit. L'aile que nous examinons est en tous les points flexible et élastique, et ressemble dans tous ses traits généraux aux autres ailes décrites.

J'ai aussi construit une aile qui agit d'elle-même dans

un autre sens. Elle consiste en deux parties, — l'une faite d'un roseau élastique qui s'amincit vers l'extrémité; l'autre d'une voile flexible. Au roseau qui correspond à la marge antérieure de l'aile, des roseaux délicats amincis sont fixés à angle droit; le roseau principal et les subordonnés sont disposés dans le même plan. La voile flexible est attachée à la surface supérieure du roseau principal, et elle est plus raide à son insertion que vers son extrémité libre. Quand l'aile monte, la voile, à cause de la pression exercée par sa surface supérieure sur l'air, prend une direction très-oblique, de façon que la résistance éprouvée par elle pendant le coup ascendant est très-faible. Quand, cependant, l'aile descend, la voile frappe dans une direction ascendante, les roseaux secondaires ne permettent jamais à sa marge postérieure ou libre de s'élever au-dessus de la marge antérieure fixe. La surface inférieure de l'aile descend en conséquence de manière à présenter à la terre une surface à peu près plate. Elle éprouve une grande résistance de la part de l'air pendant le coup descendant, et la quantité de force élévatrice ainsi obtenue est très-considérable. La forme d'aile ci-dessus est plus efficace pendant le coup descendant que pendant l'ascendant. Cependant elle élève et pousse pendant tous les deux, l'impulsion en avant étant la plus grande pendant le coup descendant.

Aile ondulée composée de l'Auteur. — Afin de rendre les mouvements de l'aile aussi simples que possible, j'ai été conduit à imaginer une forme d'aile que pour distinguer j'appellerai *aile ondulée composée*. — Cette aile consiste en deux ailes ondulées unies à la base, comme le

représente la figure 126. Elle est mue par la vapeur, son centre étant fixé à la tête du piston par une articulation composée (x) qui lui permet de se mouvoir en cercle, et

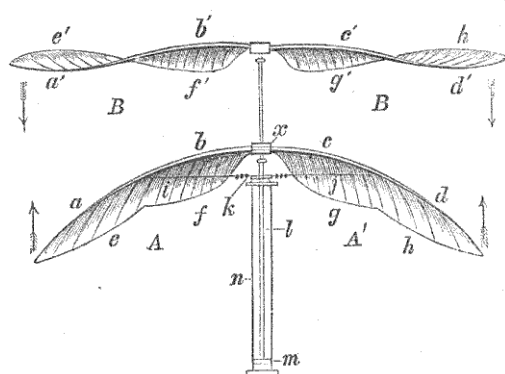


FIG. 126.

de tourner le long de son bord antérieur ($a b c d$; $A A'$) dans la direction de sa longueur. Le mouvement circulaire ne sert que dans le but de diriger. L'aile s'élève et tombe avec chaque coup de piston, et les mouvements du piston sont accélérés pendant le coup descendant et ralentis pendant le coup ascendant.

Pendant le coup ascendant, l'aile est très-décidément convexe à sa surface supérieure ($a b c d$; $A A'$), sa surface inférieure est profondément concave et inclinée obliquement en haut et en avant. Elle évite ainsi l'air pendant le coup ascendant. Pendant le coup descendant du piston, l'aile est aplanie dans toute direction, et ses extrémités tordues de manière à former deux vis comme on le voit en $a' b' c' d'$; $e' f' g' h'$, $B B'$, de la figure. L'aire active de l'aile est augmentée par ce moyen, l'aile saisissant

l'air avec grande avidité pendant le coup descendant. La surface de l'aile peut encore être augmentée ou diminuée pendant les coups ascendant et descendant en ajoutant des articulations au corps de l'aile. Le degré de convexité donné à la surface supérieure de l'aile peut augmenter ou diminuer à volonté à l'aide d'une corde ($i j$; A, A') et d'une bande élastique (k) étendue entre les deux points, et qui peuvent varier suivant les circonstances. L'aile est munie de deux ressorts verticaux qui l'aident à ralentir et à se renverser vers la fin des coups ascendant et descendant, et qui, d'accord avec les propriétés élastiques de l'aile elle-même, aident puissamment à la continuité de son jeu. L'aile ondulée produit les courants sur lesquels elle s'élève. Ainsi, pendant le coup ascendant, elle entraîne après elle un courant qui, rencontré par l'aile pendant sa descente, lui donne un pouvoir élévateur et propulseur additionnel. Pendant le coup descendant, l'aile de même manière entraîne un courant qui forme un tourbillon, et sur ce tourbillon l'aile s'élève comme on l'explique p. 343, fig. 129. L'ascension de l'aile est favorisée par l'air superposé agissant sur la surface supérieure du bord postérieur de cet organe, de manière à faire prendre à l'aile une direction de plus en plus oblique par rapport à l'horizon. Ce changement dans le plan de l'aile permet à sa surface supérieure d'éviter l'air superposé pendant le coup ascendant, tandis qu'il donne à sa surface inférieure une action combinée de cerf-volant et de parachute. L'aile composée saute en avant suivant une courbe à la fois pendant le coup ascendant et le descendant, de manière qu'elle décrit pendant ses vibrations une courbe ondulée, comme on le voit en a, c, e, g, i de

la fig. 81, p. 216. L'aile ondulée composée possède la plupart des particularités des ailes simples que l'on fait vibrer séparément. Elle forme le plus admirable élévateur et propulseur, et a cet avantage sur les ailes ordinaires, qu'elle peut être mise en mouvement sans s'endommager, pendant que la machine qu'elle est destinée à élever repose sur le sol. Deux ou plusieurs ailes composées peuvent être arrangées sur le même plan, ou superposées et agir de concert. Elles peuvent aussi, par une légère modification, être mises en mouvement horizontalement au lieu de l'être verticalement. La longueur du coup de l'aile composée est déterminée en partie, quoique pas entièrement, par le coup du piston, — les extrémités de l'aile, à cause de leur élasticité, ayant un plus grand parcours que le centre de l'aile. En fixant l'aile à la tête du piston, on évite tout appareil d'engrenage, on réduit le nombre des articulations et des points actifs, — objet qui n'est pas sans importance quand il est désirable de conserver le pouvoir moteur et d'avoir peu de poids.

Comment appliquer à l'air les ailes artificielles. — Borelli, Durckheim, Marey, et les autres écrivains que je connais, affirment que l'aile doit vibrer *verticalement*.

Je crois que si l'aile est d'une seule pièce, elle doit vibrer *obliquement et plus ou moins horizontalement*. Si, cependant, on fait vibrer l'aile *verticalement*, il faut la munir d'une articulation en boule et bassinet, et de ressorts à sa base (*mn* de la fig. 125, p. 326); pour lui permettre de s'élancer en avant suivant une courbe quand elle descend (voyez *a, c e g, i* de la fig. 81, p. 216). Cette disposition convertit pratiquement la vibration verticale

en une oblique. Si ce plan n'est pas adopté, l'aile pourra se déformer à l'extrémité. Quand on applique l'air, il faut directement ou indirectement lui communiquer le mouvement en 8 de chiffre. C'est une particularité de l'aile artificielle convenablement construite (comme l'est l'aile naturelle), *qu'elle se tord et se détord, et forme pendant son action des courbes en 8* (voyez *ab, cd* de la fig. 122, p. 324), ce qui lui permet de saisir et de lâcher l'air avec une merveilleuse rapidité, et de manière à éviter les points morts. Si l'aile est de plusieurs pièces, elle vibre plus verticalement qu'une aile d'une seule pièce, parce que la moitié extérieure de l'aile se meut en avant et en arrière pendant que l'aile monte et descend de manière à devenir alternativement un long et court levier; cet arrangement permet à l'aile d'éviter la résistance présentée par l'air pendant le coup ascendant, et de saisir vigoureusement l'air pendant le coup descendant.

Si le corps de l'animal volant est dans une position horizontale, une aile, attachée de telle manière que sa surface inférieure regarde en avant et forme avec l'horizon un angle ascendant de 45 degrés, est en position pour être appliquée soit verticalement (fig. 82 et 83, p. 218) soit horizontalement (fig. 67, 68, 69 et 70, p. 195). Telle est de plus la configuration de l'articulation de l'épaule chez les insectes, chauves-souris et oiseaux, que l'aile peut s'appliquer sans inconvénient verticalement, horizontalement ou à tout degré d'obliquité ¹.

¹ Le poignet humain est formé de telle sorte que si l'on tient à la main une aile faisant un angle ascendant de 45°, la main peut l'appliquer sans difficulté à l'air dans une direction verticale ou horizontale. Cela provient de ce que la main a le pouvoir de se mouvoir dans une direction ascendante et descendante, et d'un

C'est de cette manière qu'un insecte peut commencer à voler en faisant faire à ses ailes des boucles horizontales en forme de 8 (fig. 71, p. 199), peut changer graduellement la direction des boucles, et les faire de plus en plus obliques jusqu'à ce qu'elles soient à peu près verticales (fig. 73, p. 199). Au commencement d'un tel vol, l'insecte se visse à peu près *verticalement vers le haut*; au milieu, il se visse *en haut et en avant*; vers la fin du vol l'insecte avance en *ligne ondulée presque horizontalement* (voyez *q' r 's'* de la fig. 72, p. 199). Les muscles de l'aile sont arrangés de manière qu'ils peuvent la pousser dans une direction oblique, verticale ou horizontale. C'est une affaire de la plus haute importance que la direction du coup et la nature des angles faits par la surface de l'aile pendant sa vibration avec l'horizon, soient bien distinctement compris; car c'est d'elles que dépendent tous les êtres volants quand ils cherchent à éviter la résistance de l'air, à s'assurer le maximum de force élévatrice et propulsive, et le minimum de glissement.

Nature des forces requises pour animer les ailes artificielles. — Borelli, Durkheim et Marey affirment qu'il suffit que l'aile s'élève et s'abaisse d'un mouvement rythmique dans une direction perpendiculaire, tandis que Chabrier pense qu'un mouvement d'abaissement seul est nécessaire. Tous ces observateurs s'accordent à croire que les détails du vol sont dus à la réaction de l'air sur la surface de l'aile. Des expériences répétées m'ont ce-

côté à l'autre avec une égale facilité. La main peut aussi tourner sur son grand axe, de manière qu'elle représente virtuellement tous les mouvements de l'aile à sa racine.

pendant convaincu que l'aile artificielle doit être complètement soumise au contrôle, à la fois pendant les coups ascendant et descendant, — les détails du vol étant dus en grande partie aux mouvements communiqués à l'aile par un agent intelligent. Afin de reproduire le vol à l'aide d'ailes artificielles, je trouve qu'il est nécessaire d'employer une puissance qui varie d'intensité à chaque plan des coups descendant et ascendant. La puissance qui convient le mieux est celle qui agit tout d'un coup et avec force au commencement du coup descendant; et qui, graduellement, diminue d'intensité jusqu'à la fin du coup descendant où elle cesse d'agir de haut en bas. La puissance agit alors de bas en haut, et décroît graduellement jusqu'à la fin du coup ascendant. La force s'applique ainsi d'une manière plus ou moins continue; son énergie augmente ou diminue selon la position de l'aile, et le montant de la résistance qu'elle éprouve de la part de l'air. La nature flexible et élastique de l'aile ondulée, aidée par certains ressorts dont j'ai présentement à parler, assure une vibration continue où il n'y a ni haltes ni points morts. J'obtiens le pouvoir variable nécessaire d'une action directe de piston, et du travail d'expansion de la vapeur. La puissance employée est matériellement assistée, surtout pendant le coup ascendant, par la réaction de l'air et les structures élastiques que je vais décrire. Une aile artificielle, poussée et réglée par les forces que je recommande, est à quelques égards aussi complètement soumise au contrôle que l'aile de l'insecte, de la chauve-souris et de l'oiseau.

Nécessité de munir la base des ailes artificielles de

structures élastiques en imitation des muscles et des ligaments élastiques des animaux volants. — Borelli, Durkheim et Marey, qui plaident la vibration perpendiculaire des ailes, ne font pas attention, à ce qu'il me semble, à l'élan de l'aile suivant une courbe en avant pendant les coups ascendant et descendant. En conséquence, dans leurs modèles, l'aile est articulée à la charpente par une simple jointure qui ne se meut que dans une direction, c'est-à-dire de haut en bas et *vice versa*. L'observation et l'expérience m'ont pleinement convaincu que l'aile artificielle, pour être efficace comme élévateur et propulseur, doit pouvoir se mouvoir non-seulement en haut et en bas, mais aussi *en avant, en arrière et obliquement*; et, de plus, qu'elle doit être libre de tourner le long de son bord antérieur *dans la direction de sa longueur*; en fait, que ses mouvements doivent être universels. Ainsi elle doit pouvoir s'élever ou tomber, avancer ou reculer, se mouvoir à tout degré d'obliquité, et tourner autour de son bord antérieur. Pour assurer les divers mouvements en question, je munis la base de l'aile d'une articulation en boule et emboîture, c'est-à-dire universelle (voyez *n* de la fig. 122, p. 324). Pour régler les divers mouvements quand l'aile vibre, et pour donner à l'aile les divers degrés d'inclinaison requis pour le vol aussi bien que pour laisser à l'aile aussi peu que possible à faire, j'emploie un système transversal de bandes élastiques. Ces bandes varient en longueur, en force et en direction, et sont attachées à la bande antérieure de l'aile (près de sa racine) et au cylindre (ou à la baguette s'étendant du cylindre) du modèle (voyez *m n* de la fig. 122, p. 324). Les principales bandes sont au nombre de quatre, — une

supérieure, une inférieure, une antérieure et une postérieure. La bande supérieure (m) s'étend entre la partie supérieure du cylindre du modèle et la surface supérieure de la marge antérieure de l'aile, la bande inférieure (n) s'étendant entre la partie inférieure du cylindre ou de la chaudière, et la surface inférieure de la marge antérieure de l'aile. Les bandes antérieures et postérieures sont attachées aux portions postérieures de l'aile et à des tiges s'étendant du centre et des portions antérieures et postérieures du cylindre. On ajoute des bandes obliques arrangées de manière à donner à l'aile pendant sa descente et son ascension les angles précis que fait l'aile dans le vol naturel. Les bandes supérieures sont plus fortes que les inférieures, et sont en état de tension pendant le temps descendant. Ainsi elles aident l'aile à dépasser le point mort à la fin du coup descendant, et aident, d'accord avec la réaction de l'air, à son élévation. Les bandes postérieures sont plus fortes que les antérieures pour restreindre dans certaines limites la grande tendance qu'a l'aile à s'élancer en courbe en avant vers la fin des coups descendant et ascendant. Les bandes obliques, aidées par l'air, donnent à l'aile le degré de rotation nécessaire dans la direction de sa longueur. Cet effet peut cependant être produit indépendamment par les quatre bandes principales. D'après ce qui a été dit, il devient évident que les bandes élastiques exercent une influence limitatrice, et qu'elles agissent à l'unisson avec le pouvoir moteur et avec la réaction fournie par l'air. Elles contribuent puissamment à la continuité de la vibration de l'aile, la vibration ayant cette particularité de varier en rapidité à chaque phase des coups ascendant et descendant. Je tire,

comme je l'ai déjà dit, le pouvoir moteur de l'action directe d'un piston, le piston étant mû soit par la vapeur agissant par expansion, soit par la main, s'il ne s'agit que de donner un exemple. Dans les modèles à la main, le « *sens musculaire* » informe tout de suite l'opérateur de ce qu'il faut faire. Ainsi, si l'une des ailes ondulées, munie d'une articulation en boule et emboîture, d'un système de bandes élastiques comme on l'a expliqué, reçoit une impulsion soudaine communiquée au commencement du coup descendant, l'aile *s'élance en bas et en avant en courbe* (voyez *ac* de la fig. 81, p. 216), et en le faisant elle élève et porte *en avant* le piston et le cylindre. La force employée à abaisser l'aile est en partie dépensée à tendre la bande élastique supérieure, l'aile se ralentissant vers la fin du coup descendant. A l'instant où la force abaissante cesse d'agir, la bande supérieure élastique se contracte et l'air réagit; les deux ensemble, s'unissant à la tendance qu'a le modèle à tomber en avant pendant le coup ascendant, élèvent l'aile. L'aile en descendant décrit une *courbe* en haut et en avant, comme on le voit en *ce* de la fig. 81, p. 216. L'ascension de l'aile tend la bande élastique inférieure de la même manière que la descente de l'aile tend la bande supérieure. Les bandes supérieure et inférieure se font opposition l'une à l'autre et alternent avec vivacité. Pendant que ces changements ont lieu, l'aile se tord et se détord dans la direction de sa longueur et développe des courbes en figures de 8, le long de ses bords (p. 324, fig. 122, *ab, cd*) et dans toute sa substance, semblables à ce que l'on observe dans des circonstances analogues dans l'aile naturelle (voyez fig. 86, p. 223; fig. 103, p. 255). De plus les angles faits par la surface inférieure de

l'aile avec l'horizon pendant les coups descendant et ascendant varient continuellement, — les ailes agissant tout ce temps comme un cerf-volant qui vole avec fermeté *en haut et en avant* (fig. 88, p. 229). Comme les bandes élastiques, ainsi qu'on l'a déjà partiellement expliqué, sont d'action opposée, l'aile oscille constamment dans quelque direction; il n'y a pas de point mort à la fin ou au commencement du coup ascendant. Comme conséquence, les courbes faites par l'aile, pendant les coups descendant et ascendant respectivement, passent l'une dans l'autre, de manière à former une courbe ondulée continue, comme le représente la fig. 81, p. 216, et 88, p. 229. Un mouvement continu fournit constamment la faculté de se soutenir, et il est tout à fait remarquable de voir à quel point des ailes construites et appliquées à l'air d'après les principes expliqués, élèvent et poussent, — combien peu de force elles demandent, et combien peu de pouvoir est perdu en glissement.

Si le piston qui, dans l'expérience décrite, a opéré *verticalement* est mis en mouvement horizontal, on obtiendra une série de résultats essentiellement semblables. Quand le piston opère horizontalement, les bandes élastiques antérieures et postérieures doivent être à peu près de la même force, tandis que la bande inférieure élastique doit être beaucoup plus forte que la supérieure, pour contrebalancer la tendance très-décidée qu'a l'aile à voler vers le haut. La puissance doit être aussi appliquée quelque peu différemment. Ainsi, il faut avoir communiqué à l'aile une violente impulsion, quand elle commence le coup de droite à gauche, et aussi quand elle commence le

coup de gauche à droite (les parties pleines de la ligne spirale représentée fig. 71, p. 199, indiquent les points où se communique l'impulsion). L'aile est alors laissée à elle-même, les bandes élastiques et la réaction de l'air faisant le reste de l'ouvrage. Quand l'aile est forcée par le piston de droite à gauche, elle se lance en avant en double

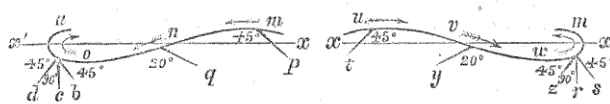


FIG. 127.

FIG. 128.

FIG. 127. — Trajectoire décrite par l'aile artificielle ondulée de droite à gauche. x, x' , Horizon. m, n, o , parcours ondulé suivi par l'aile de droite à gauche. p , Angle fait par l'aile avec l'horizon au commencement du coup. q , Id. fait au milieu du coup. b , Id. vers la fin du coup. c , l'Aile en train de se renverser; à cette période l'aile fait un angle de 90° avec l'horizon et sa vitesse est moindre qu'en tout autre point de son parcours. d , Aile renversée et en train de s'élancer vers u , pour commencer le coup de gauche à droite. (Voy. u de la fig. 128.) — *Originale.*

FIG. 128. — Parcours décrit par l'aile artificielle de gauche à droite. x, x' , Horizon. u, v, w , Courbe ondulée décrite par l'aile de gauche à droite. t , Angle fait par l'aile avec l'horizon au commencement du coup. y , Id. au milieu du coup. z , Id. vers la fin du coup. r , Aile dans l'acte du renversement; à ce moment l'aile fait un angle de 90° avec l'horizon, et sa vitesse est moindre qu'à tout autre point de son parcours. s , Aile renversée, et dans l'acte de s'élancer vers m , pour commencer le coup de droite à gauche. (Voy. m de la fig. 127.) — *Originale.*

courbe comme on le voit fig. 127; les surfaces diversement inclinées faites par l'aile avec l'horizon changeant à chaque phase du coup.

Au commencement du coup de droite à gauche, l'angle fait par la surface inférieure de l'aile avec l'horizon (xx') est quelque chose comme 45 degrés (p), tandis qu'au milieu du coup, il est réduit à 20 ou 25 degrés (q). A la fin du coup, l'angle augmente graduellement jusqu'à 45 degrés (b), puis jusqu'à 90 degrés (c), après quoi l'aile fait une culbute soudaine (d), et se renverse précisément comme

le fait l'aile naturelle, en *efg* des fig. 67 et 69, p. 195. L'aile artificielle se retourne avec une merveilleuse facilité, et de la manière la plus naturelle possible. Les angles faits par sa surface inférieure avec l'horizon dépendent particulièrement de la vitesse que l'aile possède aux diverses phases du coup ; l'angle décroissant quand la vitesse augmente, et *vice versa*. Comme conséquence l'angle est le plus grand quand la vitesse est la moindre.

Quand l'aile atteint le point *b*, sa vitesse est beaucoup plus petite qu'elle ne l'était en *q*. L'aile, en effet, se prépare à se retourner. En *c*, l'aile est dans l'acte du retournement (comparez *c* des fig. 84 et 85, p. 221) et, comme conséquence, sa vitesse est minimum, et l'angle qu'elle forme avec l'horizon maximum. En *d*, l'aile est renversée, sa vitesse accrue et l'angle fait avec l'horizon diminué. Entre les lettres *d* et *u*, l'aile s'élance soudain comme un cerf-volant dans l'air, et en *u*, elle est en position de commencer le coup de gauche à droite, comme on l'indique en *u*, fig. 128, p. 339. Le parcours décrit et les angles faits par l'aile avec l'horizon pendant le coup de gauche à droite, sont représentés fig. 128 (comparez aux fig. 68 et 70, p. 195). Le coup de gauche à droite est, sous tous les rapports, l'inverse du coup de droite à gauche, de sorte qu'une description séparée n'est pas nécessaire.

L'aile artificielle ondulée peut être mue avec une vitesse quelconque, — elle peut créer ses propres courants ou utiliser ceux qui existent. — Le trait remarquable de l'aile artificielle ondulée est sa facilité d'adaptation. On peut la mouvoir lentement ou avec une étonnante rapidité. Elle n'a pas de points morts. Elle se retourne instantané-

ment, de telle manière qu'elle ne perd ni temps ni puissance. Elle saisit et évite alternativement l'air, de manière à en extraire le maximum de support avec le minimum de glissement, et le minimum de force. Elle fournit un degré vraiment remarquable de support et de force propulsive. Sa surface de support est à peu près égale à un demi-cercle. Elle peut agir sur l'air, et elle peut créer et utiliser ses propres courants. Je le prouve de la manière suivante. Je fais donner à l'aile un coup horizontal de droite à gauche au-dessus d'une bougie ; l'aile s'élève rapidement comme le ferait un cerf-volant, et après un court intervalle, la flamme de la bougie est soufflée avec persistance de droite à gauche. J'attends alors jusqu'à ce que la flamme de la bougie ait repris sa position perpendiculaire normale, après quoi, je fais donner à l'aile un autre coup opposé de gauche à droite. De nouveau l'aile s'élève comme un cerf-volant, et la flamme est une deuxième fois modifiée, étant dans ce cas soufflée de gauche à droite. Je fais maintenant vibrer l'aile vivement et rapidement au-dessus de la bougie, avec ce résultat curieux, que la flamme ne s'incline pas alternativement de droite à gauche et de gauche à droite. Au contraire, elle s'éloigne nettement de moi, dans la direction de l'extrémité de l'aile, montrant ainsi que les courants artificiels faits par l'aile se rencontrent et se neutralisent toujours au milieu des coups. J'ai aussi trouvé que dans ces remarquables circonstances, la puissance de support de l'aile est remarquablement augmentée.

Rotation composée de l'aile ondulée artificielle : les différentes parties de l'aile voyagent avec des vitesses

différentes. — L'aile artificielle, comme la naturelle, tourne autour de deux centres (*ab*, *cd* de la fig. 80, p. 206; fig. 83, p. 218, et fig. 122, p. 324) et doit beaucoup de sa puissance de s'élever, de progresser, de saisir et d'abandonner, à ce que ses différentes portions voyagent avec des vitesses différentes (voyez fig. 56, p. 167), à l'énergie avec laquelle elle se roule et se déroule pendant le mouvement de va et vient. Ainsi l'extrémité de l'aile se meut dans un temps donné dans un espace beaucoup plus grand que la racine, tandis que le bord antérieur est le centre ou l'axe de rotation de la marge postérieure. De plus, le momentum acquis par l'aile pendant le coup de droite à gauche est dépensé à retourner l'aile, et à la préparer au coup de gauche à droite et *vice versa*; un mouvement continu de va et vient, dépourvu de points morts, s'établit ainsi. Si l'aile artificielle est prise à la main et subitement abaissée *dans une direction plus ou moins verticale*, elle s'élance de nouveau vers le haut et entraîne la main avec elle. Elle décrit en effet une courbe dont la convexité est dirigée vers le bas, et en le faisant, elle entraîne la main en haut et en avant. Si l'on ajoute un second coup descendant, on forme une seconde courbe; les courbes se fondant l'une dans l'autre et produisant une ligne ondulée semblable à celle qui est représentée en *a, c, e g, i*, de la fig. 81, p. 216. Ce résultat est facilité si l'opérateur court en avant de manière à ne pas empêcher ou limiter l'action de l'aile.

Comment l'aile artificielle crée des courants et s'élève sur eux, et comment l'air aide à l'élévation de l'aile. — Afin de s'assurer dans quelle proportion l'air contribue à

l'élévation de l'aile, j'ai fait une série d'expériences avec des ailes naturelles et des artificielles. Ces expériences m'ont amené à conclure que quand l'aile descend comme chez la chauve-souris et l'oiseau, elle comprime et pousse devant elle dans une direction descendante en avant, une

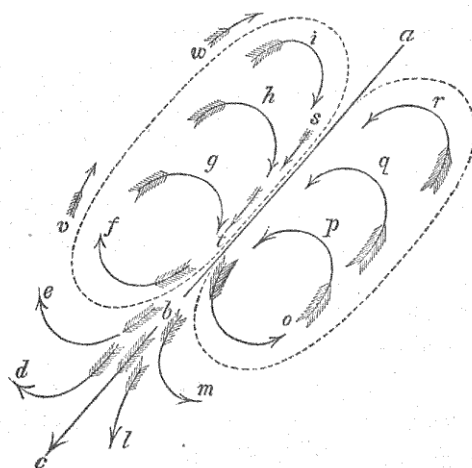


FIG. 129.

colonne d'air représentée par *a, b, c*, de la fig. 129¹. L'air s'élance de tous côtés pour remplacer l'air déplacé comme on le voit en *d, e, f, g, h, i*, et produit ainsi un cercle de mouvement indiqué par la ligne pointillée *s, t, v, w*. L'aile s'élève à l'extérieur du cercle en question, et plus particulièrement en *d, e, v, w*. Les flèches, on l'observera, poin-

¹ Les courants artificiels produits par l'aile quand elle descend peuvent se voir aisément en remplissant partiellement une chambre de vapeur, de fumée ou de quelque poudre blanche impalpable, et en y faisant descendre l'aile. — Avec un peu de pratique l'œil ne manquera pas de découvrir les courants représentés en *d, e, f, g, h, i, l, m, n, o, p, q, r*, de la fig. 129.

tent toutes vers le haut, et comme ces flèches indiquent la direction du courant réfléchi ou de retour, il n'est pas difficile de comprendre comment l'air vient indirectement aider à l'élévation de l'aile. Un courant semblable se produit à droite de la figure, comme il est indiqué en l, m, n, o, p, q, r , mais en voyant que l'aile avance toujours, il n'est pas nécessaire de tenir compte de ceci.

Si l'on fait prendre à la fig. 129 une position horizontale au lieu de l'oblique qu'elle occupe à présent, la manière dont un courant artificiel est produit par un coup d'aile de droite à gauche, et utilisé par elle dans un coup subséquent de gauche à droite, se comprendra aisément. L'aile artificielle fait un coup horizontal de droite à gauche, c'est-à-dire qu'elle passe du point a au point c de la fig. 129. Pendant son passage elle a déplacé une colonne d'air. Pour remplir le vide ainsi créé, l'air s'élance de tous côtés, c'est-à-dire de $d, e, f, g, h, i; l, m, o, p, q, r$. Les courants marqués $g, h, i; p, q, r$, représentent les courants réflexes ou artificiels. Ce sont les courants qui, après un court intervalle, forcent la flamme de droite à gauche. Ce sont les mêmes courants que l'aile rencontre et qui contribuent si puissamment à son élévation, quand elle frappe de gauche à droite. L'aile, quand elle s'élance de gauche à droite, produit une nouvelle série de courants artificiels qui ont autant de pouvoir pour élever l'aile quand elle passe une seconde fois de droite à gauche, et ainsi l'acte de créer et d'utiliser les courants continue tant que l'aile oscille. En faisant onduler l'aile artificielle de côté et d'autre, j'ai trouvé que l'on obtenait les meilleurs résultats quand la portée de l'aile et la vitesse avec laquelle elle était menée étaient réglées de manière

à produire une parfaite alternative. Ainsi, si la portée de l'aile est grande, la vitesse aussi doit être élevée, autrement l'air mis en mouvement par le coup droit ne serait pas utilisé par le coup gauche et *vice versa*. Si, d'autre part, la portée de l'aile est petite, la vitesse doit aussi être faible, car le coup court permettra à l'aile d'alterner aussi parfaitement que quand le coup est plus long et la vitesse plus grande. Quand la vitesse atteinte est élevée, les angles faits par la surface inférieure de l'aile avec l'horizon diminuent ; quand elle est faible, les angles augmentent. De ces remarques il est évident que l'aile ondulée artificielle alterne de la même manière que l'aile naturelle ; l'alternative étant la plus parfaite quand l'aile vibre en un point donné, et la moins parfaite quand elle voyage horizontalement avec une vitesse élevée.

L'aile artificielle poussée à divers degrés de vitesse pendant le coup descendant et le coup ascendant. — La tendance qu'a l'aile artificielle à s'élever de nouveau quand elle est vigoureusement et subitement abaissée, explique pourquoi les muscles *élevateurs* de l'aile doivent être petits par rapport aux muscles *abaisseurs*, ces derniers étant quelque chose comme sept fois plus grands que les premiers. Que la contraction des muscles *élevateurs* soit nécessaire à l'élévation de l'aile, cela est amplement prouvé par leur présence, et il ne faut pas s'étonner qu'il y ait une aussi grande différence entre les volumes des muscles *élevateurs* et *abaisseurs*, quand on se rappelle que la descente rapide des ailes doit élever tout le corps, la descente des ailes étant entièrement due à la vigoureuse contraction des puissants muscles pecto-

raux. Si, cependant, l'aile s'élevait avec autant de force qu'elle s'abaisse, on n'y gagnerait aucun avantage, car l'aile pendant sa montée (elle agit contre la pesanteur) éprouverait autant de résistance de la part de l'air qu'elle en éprouvait pendant sa descente. L'aile est donc élevée plus lentement qu'elle n'est abaissée; les muscles élévateurs exerçant une influence contrôlante et limitatrice. En ralentissant l'aile pendant le coup ascendant, l'air a une occasion de réagir sur sa surface inférieure.

L'aile artificielle ondulée en tant que propulseur. —

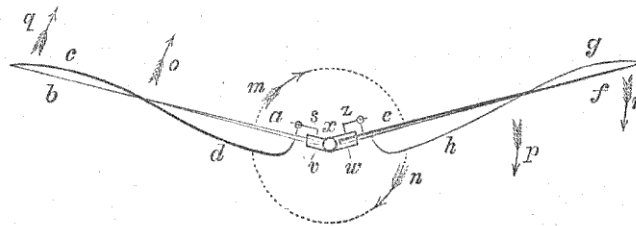


FIG. 130. — Hélice aérienne ondulée dont les lames sont légèrement tordues ($a b, c d; e f, g h$), de façon que les portions les plus rapprochées de la base ($d h$) faisant avec l'horizon un angle plus grand que les parties voisines de l'extrémité ($b f$) l'angle est ainsi ajusté à la vitesse acquise par les diverses parties de l'hélice. L'angle admet un ajustement plus complet au moyen de ressorts d'acier z, s , exerçant une influence restreignante et, jusqu'à un certain point, régulatrice qui prévient effectivement le choc.

Par cette figure, on verra immédiatement que les portions d'hélice marquées m et n , voyagent avec une vitesse beaucoup plus petite que celles marquées o et p , et celles-ci encore plus lentement que celles marquées q et r (Comparez à la fig. 56, p. 167). Comme, cependant, l'angle d'une aile ou d'une portion d'aile varie, ainsi que je l'ai indiqué, pour s'accommoder à la vitesse atteinte par l'aile ou la portion d'aile, il s'ensuit que pour faire l'hélice ondulée mécaniquement parfaite, les angles faits par ses diverses parties doivent être exactement adaptés au parcours de ses diverses parties, comme on l'a indiqué ci-dessus.

x , Tube vertical pour recevoir l'arbre moteur. v, w , Cavités dans lesquelles tournent les racines des lames de l'hélice, le degré de rotation étant limité par les ressorts d'acier z, s . $a b, e f$, Roseaux effilés élastiques formant les bords antérieurs épais des lames de l'hélice. $d c, h g$, Bords élastiques, postérieurs ou minces des lames de l'hélice. $m n, o p, q r$, Rayons formés par les diverses portions des lames de l'hélice en opération. Les flèches indiquent la direction du déplacement. — *Originale.*

L'aile artificielle ondulée forme un admirable propulseur si son extrémité est dirigée *verticalement vers le bas* et frappe de côté et d'autre en godillant suivant une figure en 8, semblable à celle qu'exécute la queue du poisson. On peut faire agir de concert trois ailes avec un très-bon résultat; deux d'entre elles vibrent en figure de 8 dans une direction plus ou moins horizontale, en vue d'élever; la troisième est tournée dans une direction descendante, et agit verticalement dans le but de faire avancer.

Nouvelle forme d'hélice aérienne. — Si l'on place bout à bout deux des ailes ondulées représentées fig. 122, p. 324, et si on les unit à une portion verticale de tube pour former une hélice à deux lames semblables à celles employées pour la navigation, on aura tout de suite produit la plus puissante hélice aérienne, comme on le voit fig. 130.

Cette hélice que, pour l'uniformité, j'appellerai *hélice ondulée aérienne*, possède pour la locomotion aérienne des avantages auxquels ne peut prétendre aucune hélice *rigide* imaginée jusqu'ici. La manière dont elle se cramponne à l'air pendant sa révolution, et la quantité de puissance de support qu'elle possède sont tout à fait étonnantes. C'est une hélice qui se règle, s'ajuste d'elle-même, et comme ses parties composantes sont flexibles et élastiques, elle s'accommode à la vitesse à laquelle elle est poussée, et donne un support uniforme. Je puis ajouter que le glissage n'existe que de nom. L'hélice est excessivement légère et doit son efficacité à la forme et à la nature graduée de ses lames; la marge antérieure de chaque lame étant comparativement rigide, la postérieure étant

comparativement flexible, et plus ou moins élastique. Les lames sont des cerfs-volants dans le même sens que les ailes naturelles en sont. Elles volent quand l'hélice tourne. Je trouve que l'hélice aérienne ondulée vole le mieux et s'élève le plus quand ses angles sont inclinés d'un certain degré vers le haut, comme l'indique la figure 130. L'aile ondulée aérienne peut avoir un plus grand nombre de lames que l'on placera l'une au-dessus de l'autre ; et l'on peut combiner deux ou plusieurs hélices et les faire tourner dans des sens opposés de manière à les faire alterner, une hélice produisant le courant sur lequel l'autre s'élève comme cela arrive pour les ailes naturelles.

L'hélice aérienne opère aussi sur l'eau. — La forme d'hélice qu'on vient de décrire s'adapte à l'eau d'une manière remarquable si l'on réduit les lames, et si on les compose de quelque substance élastique qui résiste à l'action des fluides, comme de la gutta-percha, des lames d'acier soigneusement adoucies et finement graduées, etc. Elle a la même relation avec l'eau et produira sur elle le même effet que la queue et les nageoires du poisson. Elle projette pendant son action ses lames en double figure en 8, semblables à tous égards à celles produites sur les marges antérieures et postérieures de l'aile naturelle et de l'artificielle. Comme la vitesse acquise par les diverses portions de l'aile de chaque lame varie, il en est de même des angles sous lesquels frappe chaque portion de l'hélice, ces angles étant les plus grands à la base, les moindres à l'extrémité. Les angles faits par les diverses portions de l'aile diminuent à mesure que s'accroît la vitesse avec laquelle

l'aile est menée. L'hélice, de cette manière, s'ajuste d'elle-même, extrait une très-grande proportion de puissance propulsive avec très-peu de force, et avec un glissement d'une faiblesse surprenante.

On obtient un résultat semblable si l'on place bout à bout deux plaques, finement graduées et en forme d'angle, en gutta-percha ou en acier, et si on les applique à l'eau (verticalement ou horizontalement peu importe) avec un léger mouvement en forme de 8, analogue à celui accompli par la queue du poisson, du marsouin ou de la baleine. Si l'on dirige en avant le bord épais des lames, et en arrière le bord mince, on produira un pouvoir propulseur d'une extraordinaire efficacité. Cette forme de propulseur est également efficace dans l'air.

CONCLUSION

Des recherches et des expériences détaillées dans ce volume, on conclura évidemment qu'une remarquable analogie existe entre la marche, la natation et le vol. Il paraîtra de plus que les mouvements de la queue du poisson, de l'aile de l'insecte, de la chauve-souris et de l'oiseau peuvent être facilement imités et reproduits. Ces

faits doivent inspirer de la confiance aux pionniers de la navigation aérienne. La terre et l'eau ont déjà été subjugués avec succès. Les royaumes de l'air seuls n'ont pas été conquis. Ils sont cependant si vastes et si importants comme grands chemins des peuples, que la science et la civilisation demandent également leur occupation. L'histoire de la progression artificielle porte à croire que les champs éthérés seront un jour traversés par une machine imaginée par le génie humain et construite par l'habileté humaine. Pour construire avec succès une machine volante, il n'est pas nécessaire de reproduire l'aile réticulée de l'insecte, l'aile soyeuse de la chauve-souris, ou l'aile compliquée et hautement différenciée de l'oiseau où l'on peut dire que chaque plume a une fonction particulière, et il n'est pas non plus nécessaire de reproduire la complication de cette machine qui meut l'aile de la chauve-souris, de l'oiseau et de l'insecte : tout ce qu'il faut, c'est distinguer les propriétés, la forme, l'étendue et le mode d'application des diverses surfaces volantes, — tâche qui a été essayée, quoique imparfaitement exécutée, dans les pages précédentes. Quand Vivian et Trevithick ont imaginé la locomotive, et Symington et Bell le bateau à vapeur, ils n'ont pas cherché à reproduire un quadrupède ou un poisson; ils ont simplement visé à produire un mouvement adapté à la terre et à l'eau, d'accord avec les lois naturelles et en présence de modèles vivants. Leur succès peut se mesurer par l'inextricable labyrinthe de chemins de fer qui s'étendent d'un bout à l'autre du monde civilisé; et par les marines dont les vaisseaux vont, sans frémir, naviguer sur les mers les plus orageuses par les temps les plus inclements. L'aéronaute a une tâche sem-

blable mais plus difficile à accomplir. En essayant de faire une machine volante, il n'essaie pas une chose nécessairement impossible. Les essaims sans nombre des créatures volantes lui attestent qu'une telle entreprise est possible, et la nature lui fournit des modèles et des matériaux. Si l'on ne pouvait atteindre le vol artificiel, les insectes, les chauves-souris et les oiseaux présenteraient les seuls exemples d'animaux dont on ne peut reproduire les mouvements. L'histoire, l'analogie, l'observation et l'expérience, s'opposent toutes à cette manière de voir. Le succès de la locomotion et du bateau à vapeur est un gage du succès de la machine volante. Si les difficultés à surmonter dans cette construction sont nombreuses, le triomphe et la récompense en seront proportionnés. Il est impossible de surestimer le bénéfice que produirait à l'humanité une telle création. Des nombreux problèmes mécaniques posés aujourd'hui au monde, il n'en est peut-être pas de plus grand que celui de la navigation aérienne. Il ne faut pas regarder les échecs passés comme les précurseurs de défaites futures, car ce n'est que dans ces quelques dernières années que le sujet du vol artificiel a été repris avec un esprit véritablement scientifique. Dans une période relativement courte, on a réuni une masse énorme de précieuses données. Comme des sociétés pour l'avancement de l'Aéronautique se sont établies en Angleterre, en Amérique, en France et dans d'autres pays, on a des raisons de croire que notre connaissance de ce département le plus difficile de la science ira s'accroissant jusqu'à ce que le problème compliqué soit résolu. Si ce jour doit jamais venir, ce n'est pas trop d'affirmer qu'il inaugurerait une nouvelle ère dans l'histoire de l'humana-

nité ; et que si grandes qu'aient été jusqu'ici les destinées de notre race, elles seront complètement mises dans l'ombre par la grandeur et la magnificence des événements à venir.

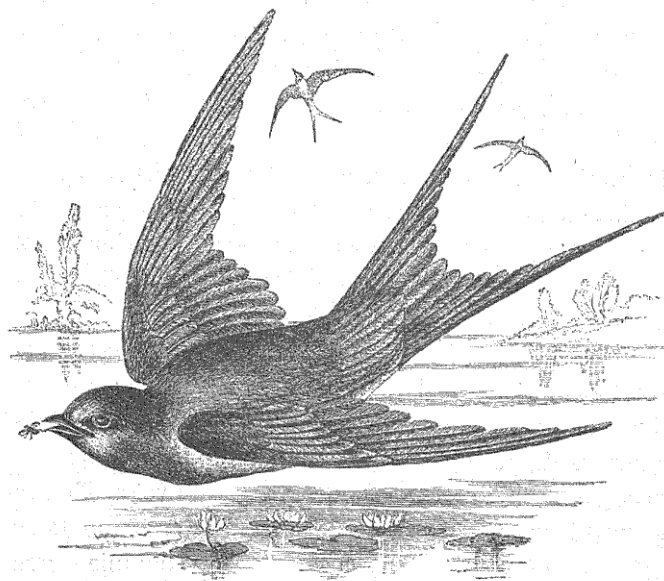


TABLE DES MATIÈRES

LIVRE I

LES ORGANES DE LOCOMOTION.

Le mouvement associé à la vie et au bien-être des animaux.....	1
Le mouvement non limité au règne animal ; toute matière en mouvement ; mouvement naturel et artificiel ; la locomotive, le bateau à vapeur, etc. Possibilité d'une machine volante.....	2
Le poids nécessaire au vol.....	5
Les mêmes lois régissent la progression naturelle et l'artificielle.....	6
Corrélation de la marche, de la natation et du vol.....	8
Le vol est la poésie du mouvement.....	9
Le vol est un mouvement plus instable que la marche ou la natation ; les surfaces motrices et les mouvements des animaux propres à la terre, l'eau et l'air...	10
La terre, l'eau, l'air fournissent les points d'appui aux leviers formés par les surfaces motrices des animaux.	11
Le poids joue un rôle important dans la marche, la natation et le vol.....	13
Les extrémités des animaux en marche, agissent à la façon du pendule et décrivent des courbes en 8.....	14
La queue du poisson mise en vibration à la façon du pendule.....	15
La queue du poisson, l'aile de l'oiseau, et l'extrémité du bipède et du quadrupède sont des hélices par leur structure et leurs fonctions. Elles décrivent des courbes en forme de 8 et des parcours ondulés.....	16
Le corps et l'aile sont réciproques pendant le vol ; le corps s'élevant quand l'aile s'abaisse <i>et vice versa</i>	17

Le vol est l'espèce la moins fatigante de mouvement. Les créatures aériennes ne sont pas plus fortes que les terrestres.....	18
Les nageoires, les pieds palmés et les ailes forment des hélices mobiles ou vis.....	20
Histoire de la théorie de la figure en 8, dans la marche, la natation et le vol.....	21
Réclamation de la priorité de la découverte par l'auteur.	21
Admission de cette réclamation par le professeur Marey.	23
Axiomes fondamentaux. Mouvement uniforme. Mouvement uniformément varié.....	24
Les jambes se meuvent par la force de la pesanteur. Résistance des fluides.....	25
Effets mécaniques des fluides sur les animaux qui y sont plongés. Centre de gravité.....	26
Les trois genres de leviers.....	27
Organes passifs de locomotion. Os.....	29
Articulations.....	32
Ligaments. Effet de la pression atmosphérique sur les membres. Organes actifs de locomotion. Muscles ; leurs propriétés, dispositions, modes d'action, etc.....	34
Cycles musculaires. Mouvements centripètes et centrifuges des muscles ; ondes musculaires. Muscles disposés en lignes spirales longitudinales, transverses et obliques.....	35
Les os des extrémités tordus en spirale.....	39
Les muscles ont la préséance sur les os dans les mouvements des animaux.....	41
Les muscles obliques sont nécessaires à des os et des articulations en spirale.....	43
Les mouvements spiraux de la colonne vertébrale transmis aux extrémités.....	46
Les surfaces motrices des animaux diversement modifiées et adaptées aux milieux sur ou dans lesquels ils se meuvent.....	48

LIVRE II

LA PROGRESSION SUR LA TERRE.

Marche du Quadrupède, Bipède, etc.....	53
Locomotion du Cheval.....	56

TABLE DES MATIÈRES	355
Locomotion de l'Autruche.....	65
Locomotion de l'homme.....	72

LIVRE III

LA PROGRESSION SUR OU DANS L'EAU.

Natation du poisson, de la Baleine, du Marsouin.....	92
Natation du Phoque, de l'Ours marin, du Morse.....	103
Natation de l'homme.....	108
Natation de la Tortue, du Triton, du Crocodile, etc.....	122
Vol sous l'eau.....	124
Différence entre le vol sub-aquatique et l'aérien.....	127
Vol du Poisson-volant ; action des ailes semblable à celle du cerf-volant.....	134

LIVRE IV

LA PROGRESSION DANS L'AIR.

CHAPITRE I

CONSTITUTION ET FONCTIONNEMENT DE L'AILE.

L'aile est un levier du troisième genre.....	144
Le poids est nécessaire au vol.....	153
Le poids contribue au vol horizontal.....	155
Poids, quantité de mouvement, puissance sont jusqu'à un certain point synonymes dans le vol.....	158
Les cellules à air chez les insectes et les oiseaux ne sont pas nécessaires au vol.....	159
Comment s'effectue le balancement dans le vol.....	164
Rapidité du mouvement de l'aile partiellement expliquée.....	166
Grande étendue et variabilité de la surface de l'aile.....	171
La dimension de l'aile décroît à mesure que le poids et le volume de l'animal volant augmentent.....	183
Ailes, leur forme, etc. Toutes les ailes sont des vis par leur structure et leurs fonctions.....	188
L'aile pendant son action renverse ses plans et décrit dans l'espace une courbe en forme de 8.....	194
L'aile quand le corps avance décrit une courbe bouclée et ondulée.....	198

Les marges de l'aile décrivent des courbes opposées pendant l'extension et la flexion.....	201
Les bouts de l'aile de la chauve-souris et de l'oiseau décrivent des ellipses.....	202
L'aile capable de changements de forme dans toutes ses parties.....	203
L'aile pendant sa vibration produit une pulsation transversale.....	204
Rotation composée de l'aile.....	205
L'aile vibre inégalement par rapport à une ligne donnée.....	206
Points en lesquels les hélices formées par les ailes diffèrent de celles de l'usage ordinaire.....	208
L'aile est en tous temps parfaitement soumise au contrôle.....	213
Quand l'aile naturelle élevée s'abaisse, elle doit se mouvoir vers l'avant.....	216
L'aile monte quand le corps descend, et <i>vice versa</i>	219
L'aile agit sur des points d'appui flexibles.....	228
L'aile agit comme un véritable cerf-volant pendant le coup descendant et le coup ascendant.....	228
En quoi le cerf-volant formé par l'aile diffère-t-il du cerf-volant de l'enfant.....	229
Angles formés par les ailes pendant leurs vibrations....	231
Le corps et les ailes se meuvent suivant des courbes opposées.....	232

CHAPITRE II

AILES DES INSECTES ET DES CHAUVES-SOURIS.

Elytres ou étuis des ailes et ailes membraneuses; leur forme et leurs usages.....	235
Os de l'aile de la Chauve-souris; configuration spirale de leurs surfaces articulaires.....	243

CHAPITRE III

AILES DES OISEAUX.

Os des ailes de l'oiseau; leurs surfaces articulaires, leurs mouvements, etc.....	245
Traces de dessein dans l'aile de l'oiseau; disposition des plumes primaires, secondaires, et tertiaires, etc.....	248

TABLE DES MATIÈRES		357
L'aile de l'oiseau n'est pas toujours ouverte de la même quantité pendant le coup d'en bas.....	250	
Flexion de l'aile nécessaire au vol de l'oiseau.....	251	
Considération des forces appliquées aux ailes des insectes.....	256	
Vitesses atteintes par les insectes.....	259	
Considération des forces appliquées aux ailes des Chauves-souris et des oiseaux.....	260	
Flaccidité de l'articulation de l'épaule chez les Chauves-souris et les oiseaux.....	261	
L'aile fléchie et en partie élevée par l'action de ligaments élastiques; nature et position de ces ligaments dans le faisan, la grue huppée, le cygne, etc.....	263	
Les ligaments élastiques plus fortement différents dans les ailes qui vibrent rapidement.....	265	
Puissance de l'aile; à quoi elle est due.....	267	
Raisons pour lesquelles le coup efficace doit être donné vers le bas et vers l'avant.....	268	
L'aile agit comme élévateur, propulseur et soutien, à la fois, pendant l'extension et la flexion.....	271	
Le vol divisible en quatre espèces.....	272	
Le vol de l'Albatros comparable au mouvement d'une boussole marine sur sa double suspension.....	274	
Le vol régulier et l'irrégulier.....	276	
Manière de monter, de descendre, de tourner.....	276	
Le vol des oiseaux peut se rapporter à l'effort musculaire et au poids.....	280	
Puissance élévatoire des oiseaux.....	281	

LIVRE V

L'AÉRONAUTIQUE.

Le ballon.....	284
Le plan incliné.....	286
L'hélice aérienne.....	291
Ailes artificielles de Borelli.....	297
Direction du corps : flexion de l'aile.....	304
Idées de Marey.....	306
Idées de Chabrier.....	315
Idées de Straus-Durckheim.....	316

Idées de l'Auteur ; sa méthode de construction et d'application des ailes artificielles, comparée à celles de Borelli, Chabrier, Durckheim et Marey.....	318
L'aile ondulée de l'Auteur.....	320
Comment construire une aile artificielle d'après le type insecte.....	324
Comment construire une aile ondulée qui devra éviter l'air supérieur pendant le coup ascendant.....	327
Aile composée ondulée de l'Auteur.....	328
Comment appliquer les ailes artificielles à l'air.....	331
Nature des forces requises pour mouvoir les ailes artificielles.....	333
Nécessité de donner aux insertions des ailes artificielles une structure élastique, en imitation des muscles et des ligaments élastiques des animaux volants.....	334
L'aile artificielle peut être conduite avec une vitesse quelconque ; elle peut se créer des courants, ou utiliser ceux qui existent.....	340
Rotation composée de l'aile artificielle ondulée. Les diverses parties de l'aile voyagent avec des vitesses différentes.....	341
Comment l'aile ondulée crée des courants et s'élève sur eux, et comment l'air aide à soulever l'aile.....	342
Les ailes artificielles poussées à différents degrés de vitesse pendant le coup descendant et le coup ascendant.....	345
L'aile ondulée artificielle comme propulseur.....	346
Nouvelle forme d'hélice aérienne.....	347
La vis ondulée aérienne opère sur l'eau.....	348
CONCLUSION.....	349

TABLE DES FIGURES

FRONTISPICE : Le Vauxhall, ballon de M. Green.....	IV
Les trois genres de leviers. — (<i>Bishop</i>).....	23-29
Le squelette du cerf. — (<i>Pander et d'Alton</i>).....	30
Cycle musculaire dans l'acte de la flexion du bras.....	36
Vis formées par les os des ailes de l'oiseau, les os de l'extré- mité antérieure de l'Éléphant, et moule de l'intérieur du ventricule gauche du cœur.....	40
Système musculaire du Cheval. — (<i>Bagg</i>).....	43
Pieds du Cerf, de l'Ornithorhynque, de la Loutre, de la Gre- nouille et du Phoque.....	48
Le Dragon à gorge rouge.....	50
Le Maquis volant.....	50
La Chauve-souris.....	51
Bœuf Chillingham avec ses extrémités décrivant des mouve- ments en forme de 8.....	54
Doubles courbes ondulées décrites par l'homme pendant la marche.....	56
Cheval trotant.....	59
Empreintes des pieds d'un cheval au pas, au trot, au galop. — (<i>Gamgee</i>).....	62
Squelette de l'Autruche. — (<i>Dallas</i>).....	66
Autruches poursuivies par un chasseur.....	68
Squelette de l'homme.....	77
Positions prises par les extrémités et les pieds pendant la marche. — (<i>Weber</i>).....	83
Homme se préparant à courir. — (<i>Flaxman</i>).....	86
Squelette de la Perche.....	91
Saumon nageant à loisir.....	91
Natation du poisson, suivant Borelli.....	93
Natation du poisson, suivant l'Auteur.....	95
Le Marsouin et le Lamantin.....	101
Squelette de Dugong. — (<i>Dallas</i>).....	102
Phoque.....	103
Ours marin.....	105
Parcours elliptiques, bouclés, ondulés suivis en nageant....	113
Attitudes diverses prises en nageant dans la pronation.....	113
Natation à la brasse.....	117
Natation sur le côté.....	119
Natation de la Tortue et du Triton.....	123
Natation du petit pingouin.....	126
Vol sub-aquatique ou plongement.....	131
Pieds de l'oie ouverts et fermés.....	132
Pied du Grèbe avec la membrane natatoire.....	133
Courbe doublement ondulée décrite par les pieds des oiseaux nageurs.....	133
Vol du Poisson volant.....	135
L'aile est un levier du troisième genre.....	145
Figure en 8 du parcours suivi par l'aile dans le vol.....	149,151

Liège empenné volant en avant	155
Diagramme montrant comment les ailes atteignent leur plus grande vitesse	167
Papillon à grandes ailes	172
Insectes à petites ailes	173
Perdrix à petites ailes	175
Héron à grandes ailes	175
Les ailes du Faucon	189
Les ailes de l'Albatros	190
Le Pluvier vert ayant une aile fléchie, l'autre étendue	191
Tache ou impression faite sur l'œil par l'oscillation rapide de l'aile d'un insecte	192
Diagramme où sont analysés les coups ascendants et descendants de l'aile d'un insecte	195
Diagrammes expliquant les trajectoires décrites par l'aile de l'insecte, de la chauve-souris, de l'oiseau	199
Figures montrant les positions prises par l'aile de l'oiseau, pendant le coup en haut et en bas (vue de côté)	200
Courbes sinueuses faites par l'aile de l'oiseau dans la flexion et l'extension	202
Trajectoire en forme de 8 décrite par le corps	203
Le grand et le petit axe de l'aile	206
La courbe ondulée décrite par l'aile et le corps de l'oiseau, quand ils s'élèvent et s'abaissent alternativement	216
Positions prises par l'aile de l'oiseau pendant le coup d'en bas et le coup d'en haut (vue de face)	218
Analyse des mouvements de l'aile	221, 223, 225
Mouvements de cerf-volant et ondulations de l'aile	229
Le Scarabée Centaure et la Punaise d'eau	236
La Libellule	237
Hélices formées par les ailes de l'insecte, de la chauve-souris et de l'oiseau	240, 241, 242
Muscles, ligaments élastiques, plumes de l'aile de l'oiseau ..	249
Vol du Martin-Pêcheur	252
Vol de la Mouette	255
Vol du Hibou	272
Vol de l'Albatros	275
Pigeon et Canard prêts à arriver à terre	279, 280
Faucon et sa proie. — (<i>Le Graphique</i>)	282
Machine volante de M. Henson	287
Machine volante de M. Stringfellow	289
Appareil volant de sir John Cayley	292
Machine volante projetée par De la Landelle	294
Oiseau artificiel de Borelli	298
Diagramme véritable et fausse action de l'aile	309
L'action godillante de l'aile telle qu'elle est chez l'oiseau ..	313
L'aile artificielle ondulée de l'Auteur	321, 324
Diverses formes d'ailes artificielles par l'Auteur	326
L'aile composée ondulante de l'Auteur	329
Diagrammes : mouvements des ailes artificielles	339, 343
Hélice aérienne ondulée de l'Auteur	346
Hirondelle à la chasse des insectes	352

LIBRAIRIE
GERMER BAILLIÈRE

CATALOGUE
DES
LIVRES DE FONDS

(N° 2)

OUVRAGES HISTORIQUES
ET PHILOSOPHIQUES

JANVIER 1875

PARIS

47, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 47

COLLECTION HISTORIQUE DES GRANDS PHILOSOPHES

PHILOSOPHIE ANCIENNE

- SOCRATE. La philosophie de Socrate**, par M. Alf. FOUILLÉE. 2 vol. in-8. 16 fr.
- PLATON. La philosophie de Platon**, par M. Alf. FOUILLÉE. 2 vol. in-8. 16 fr.
- **Études sur la Dialectique dans Platon et dans Hegel**, par M. Paul JANET. 1 vol. in-8. 6 fr.
- ARISTOTE (Œuvres d')**, traduction de M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE.
- **Psychologie (Opusculs)** 1 v. 10 fr.
- **Rhétorique**. 2 vol. 16 fr.
- **Politique**. 1 vol. 10 fr.
- **Physique**. 2 vol. 20 fr.
- **Traité du ciel**. 1 vol. 10 fr.
- **Météorologie**. 1 vol. 10 fr.
- **Morale**. 3 vol. 24 fr.
- **Poétique**. 1 vol. 5 fr.
- **De la production des choses**. 1 vol. 10 fr.
- **De la logique d'Aristote**, par M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. 2 vol. in-8. 10 fr.
- ÉCOLE D'ALEXANDRIE. Histoire critique de l'École d'Alexandrie**, par M. VACHEROT. 3 vol. in-8. 24 fr.
- **L'École d'Alexandrie**, par M. BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. 1 vol. in-8. 6 fr.

PHILOSOPHIE MODERNE

- LEIBNIZ. Œuvres philosophiques**, avec introduction et notes par M. Paul JANET. 2 vol. in-8. 16 fr.
- MALEBRANCHE. La philosophie de Malebranche**, par M. OLLÉ LAPRUNE. 2 vol. in-8. 16 fr.
- VOLTAIRE. La philosophie de Voltaire**, par M. Ern. BERSOT. 1 vol. in-12. 2 fr. 50
- **Les sciences au XVIII^e siècle**. Voltaire physicien, par M. Em. SAIGEY. 1 vol. in-8. 5 fr.
- BITTER. Histoire de la Philosophie moderne**, traduit par P. Challemel-Lacour. 3 vol. 20 fr.
- PHILOSOPHIE ÉCOSAISE
- UGALD STEVART. Éléments de la philosophie de l'esprit humain**, traduits de l'anglais par L. PEISSE. 3 vol. in-12. 9 fr.
- HAMILTON. Fragments de philosophie**, traduits de l'anglais par L. PEISSE. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- **La philosophie de Hamilton**, par J. STUART MILL. 1 vol. in-8. 10 fr.

PHILOSOPHIE ALLEMANDE

- KANT. Critique de la raison pure**, traduite par M. TISSOT. 2 vol. in-8. 16 fr.
- Même ouvrage, traduction par M. Jules BARNI. 2 vol. in-8. 16 fr.
- **Éclaircissements sur la critique de la raison pure**, traduits par J. TISSOT. 1 vol. in-8. 6 fr.
- **Critique du Jugement**, suivie des *Observations sur les sentiments du beau*

et du sublime, traduite par J. BARNI. 2 vol. in-8. 12 fr.

- KANT. Critique de la raison pratique**, précédée des *fondements de la métaphysique des mœurs*, traduite par J. BARNI. 1 vol. in-8. 6 fr.
- **Examen de la critique de la raison pratique**, traduit par M. J. BARNI. 1 vol. in-8. 6 fr.
- **Principes métaphysiques du droit**, suivis du *projet de paix perpétuelle*, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in-8. 8 fr.
- Même ouvrage, traduction par M. Jules BARNI. 1 vol. in-8. 8 fr.
- **Principes métaphysiques de la morale**, augmentés des *fondements de la métaphysique des mœurs*, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in-8. 8 fr.
- Même ouvrage, traduction par M. Jules BARNI. 1 vol. in-8. 8 fr.
- **La logique**, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in-8. 4 fr.
- **Mélanges de logique**, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in-8. 6 fr.
- **Prolegomènes à toute métaphysique future** qui se présentera comme science, traduction de M. TISSOT. 1 vol. in-8. 6 fr.
- **Anthropologie**, suivie de divers fragments relatifs aux rapports du physique et du moral de l'homme et du commerce des esprits d'un monde à l'autre, traduction par M. TISSOT. 1 vol. in-8. 6 fr.
- FICHTE. Méthode pour arriver à la vie bienheureuse**, traduite par Francisque BOULLIER. 1 vol. in-8. 8 fr.
- **Destination du savant et de l'homme de lettres**, traduite par M. NICOLAS. 1 vol. in-8. 3 fr.
- **Doctrines de la science**. Principes fondamentaux de la science de la connaissance, traduits par GRIMBLAT. 1 vol. in-8. 9 fr.
- SCHELLING. Bruno ou du principe divin**, trad. par Cl. HUSSON. 1 vol. in-8. 3 fr. 50
- **Idéalisme transcendantal**. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- **Écrits philosophiques** et morceaux propres à donner une idée de son système, trad. par Ch. BÉNARD. 1 vol. in-8. 9 fr.
- HÉGEL. Logique**, traduction par A. VÉRA. 2^e édition. 2 vol. in-8. 14 fr.
- **Philosophie de la nature**, traduction par A. VÉRA. 3 vol. in-8. 25 fr.
- **Philosophie de l'esprit**, traduction par A. VÉRA. 2 vol. in-8. 18 fr.
- **Esthétique**. 2 vol. in-8 traduite par M. BÉNARD. 16 fr.
- **Introduction à la philosophie de Hegel**, par A. VÉRA. 1 v. in-8. 6 fr. 50
- **La dialectique dans Hegel et dans Platon**, par Paul JANET. In-8. 6 fr.

BIBLIOTHÈQUE
DE
PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

Volumes in-18 à 2 fr. 50 c.

Cartonnés 3 fr.

- | | |
|---|---|
| H. Taine. | sur l'Esthétique franç. 1 vol. |
| LE POSITIVISME ANGLAIS, étude sur Stuart Mill. 1 vol. | CRITIQUE ET HISTOIRE DE LA PHILOSOPHIE (frag. et disc.). 1 vol. |
| L'IDÉALISME ANGLAIS, étude sur Carlyle. 1 vol. | Charles Lévêque. |
| PHILOSOPHIE DE L'ART, 2 ^e éd. 1 v. | LE SPIRITUALISME DANS L'ART. 1 vol. |
| PHILOSOPHIE DE L'ART EN ITALIE. 1 vol. | LA SCIENCE DE L'INVISIBLE. Étude de psychologie et de théodicée. 1 vol. |
| DE L'IDÉAL DANS L'ART. 1 vol. | Auguste Laugel. |
| PHILOSOPHIE DE L'ART DANS LES PAYS-BAS. 1 vol. | LES PROBLÈMES DE LA NATURE. 1 vol. |
| PHILOSOPHIE DE L'ART EN GRÈCE. 1 vol. | LES PROBLÈMES DE LA VIE. 1 vol. |
| Paul Janet. | LES PROBLÈMES DE L'ÂME. 1 vol. |
| LE MATÉRIALISME CONTEMPORAIN. Examen du système du docteur Büchner, 2 ^e édit. 1 vol. | LA VOIX, L'OREILLE ET LA MUSIQUE. 1 vol. |
| LA CRISE PHILOSOPHIQUE. Taine, Renan, Vacherot, Littré. 1 vol. | L'OPTIQUE ET LES ARTS. 1 vol. |
| LE CERVEAU ET LA PENSÉE. 1 vol. | Chaillemel-Lacour. |
| PHILOSOPHIE DE LA RÉVOLUTION FRANÇAISE. 1 vol. | LA PHILOSOPHIE INDIVIDUALISTE. 1 vol. |
| Odyse-Barot. | L. Büchner. |
| PHILOSOPHIE DE L'HISTOIRE. 1 vol. | SCIENCE ET NATURE, trad. de l'alem. par Aug. Delondre. 2 vol. |
| Alaux. | Albert Lemoine. |
| PHILOSOPHIE DE M. COUSIN. 1 vol. | LE VITALISME ET L'ANIMISME DE STAHL. 1 vol. |
| Ad. Franck. | DE LA PHYSIONOMIE ET DE LA PAROLE. 1 vol. |
| PHILOSOPHIE DU DROIT PÉNAL. 1 vol. | Milsand. |
| PHILOSOPHIE DU DROIT ECCLÉSIASTIQUE. 1 vol. | L'ESTHÉTIQUE ANGLAISE, étude sur John Ruskin. 1 vol. |
| LA PHILOSOPHIE MYSTIQUE EN FRANCE AU XVIII ^e SIÈCLE. 1 vol. | A. Véra. |
| Charles de Rémusat. | ESSAIS DE PHILOS. HÉGÉLIENNE. 1 v. |
| PHILOSOPHIE RELIGIEUSE. 1 vol. | Beaussire. |
| Émile Saissét. | ANTÉCÉDENTS DE L'HÉGÉLIANISME DANS LA PHILOS. FRANÇ. 1 vol. |
| L'ÂME ET LA VIE, suivi d'une étude | Hast. |
| | LE PROTESTANTISME LIBÉRAL. 1 v. |

Francisque Bouillier. DU PLAISIR ET DE LA DOULEUR. 1 v. DE LA CONSCIENCE. 1 vol.	Faivre. DE LA VARIABILITÉ DES ESPÈCES. 1 vol.
Ed. Auber. PHILOSOPHIE DE LA MÉDECINE. 1 vol.	Stuart Mill. AUGUSTE COMTE ET LA PHILOSOPHIE POSITIVE, trad. de l'angl. 1 vol.
Leblais. MATÉRIALISME ET SPIRITUALISME, précédé d'une Préface par M. E. Littré. 1 vol.	Ernest Bersot. LIBRE PHILOSOPHIE. 1 vol.
Ad. Garnier. DE LA MORALE DANS L'ANTIQUITÉ, précédé d'une Introduction par M. Prévost-Paradol. 1 vol.	A. Réville. HISTOIRE DU DOGME DE LA DIVINITÉ DE JÉSUS-CHRIST. 1 vol.
Schœbel. PHILOSOPHIE DE LA RAISON PURE. 1 vol.	W. de Fonvielle. L'ASTRONOMIE MODERNE. 1 vol.
Beauquier. PHILOSOPH. DE LA MUSIQUE. 1 vol.	C. Coignet. LA MORALE INDÉPENDANTE. 1 vol.
Tissandier. DES SCIENCES OCCULTES ET DU SPIRITISME. 1 vol.	E. Boumy. PHILOSOPHIE DE L'ARCHITECTURE EN GRÈCE. 1 vol.
J. Moleschott. LA CIRCULATION DE LA VIE. Lettres sur la physiologie, en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, trad. de l'allemand. 2 vol.	Et. Vacherot. LA SCIENCE ET LA CONSCIENCE. 1 vol.
Ath. Coquerel fils. ORIGINES ET TRANSFORMATIONS DU CHRISTIANISME. 1 vol.	Ém. de Laveleye. DES FORMES DE GOUVERNEMENT. 1 vol.
Jules Levallois. DÉISME ET CHRISTIANISME. 1 vol.	Herbert Spencer. CLASSIFICATION DES SCIENCES. 1 v.
Camille Selden. LA MUSIQUE EN ALLEMAGNE. Étude sur Mendelssohn. 1 vol.	Gauckler. LE BEAU ET SON HISTOIRE.
Fontanès. LE CHRISTIANISME MODERNE. Étude sur Lessing. 1 vol.	Max Müller. LA SCIENCE DE LA RELIGION. 1 v.
Salgey. LA PHYSIQUE MODERNE. 1 vol.	Léon Dumont. HAECKEL ET LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION EN ALLEMAGNE. 1 vol.
Mariano. LA PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE EN ITALIE. 1 vol.	Bertauld. L'ORDRE SOCIAL ET L'ORDRE MORAL. 1 vol.
Letourneau. PHYSIOLOGIE DES PASSIONS. 1 vol.	Th. Ribot. PHILOSOPHIE DE SCHOPENHAUER. 1 vol.
	Al. Herzen. PHYSIOLOGIE DE LA VOLONTÉ. 1 vol.
	Bentham et Grote. LA RELIGION NATURELLE 1 vol.

BIBLIOTHÈQUE DE PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE

FORMAT IN-8.

Volumes à 5 fr., 7 fr. 50 c. et 10 fr.

- JULES BARNI. *La Morale dans la démocratie*. 1 vol. 5 fr.
 AGASSIZ. *De l'Espèce et des Classifications*, traduit de l'anglais par M. Vogeli. 1 vol. in-8. 5 fr.
 STUART MILL. *La Philosophie de Hamilton*. 1 fort vol. in-8, traduit de l'anglais par M. Cazelles. 10 fr.
 STUART MILL. *Mes Mémoires*. Histoire de ma vie et de mes idées, traduit de l'anglais par M. E. CAZELLES, 1 vol. in-8 5 fr.
 STUART MILL. *Système de logique* déductive et inductive. Exposé des principes de la preuve et des méthodes de recherche scientifique, traduit de l'anglais par M. Louis Peisse, 2 vol. 20 fr.
 STUART MILL. *Essais sur la Religion*, traduits de l'anglais, par M. E. Cazelles. 1 vol. in-8. 5 fr.
 DE QUATREFAGES. *Ch. Darwin et ses précurseurs français*. 1 vol. in-8. 5 fr.
 HERBERT SPENCER. *Les premiers Principes*. 1 fort vol. in-8, traduits de l'anglais par M. Cazelles. 10 fr.
 HERBERT SPENCER. *Principes de psychologie*, traduits de l'anglais par MM. Th. Ribot et Espinas. 2 vol. in-8. 20 fr.
 AUGUSTE LAUGEL. *Les Problèmes* (Problèmes de la nature, problèmes de la vie, problèmes de l'âme). 1 fort vol. in-8. 7 fr. 50
 ÉMILE SAIGEY. *Les Sciences au XVIII^e siècle*, la physique de Voltaire. 1 vol. in-8. 5 fr.
 PAUL JANET. *Histoire de la science politique* dans ses rapports avec la morale, 2^e édition, 2 vol. in-8. 20 fr.
 TH. RIBOT. *De l'hérédité*. 1 vol. in-8. 10 fr.
 HENRI RITTER. *Histoire de la philosophie moderne*, trad. franç. préc. d'une intr. par M. P. Challemel-Lacour, 3 v. in-8. 20 fr.
 ALF. FOUILLÉE. *La liberté et le déterminisme*. 1 v. in-8. 7 f. 50
 DE LAVELEYE. *De la propriété et de ses formes primitives*, 1 vol. in-8. 7 fr. 50
 BAIN. *Des Sens et de l'Intelligence*. 1 vol. in-8, trad. de l'anglais par M. Cazelles. 10 fr.
 BAIN. *La Logique inductive et déductive*, traduite de l'anglais par M. Compayré. 2 vol. in-8. 20 fr.
 HARTMANN. *Philosophie de l'Inconscient*, traduite de l'allemand. 1 vol. (*Sous presse.*)

ÉDITIONS ÉTRANGÈRES

Éditions anglaises.

- | | | |
|--|--|------------|
| AUGUSTE LAUGEL. The United-States during the war. 1 beau volume in-8 relié. | vol. in-8 relié. | 7 sh. 6 p. |
| ALBERT RÉVILLE. History of the doctrine of the deity of Jesus-Christ. 1 vol. | H. TAINÉ. The Philosophy of art. 4 vol. in-18, rel. | 3 shill. |
| H. TAINÉ. Italy (Naples et Rome). 1 beau | PAUL JANET. The Materialism of present day, translated by prof. Gustave Masson. 1 vol. in-18, rel. | shill. |

Éditions allemandes.

- | | | |
|---|---|---------|
| JULES BARNI. Napoléon 1 ^{er} und sein Geschichtschreiber Thiers. 1 volume in-18. | Meldegk mit einem Vorwort von prof. von Fichte. 1 vol. in-18. | 1 thal. |
| PAUL JANET. Der Materialismus unserer Zeit, übersetzt von Prof. Reichlin- | H. TAINÉ. Philosophie der Kunst. 1 vol. in-18. | 1 thal. |

BIBLIOTHÈQUE D'HISTOIRE CONTEMPORAINE

Volumes in-18, à 3 fr. 50 c. — Cartonnés, 4 fr.

- | | |
|---|---|
| <p>Carlyle.
HISTOIRE DE LA RÉVOLUTION FRANÇAISE, traduite de l'angl. 3 vol.</p> <p>Victor Meunier.
SCIENCE ET DÉMOCRATIE. 2 vol.</p> <p>Jules Barni.
HISTOIRE DES IDÉES MORALES ET POLITIQUES EN FRANCE AU XVIII^e SIÈCLE. 2 vol.</p> <p>NAPOLÉON I^{er} ET SON HISTORIEN M. THIERS. 4 vol.</p> <p>LES MORALISTES FRANÇAIS AU XVIII^e SIÈCLE. 4 vol.</p> <p>Auguste Laugel.
LES ÉTATS-UNIS PENDANT LA GUERRE (1861-1865). Souvenirs personnels. 4 vol.</p> <p>De Rochau.
HISTOIRE DE LA RESTAURATION, traduite de l'allemand. 4 vol.</p> <p>Eug. Véron.
HISTOIRE DE LA PRUSSE depuis la mort de Frédéric II jusqu'à la bataille de Sadowa. 4 vol.</p> <p>HISTOIRE DE L'ALLEMAGNE depuis la bataille de Sadowa jusqu'à nos jours. 4 vol.</p> <p>Hillebrand.
LA PRUSSE CONTEMPORAINE ET SES INSTITUTIONS. 4 vol.</p> <p>Eug. Despois.
LE VANDALISME RÉVOLUTIONNAIRE. Fondations litt., scientif. et artist. de la Convention. 4 vol.</p> <p>Engel.
LA CONSTITUTION ANGLAISE, trad. de l'anglais. 4 vol.</p> <p>LOMBARD STREET, le marché financier en Angl., tr. de l'angl. 4 v.</p> <p>Thackeray.
LES QUATRE GEORGE, trad. de l'anglais par M. Lefoyer. 4 vol.</p> | <p>Emile Montégut.
LES PAYS-BAS. Impressions de voyage et d'art. 4 vol.</p> <p>Emile Beaussire.
LA GUERRE ÉTRANGÈRE ET LA GUERRE CIVILE. 4 vol.</p> <p>Edouard Sayous.
HISTOIRE DES HONGROIS et de leur littérature politique de 1790 à 1815. 4 vol.</p> <p>Ed. Bourliet.
L'ALLEMAGNE CONTEMPORAINE. 4 v.</p> <p>Boert.
LA GUERRE DE 1870-71 d'après le colonel féd. suisse Rustow. 4 v.</p> <p>Herbert Barry.
LA RUSSIE CONTEMPORAINE, traduit de l'anglais. 4 vol.</p> <p>M. Dixon.
LA SUISSE CONTEMPORAINE, traduit de l'anglais. 4 vol.</p> <p>Louis Teste.
L'ESPAGNE CONTEMPORAINE, journal d'un voyageur. 4 vol.</p> <p>J. Clamageran.
LA FRANCE RÉPUBLICAINE. 4 vol.</p> <p>E. Duvergier de Hauranne.
LA RÉPUBLIQUE CONSERVATRICE. 4 v.</p> <p>M. Reynald.
HISTOIRE DE L'ESPAGNE, depuis la mort de Charles III jusqu'à nos jours. 4 vol.</p> <p>HISTOIRE DE L'ANGLETERRE, depuis la mort de la reine Anne jusqu'à nos jours. 4 vol.</p> <p>L. Asseline.
HISTOIRE DE L'AUTRICHE, depuis la mort de Marie-Thérèse jusqu'à nos jours.</p> |
| FORMAT IN-8. | |
| <p>Sir G. Cornwall Lewis.
HISTOIRE GOUVERNEMENTALE DE L'ANGLETERRE DE 1770 JUSQU'À 1830, trad. de l'anglais. 4 vol. 7 fr.</p> <p>De Sybel.
HISTOIRE DE L'EUROPE PENDANT LA RÉVOLUTION FRANÇAISE. 2 vol. in-8. 14 fr.</p> | <p>Taxile Delord.
HISTOIRE DU SECOND EMPIRE, 1848-1870.
1869. Tome I^{er}, 4 vol. in-8. 7 fr.
1870. Tome II, 4 vol. in-8. 7 fr.
1872. Tome III, 4 vol. in-8. 7 fr.
1874. Tome IV, 4 vol. in-8. 7 fr.
1874. Tome V, 4 vol. in-8. 7 fr.
1875. Tome VI et dernier. 7 fr.</p> |

REVUE
Politique et Littéraire
(Revue des cours littéraires,
2^e série.)

REVUE
Scientifique
(Revue des cours scientifiques,
2^e série.)

Directeurs : MM. Eug. YUNG et Ém. AEGLEVE

La septième année de la *Revue des Cours littéraires* et de la *Revue des Cours scientifiques*, terminée à la fin de juin 1871, clôt la première série de cette publication.

La deuxième série a commencé le 1^{er} juillet 1871, et depuis cette époque chacune des années de la collection commence à cette date. Des modifications importantes ont été introduites dans ces deux publications.

REVUE POLITIQUE ET LITTÉRAIRE

La *Revue politique* continue à donner une place aussi large à la littérature, à l'histoire, à la philosophie, etc., mais elle a agrandi son cadre, afin de pouvoir aborder en même temps la politique et les questions sociales. En conséquence, elle a augmenté de moitié le nombre des colonnes de chaque numéro (48 colonnes au lieu de 32).

Chacun des numéros, paraissant le samedi, contient régulièrement :

Une *Semaine politique* et une *Causerie politique* où sont appréciés, à un point de vue plus général que ne peuvent le faire les journaux quotidiens, les faits qui se produisent dans la politique intérieure de la France, discussions de l'Assemblée, etc.

Une *Causerie littéraire* où sont annoncés, analysés et jugés les ouvrages récemment parus : livres, brochures, pièces de théâtre importantes, etc.

Tous les mois la *Revue politique* publie un *Bulletin géographique* qui expose les découvertes les plus récentes et apprécie les ouvrages géographiques nouveaux de la France et de l'étranger. Nous n'avons pas besoin d'insister sur l'importance extrême qu'a prise la géographie depuis que les Allemands en ont fait un instrument de conquête et de domination.

De temps en temps une *Revue diplomatique* explique au point de vue français les événements importants survenus dans les autres pays.

On accusait avec raison les Français de ne pas observer avec assez d'attention ce qui se passe à l'étranger. La *Revue* remédie à ce défaut. Elle analyse et traduit les livres, articles, discours ou conférences qui ont pour auteurs les hommes les plus éminents des divers pays.

Comme au temps où ce recueil s'appelait la *Revue des cours littéraires* (1864-1870), il continue à publier les principales leçons du Collège de France, de la Sorbonne et des Facultés des départements.

Les ouvrages importants sont analysés, avec citations et extraits, dès le lendemain de leur apparition. En outre, la *Revue politique* publie des articles spéciaux sur toute question que recommandent à l'attention des lecteurs, soit un intérêt public, soit des recherches nouvelles.

Parmi les collaborateurs, nous citerons :

Articles politiques. — MM. de Pressensé, Ernest Duvergier de Hauranne, H. Aron, Em. Beaussire, Anat. Dunoyer, Clamageran.

Diplomatie et pays étrangers. — MM. Albert Sorel, Reynald, Léo Quesnel, Louis Leger.

Philosophie. — MM. Janet, Caro, Ch. Lévêque, Véra, Léon Dumont, Fernand Papillon, Th. Ribot, Huxley.

Morale. — MM. Ad. Franck, Laboulaye, Jules Barni, Legouvé, Ath. Coquerel, Bluntschli.

Philologie et archéologie. — MM. Max Müller, Eugène Benoist, L. Havet, E. Ritter, Maspéro, George Smith.

Littérature ancienne. — MM. Egger, Havet, George Perrot, Gaston Boissier, Geffroy, Martha.

Littérature française. — MM. Ch. Nisard, Lenient, L. de Loménie, Édouard Fournier, Bersier, Gidel, Jules Claretie, Paul Albert.

Littérature étrangère. — MM. Mézières, Büchner.

Histoire. — MM. Alf. Maury, Littré, Alf. Rambaud, H. de Sybel. *Géographie, Économie politique.* — MM. Levasseur, Himly, Gaidoz, Alglave.

Instruction publique. — Madame C. Coignet, M. Buisson.

Beaux-arts. — MM. Gebhart, C. Selden, Justi, Schnaase, Vischer.

Critique littéraire. — MM. Eugène Despois, Maxime Gaucher.

Ainsi la *Revue politique* embrasse tous les sujets. Elle consacre à chacun une place proportionnée à son importance. Elle est, pour ainsi dire, une image vivante, animée et fidèle de tout le mouvement contemporain.

REVUE SCIENTIFIQUE

Mettre la science à la portée de tous les gens éclairés sans l'abaisser ni la fausser, et, pour cela, exposer les grandes découvertes et les grandes théories scientifiques par leurs auteurs mêmes :

Suivre le mouvement des idées philosophiques dans le monde savant de tous les pays :

Tel est le double but que la *Revue scientifique* poursuit depuis dix ans avec un succès qui l'a placée au premier rang des publications scientifiques d'Europe et d'Amérique.

Pour réaliser ce programme, elle devait s'adresser d'abord aux Facultés françaises et aux Universités étrangères qui comptent dans leur sein presque tous les hommes de science éminents. Mais, depuis deux années déjà, elle a élargi son cadre afin d'y faire entrer de nouvelles matières.

En laissant toujours la première place à l'enseignement supérieur proprement dit, la *Revue scientifique* ne se restreint plus désormais aux leçons et aux conférences. Elle poursuit tous les développements de la science sur le terrain économique, industriel, militaire et politique.

Elle publie les principales leçons faites au Collège de France, au Muséum d'histoire naturelle de Paris, à la Sorbonne, à l'Institution royale de Londres, dans les Facultés de France, les universités d'Allemagne, d'Angleterre, d'Italie, de Suisse, d'Amérique, et les institutions libres de tous les pays.

Elle analyse les travaux des Sociétés savantes d'Europe et d'Amérique, des Académies des sciences de Paris, Vienne, Berlin, Munich, etc., des Sociétés royales de Londres et d'Édimbourg, des Sociétés d'anthropologie, de géographie, de chimie, de botanique, de géologie, d'astronomie, de médecine, etc.

Elle expose les travaux des grands congrès scientifiques, les Associations française, britannique et américaine, le congrès des naturalistes allemands, la Société helvétique des sciences naturelles, les congrès internationaux d'anthropologie pré-historique, etc.

Enfin, elle publie des articles sur les grandes questions de philosophie naturelle, les rapports de la science avec la politique, l'industrie et l'économie sociale, l'organisation scientifique des divers pays, les sciences économiques et militaires, etc.

Parmi les collaborateurs nous citerons :

Astronomie, météorologie. — MM. Leverrier, Faye, Balfour-Stewart, Janssen, Normann Lockyer, Vogel, Wolf, Miller, Laussedat, Thomson, Rayet, Secchi, Briot, Herschell, etc.

Physique. — MM. Helmholtz, Tyndall, Jamin, Desains, Carpenter, Gladstone, Grad, Boutan, Becquerel, Cazin, Fernet, Onimus, Bertin.

Chimie. — MM. Wurtz, Berthelot, H. Sainte-Claire Deville, Bouchardat, Grimaux, Jungfleisch, Mascart, Odling, Dumas, Troost, Peligot, Cahours, Graham, Friedel, Pasteur.

Geologie. — MM. Hébert, Bleicher, Fouqué, Gaudry, Ramsay, Sterry-Hunt, Contejean, Zittel, Wallace, Lory, Lyell, Daubrée.

Zoologie. — MM. Agassiz, Darwin, Haeckel, Milne Edwards, Perrier, P. Bert, Van Beneden, Lacaze-Duthiers, Pasteur, Pouchet Joly, De Quatrefages, Faivre, A. Moreau, E. Blanchard, Marey.

Anthropologie. — MM. Broca, De Quatrefages, Darwin, De Morillet, Virchow, Lubbock, K. Vogt.

Botanique. — MM. Baillon, Brongniart, Cornu, Faivre, Spring, Chatin, Van Tieghem, Duchartre.

Physiologie, anatomie. — MM. Claude Bernard, Chauveau, Fraser, Gréhant, Lereboullet, Moleschott, Onimus, Ritter, Rosenthal, Wundt, Pouchet, Ch. Robin, Vulpian, Virchow, P. Bert, du Bois-Reymond, Helmholtz, Frankland, Brücke.

Médecine. — MM. Chauffard, Chauveau, Cornil, Gubler, Le Fort, Verneuil, Broca, Liebreich, Lorain, Axenfeld, Lasègue, G. Sée, Bouley, Giraud-Teulon, Bouchardat.

Sciences militaires. — MM. Laussedat, Le Fort, Abel, Jervois, Morin, Noble, Reed, Usquin.

Philosophie scientifique. — MM. Alglave, Bagehot, Carpenter, Léon Dumont, Hartmann, Herbert Spencer, Laycock, Lubbock, Tyn-dall, Gavarret, Ludwig.

Prix d'abonnement :

	Une seule revue séparément			Les deux revues ensemble	
	Six mois.	Un an.		Six mois.	Un an.
Paris	12 ^f	20 ^f	Paris	20 ^f	36 ^f
Départements. .	15	25	Départements. .	25	42
Étranger. . . .	18	30	Étranger. . . .	30	50

L'abonnement part du 1^{er} juillet, du 1^{er} octobre, du 1^{er} janvier et du 1^{er} avril de chaque année.

Chaque volume de la première série se vend : broché	15 fr.
relié	20 fr.
Chaque année de la 2 ^e série, formant 2 vol., se vend : broché . .	20 fr.
relié	25 fr.

Prix de la collection de la première série :

Prix de la collection complète de la <i>Revue des cours littéraires</i> (1864-1870), 7 vol. in-4	405 fr.
Prix de la collection complète des deux <i>Revues</i> prises en même temps, 14 vol. in-4	182 fr.

Prix de la collection complète des deux séries :

<i>Revue des cours littéraires</i> et <i>Revue politique et littéraire</i> (décembre 1863 — juillet 1875), 15 vol. in-4	185 fr.
— Avec la <i>Revue des cours scientifiques</i> et la <i>Revue scientifique</i> , 30 vol. in-4	434 fr.

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE

Le premier besoin de la science contemporaine, — on pourrait même dire d'une manière plus générale des sociétés modernes, — c'est l'échange rapide des idées entre les savants, les penseurs, les classes éclairées de tous les pays. Mais ce besoin n'obtient encore aujourd'hui qu'une satisfaction fort imparfaite. Chaque peuple a sa langue particulière, ses livres, ses revues, ses manières spéciales de raisonner et d'écrire, ses sujets de prédilection. Il lit fort peu ce qui se publie au delà de ses frontières, et la grande masse des classes éclairées, surtout en France, manque de la première condition nécessaire pour cela, la connaissance des langues étrangères. On traduit bien un certain nombre de livres anglais ou allemands ; mais il faut presque toujours que l'auteur ait à l'étranger des amis soucieux de répandre ses travaux, ou que l'ouvrage présente un caractère pratique qui en fait une bonne entreprise de librairie. Les plus remarquables sont loin d'être toujours dans ce cas, et il en résulte que les idées neuves restent longtemps confinées, au grand détriment des progrès de l'esprit humain, dans le pays qui les a vues naître. Le libre échange industriel règne aujourd'hui presque partout ; le libre échange intellectuel n'a pas encore la même fortune, et cependant il ne peut rencontrer aucun adversaire ni inquiéter aucun préjugé.

Ces considérations avaient frappé depuis longtemps un certain nombre de savants anglais. Au congrès de l'Association britannique à Edimbourg, ils tracèrent le plan d'une *Bibliothèque scientifique internationale*, paraissant à la fois en anglais, en français et en allemand, publiée en Angleterre, en France, aux Etats-Unis, en Allemagne, et réunissant des ouvrages écrits par les savants les plus distingués de tous les pays. En venant en France pour chercher à réaliser cette idée, ils devaient naturellement s'adresser à la *Revue scientifique*, qui marchait dans la même voie, et qui projetait au même moment, après les désastres de la guerre, une entreprise semblable destinée à étendre en quelque sorte son cadre et à faire connaître plus rapidement en France les livres et les idées des peuples voisins.

La *Bibliothèque scientifique internationale* n'est donc pas une entreprise de librairie ordinaire. C'est une œuvre dirigée par les auteurs mêmes, en vue des intérêts de la science, pour la populariser sous toutes ses formes, et faire connaître immédiatement dans le monde entier les idées originales, les directions nouvelles, les découvertes importantes qui se font jour dans tous les pays. Chaque savant exposera les idées qu'il a introduites dans la science et condensera pour ainsi dire ses doctrines les plus originales.

On pourra ainsi, sans quitter la France, assister et participer au mouvement des esprits en Angleterre, en Allemagne, en Amérique, en Italie, tout aussi bien que les savants mêmes de chacun de ces pays.

La *Bibliothèque scientifique internationale* ne comprend pas seulement des ouvrages consacrés aux sciences physiques et naturelles, elle aborde aussi les sciences morales comme la philosophie, l'histoire, la politique et l'économie sociale, la haute législation, etc.; mais les livres traitant des sujets de ce genre se rattacheront encore aux sciences naturelles, en leur empruntant les méthodes d'observation et d'expérience qui les ont rendues si fécondes depuis deux siècles.

Cette collection paraît à la fois en français, en anglais, en allemand, en russe et en italien : à Paris, chez Germer Baillière; à Londres, chez Henry S. King et Co; à New-York, chez Appleton; à Leipzig, chez Brockhaus; et à Saint-Petersbourg, chez Koropchevski et Goldsmith; à Milan, chez Dumolard.

EN VENTE :

VOLUMES IN-18, CARTONNÉS A L'ANGLAISE

J. TYNDALL. <i>Les glaciers et les transformations de l'eau</i> , avec figures. 1 vol. in-8.	6 fr.
MAREY. <i>La machine animale</i> , locomotion terrestre et aérienne, avec de nombreuses figures. 1 vol. in-8.	6 fr.
BAGEHOT. <i>Lois scientifiques du développement des nations</i> dans leurs rapports avec les principes de la sélection naturelle et de l'hérédité. 1 vol. in-8.	6 fr.
BAIN. <i>L'esprit et le corps</i> . 1 vol. in-8.	6 fr.
PETTIGREW. <i>La locomotion chez les animaux</i> , marche, natation, vol. 1 vol. in-8 avec figures.	6 fr.
HERBERT SPENCER. <i>La science sociale</i> . 1 vol.	6 fr.
VAN BENEDEN. <i>Les commensaux et les parasites dans le règne animal</i> , 1 vol. in-8, avec figures.	6 fr.
O. SCHMIDT. <i>La descendance de l'homme et le darwinisme</i> . 1 vol. in-8 avec figures.	6 fr.
MAUDSLEY. <i>Le Crime et la Folie</i> . 1 vol. in-8	6 fr.

Liste des principaux ouvrages qui sont en préparation :

AUTEURS FRANÇAIS

CLAUDE BERNARD. Phénomènes physiques et Phénomènes métaphysiques de la vie.	BERTHELOT. La synthèse chimique.
HENRI SAINT-CLAIRE DEVILLE. Introduction à la chimie générale.	H. DE LACAZE-DUTHIERS. La zoologie depuis Cuvier.
ÉMILE ALGLAVE. Physiologie générale des gouvernements.	FRIEDEL. Les fonctions en chimie organique.
A. DE QUATREFAGES. Les races nègres.	TAINE. Les émotions et la volonté.
A. WURTZ. Atomes et atomicité.	ALFRED GRANDIDIER. Madagascar.
	DEBRAY. Les métaux précieux.

AUTEURS ANGLAIS

HUXLEY. Mouvement et conscience.	NORMAN LOCKYER. L'analyse spectrale.
W. B. CARPENTER. La physiologie de l'esprit.	W. ODLING. La chimie nouvelle.
RAMSAY. Structure de la terre.	LAWDER LINDSAY. L'intelligence chez les animaux inférieurs.
SIR J. LUBBOCK. Premiers âges de l'humanité.	STANLEY JEVONS. Les lois de la statistique.
BALFOUR STEWART. La conservation de la force.	MICHAEL FOSTER. Protoplasma et physiologie cellulaire.
CHARLTON BASTIAN. Le cerveau comme organe de la pensée.	ED. SMITH. Aliments et alimentation.
	K. CLIFFORD. Les fondements des sciences exactes.

AUTEURS ALLEMANDS

VIRCHOW. Physiologie pathologique.	HERMANN. Physiologie de la respiration.
ROSENTHAL. Physiologie générale des muscles et des nerfs.	O. LIEBREICH. Fondements de la toxicologie.
BERNSTEIN. Physiologie des sens.	STEINTHAL. Fondements de la linguistique.
	VOGEL. Chimie de la lumière.

AUTEURS AMÉRICAINS

J. DANA. L'échelle et les progrès de la vie.	A. FLINT. Les fonctions du système nerveux.
S. W. JOHNSON. La nutrition des plantes.	W. D. WHITNEY. La linguistique moderne.

OUVRAGES
De M. le professeur VÉRA

Professeur à l'université de Naples.

INTRODUCTION

A LA

PHILOSOPHIE DE HÉGEL

4 vol. in-8, 1864, 2^e édition.... 6 fr. 50

LOGIQUE DE HÉGEL

Traduite pour la première fois, et accompagnée d'une Introduction
et d'un commentaire perpétuel.

2 volumes in-8, 1874, 2^e édition. 14 fr.

PHILOSOPHIE DE LA NATURE

DE HÉGEL

Traduite pour la première fois, et accompagnée d'une Introduction
et d'un commentaire perpétuel.

3 volumes in-8. 1864-1866..... 25 fr.

Prix du tome II... 8 fr. 50.— Prix du tome III... 8 fr. 50

PHILOSOPHIE DE L'ESPRIT

DE HÉGEL

Traduite pour la première fois, et accompagnée d'une Introduction
et d'un commentaire perpétuel.

1867. Tome 1^{er}, 1 vol. in-8. 9 fr.

1870. Tome 2^e, 1 vol. in-8. 9 fr.

Philosophie de la Religion de Hegel. 2 vol. in-8. (*Sous presse.*)

L'Hégélianisme et la philosophie. 1 vol. in-18. 1861. 3 fr. 50

Mélanges philosophiques. 1 vol. in-8. 1862. 5 fr.

Essais de philosophie hégélienne (de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*). 1 vol. 2 fr. 50

Platonis, Aristotelis et Hegelii de medio terminis doctrina.
1 vol. in-8. 1845. 4 fr. 50

Strauss. L'ancienne et la nouvelle foi. 1873, in-8. 6 fr.

RÉCENTES PUBLICATIONS

HISTORIQUES ET PHILOSOPHIQUES

Qui ne se trouvent pas dans les deux Bibliothèques.

- ACOLLAS (Émile). **L'enfant né hors mariage**. 3^e édition. 1872, 1 vol. in-18 de x-165 pages. 2 fr.
- ACOLLAS (Émile). **Manuel de droit civil**, contenant l'exégèse du code Napoléon et un exposé complet des systèmes juridiques. Tome premier (premier examen), 1 vol. in-8. 12 fr.
- Tome deuxième (deuxième examen), 1 vol. in-8. 12 fr.
- Tome troisième (troisième examen). 12 fr.
- ACOLLAS (Émile). **Trois leçons sur le mariage**. In-8. 1 fr. 50
- ACOLLAS (Émile). **L'idée du droit**. In-8. 1 fr. 50
- ACOLLAS (Émile). **Nécessité de refondre l'ensemble de nos codes**, et notamment le code Napoléon, au point de vue de l'idée démocratique. 1866, 1 vol. in-8. 3 fr.
- Administration départementale et communale**. Lois — Décrets — Jurisprudence, conseil d'État, cour de Cassation, décisions et circulaires ministérielles, in-4. 8 fr.
- ALAUZ. **La religion progressive**. 1869, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- ARISTOTE. **Rhétorique** traduite en français et accompagnée de notes par J. Barthélemy Saint-Hilaire. 1870, 2 vol. in-8. 16 fr.
- ARISTOTE. **Psychologie** (opuscules) traduite en français et accompagnée de notes par J. Barthélemy Saint-Hilaire. 1 vol. in-8. 10 fr.
- ARISTOTE. **Politique**, trad. par Barthélemy Saint-Hilaire, 1868. 1 fort vol. in-8. 10 fr.
- ARISTOTE. **Physique**, ou leçons sur les principes généraux de la nature, traduit par M. Barthélemy Saint-Hilaire. 2 forts vol. gr. in-8. 1872. 20 fr.
- ARISTOTE. **Traité du Ciel**. 1866, traduit en français pour la première fois par M. Barthélemy Saint-Hilaire. 1 fort vol. gr. in-8. 10 fr.
- ARISTOTE. **Météorologie**, avec le petit traité apocryphe : *Du Monde*, traduit par M. Barthélemy Saint-Hilaire, 1863. 1 fort vol. gr. in-8. 10 fr.
- ARISTOTE. **Morale**, traduit par M. Barthélemy Saint-Hilaire. 1856, 3 vol gr. in-8. 24 fr.
- ARISTOTE. **Poétique**, traduite par M. Barthélemy Saint-Hilaire, 1858. 1 vol. in-8. 5 fr.
- ARISTOTE. **Traité de la production et de la destruction des choses**, traduit en français et accompagné de notes perpétuelles, par M. Barthélemy Saint-Hilaire, 1866. 1 vol. gr. in-8. 10 fr.
- AUDIFFRET-PASQUIER. **Discours devant les commissions de la réorganisation de l'armée et des marchés**. In-4. 2 fr. 50

- L'art et la vie.** 1867, 2 vol. in-8. 7 fr.
L'art et la vie de Stendhal. 1869, 1 fort vol. in-8. 6 fr.
- BAGEHOT. Lois scientifiques du développement des nations**
dans leurs rapports avec les principes de l'hérédité et de la sé-
lection naturelle. 1873, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque scienti-*
fique internationale, cartonné à l'anglaise. 6 fr.
- BARNI (Jules). Napoléon I^{er},** édition populaire. 1 vol. in-18. 4 fr.
BARNI (Jules). Manuel républicain. 1872, 1 vol. in-18. 4 fr. 50
BARNI (Jules). Les martyrs de la libre pensée, cours professé
à Genève. 1862, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
BARNI (Jules). Voy. KANT.
- BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE.** Voyez Aristote.
BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. La Logique d'Aristote.
2 vol. gr. in-8. 16 fr.
BARTHÉLEMY SAINT-HILAIRE. L'École d'Alexandrie. 1 vol.
in-8. 6 fr.
- BAUTAIN. La philosophie morale.** 2 vol. in-8. 12 fr.
- CH. BÉNARD. L'Esthétique de Hegel,** traduit de l'allemand.
2 vol. in-8. 16 fr.
CH. BÉNARD. De la Philosophie dans l'éducation classique,
1862, 1 fort vol. in-8. 6 fr.
- CH. BÉNARD. La Poétique,** par W.-F. Hegel, précédée d'une
préface et suivie d'un examen critique. Extraits de Schiller,
Goethe, Jean Paul, etc., et sur divers sujets relatifs à la poésie.
2 vol. in-8. 12 fr.
- BLANCHARD. Les métamorphoses, les mœurs et les**
instincts des insectes, par M. Émile BLANCHARD, de l'insti-
tut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1868, 1 magni-
fique volume in-8 Jésus, avec 160 figures intercalées dans le
texte et 40 grandes planches hors texte. Prix, broché. 30 fr.
Relié en demi-marquain. 35 fr.
- BLANQUI. L'éternité par les astres,** hypothèse astronomique.
1872, in-8. 2 fr.
- BORELY (J.). Nouveau système électoral, représentation**
proportionnelle de la majorité et des minorités. 1870,
1 vol. in-18 de XVIII-194 pages. 2 fr. 50
- BORELY. De la justice et des juges,** projet de réforme judi-
ciaire. 1871, 2 vol. in-8. 12 fr.
- BOUCHARDAT. Le travail,** son influence sur la santé (conférences
faites aux ouvriers). 1863, 1 vol. in-18. 2 fr. 50
- BOUCHARDAT et H. JUNOD. L'eau-de-vie et ses dangers,**
conférences populaires. 1 vol. in-18. 4 fr.
- BERSOT. La philosophie de Voltaire.** 1 vol. in-12. 3 fr. 50
- Éd. BOURLOTON et E. ROBERT. La Commune et ses idées à**
travers l'histoire. 1872, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- BOUCHUT. Histoire de la médecine et des doctrines mé-**
dicales. 1873, 2 forts vol. in-8. 16 fr.
- BOUCHUT et DESPRÉS. Dictionnaire de médecine et de thé-**
rapeutique médicale et chirurgicale, comprenant le ré-
sumé de la médecine et de la chirurgie, les indications thérapeu-

- tiques de chaque maladie, la médecine opératoire, les accouchements, l'oculistique, l'odontotechnie, l'électrisation, la matière médicale, les eaux minérales, et un *formulaire spécial pour chaque maladie*. 1873. 2^e édit. très-augmentée. 1 magnifique vol. in-4, avec 750 fig. dans le texte. 25 fr.
- BOUILLET (ADOLPHE). *L'armée d'Henri V. — Les bourgeois gentilshommes de 1871*. 1 vol. in-12. 3 fr. 50
- BOUILLET (ADOLPHE). *L'armée d'Henri V. — Les bourgeois gentilshommes*. Types nouveaux et inédits. 1 vol. in-18. 2 fr. 50
- BOUTROUX. *De la contingence des lois de la nature*, in-8, 1874. 3 fr. 50
- BRIERRE DE BOISMONT. *Des maladies mentales*, 1867, brochure in-8 extraite de la *Pathologie médicale* du professeur Requin. 2 fr.
- BRIERRE DE BOISMONT. *Des hallucinations, ou Histoire raisonnée des apparitions*, des visions, des songes, de l'extase, du magnétisme et du somnambulisme. 1862, 3^e édition très-augmentée. 7 fr.
- BRIERRE DE BOISMONT. *Du suicide et de la folie suicide*. 1865, 2^e édition, 1 vol. in-8. 7 fr.
- CHASLES (PHILARÈTE). *Questions du temps et problèmes d'autrefois*. Pensées sur l'histoire, la vie sociale, la littérature. 1 vol. in-18, édition de luxe. 3 fr.
- CHASSERIAU. *Du principe autoritaire et du principe rationnel*. 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- CLAMAGERAN. *L'Algérie*. Impressions de voyage, 1874. 1 vol. in-18 avec carte. 3 fr. 50
- CLAVEL. *La morale positive*. 1873, 1 vol. in-18. 3 fr.
- Conférences historiques de la Faculté de médecine** faites pendant l'année 1865. (*Les Chirurgiens érudits*, par M. Verneuil. — *Gui de Chauliac*, par M. Follin. — *Celse*, par M. Broca. — *Wurtzius*, par M. Trélat. — *Riolan*, par M. Le Fort. — *Levret*, par M. Tarnier. — *Harvey*, par M. Béclard. — *Stahl*, par M. Lasègue. — *Jenner*, par M. Lorain. — *Jean de Vier et les sorciers*, par M. Axenfeld. — *Laennec*, par M. Chauffard. — *Sylvius*, par M. Gubler. — *Stoll*, par M. Parrot.) 1 vol. in-8. 6 fr.
- COQUEREL (Charles). *Lettres d'un marin à sa famille*. 1870, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- COQUEREL (Athanase). Voyez *Bibliothèque de philosophie contemporaine*.
- COQUEREL fils (Athanase). *Libres études* (religion, critique, histoire, beaux-arts). 1867, 1 vol. in-8. 5 fr.
- COQUEREL fils (Athanase). *Pourquoi la France n'est-elle pas protestante?* Discours prononcé à Neuilly le 4^{er} novembre 1866. 2^e édition, in-8. 1 fr.
- COQUEREL fils (Athanase). *La charité sans peur*, sermon en faveur des victimes des inondations, prêché à Paris le 18 novembre 1866. In-8. 75 c.

- COQUEREL fils (Athanase). **Évangile et liberté**, discours d'ouverture des prédications protestantes libérales, prononcé le 8 avril 1868. In-8. 50 c.
- COQUEREL fils (Athanase). **De l'éducation des filles**, réponse à Mgr l'évêque d'Orléans, discours prononcé le 3 mai 1868. In-8. 4 fr.
- CORLIEU. **La mort des rois de France** depuis François 1^{er} jusqu'à la Révolution française, 1 vol. in-18 en caractères elzéviriens, 1874. 3 fr. 50
- Conférences de la Porte-Saint-Martin pendant le siège de Paris**. Discours de MM. Desmarests et de Pressensé. — Discours de M. Coquerel, sur les moyens de faire durer la République. — Discours de M. Le Berquier, sur la Commune. — Discours de M. E. Bersier, sur la Commune. — Discours de M. H. Cernuschi, sur la Légion d'honneur. In-8. 4 fr. 25
- CORNIL. **Leçons élémentaires d'hygiène**, rédigées pour l'enseignement des lycées d'après le programme de l'Académie de médecine. 1873, 1 vol. in-18 avec figures intercalées dans le texte. 2 fr. 50
- Sir G. CORNEWALL LEWIS. **Histoire gouvernementale de l'Angleterre de 1720 jusqu'à 1830**, trad. de l'anglais et précédée de la vie de l'auteur, par M. Mervoyer. 1867, 1 vol. in-8 de la *Bibliothèque d'histoire contemporaine*. 7 fr.
- Sir G. CORNEWALL LEWIS. **Quelle est la meilleure forme de gouvernement?** Ouvrage traduit de l'anglais; précédé d'une Étude sur la vie et les travaux de l'auteur, par M. Mervoyer, docteur ès lettres. 1867, 1 vol. in-8. 3 fr. 50
- DAMIRON. **Mémoires pour servir à l'histoire de la philosophie au XVIII^e siècle**. 3 vol. in-8. 12 fr.
- DELAVILLE. **Cours pratique d'arboriculture fruitière** pour la région du nord de la France, avec 269 fig. In-8. 6 fr.
- DELEUZE. **Instruction pratique sur le magnétisme animal**, précédée d'une Notice sur la vie de l'auteur. 1853. 1 vol. in-12. 3 fr. 50
- DELORD (Taxile). **Histoire du second empire, 1848-1870**. 1869. Tome I^{er}, 4 fort vol. in-8. 7 fr.
1870. Tome II, 4 fort vol. in-8. 7 fr.
1873. Tome III, 4 fort vol. in-8. 7 fr.
1874. Tome IV, 4 fort vol. in-8. 7 fr.
1874. Tome V, 4 fort vol. in-8. 7 fr.
1875. Tome VI et dernier. 4 fort vol. in-8. 7 fr.
- DENFERT (colonel). **Des droits politiques des militaires**. 1874, in-8. 75 c.
- DOLLFUS (Charles). **De la nature humaine**. 1868, 1 vol. in-8. 5 fr.
- DOLLFUS (Charles). **Lettres philosophiques**. 3^e édition. 1869, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- DOLLFUS (Charles). **Considérations sur l'histoire**. Le monde antique. 1872, 1 vol. in-8. 7 fr. 50

- DUGALD-STEVART. **Éléments de la philosophie de l'esprit humain**, traduit de l'anglais par Louis Peisse, 3 vol. in-12. 9 fr.
- DU POTET. **Manuel de l'étudiant magnétiseur**. Nouvelle édition. 1868, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- DU POTET. **Traité complet de magnétisme**, cours en douze leçons. 1856, 3^e édition, 1 vol. de 634 pages. 7 fr.
- DUPUY (Paul). **Études politiques**, 1874. 1 v. in-8 de 236 pages. 3 fr. 50
- DUVAL-JOUVE. **Traité de Logique**, ou essai sur la théorie de la science, 1855. 1 vol. in-8. 6 fr.
- Éléments de science sociale**. Religion physique, sexuelle et naturelle, ouvrage traduit sur la 7^e édition anglaise. 1 fort vol. in-18, cartonné. 4 fr.
- ÉLIPHAS LÉVI. **Dogme et rituel de la haute magie**. 1861, 2^e édit., 2 vol. in-8, avec 24 fig. 18 fr.
- ÉLIPHAS LÉVI. **Histoire de la magie**, avec une exposition claire et précise de ses procédés, de ses rites et de ses mystères. 1860, 1 vol. in-8, avec 90 fig. 12 fr.
- ÉLIPHAS LÉVI. **La science des esprits**, révélation du dogme secret des Kabbalistes, esprit occulte de l'Évangile, appréciation des doctrines et des phénomènes spirites. 1865, 1 v. in-8. 7 fr.
- FAU. **Anatomie des formes du corps humain**, à l'usage des peintres et des sculpteurs. 1866, 1 vol. in-8 et atlas de 25 planches. 2^e édition. Prix, fig. noires. 20 fr.
Prix, figures coloriées. 35 fr.
- FERRON (de). **Théorie du progrès** (Histoire de l'idée du progrès. — Vico. — Herder. — Turgot. — Condorcet. — Saint-Simon. — Réfutation du césarisme). 1867, 2 vol. in-18. 7 fr.
- FERRON (de). **La question des deux Chambres**. 1872, in-8 de 45 pages. 1 fr.
- EM. FERRIÈRE. **Le darwinisme**. 1872, 1 vol. in-18. 4 fr. 50
- FICHTE. **Méthode pour arriver à la vie bienheureuse**, traduit par Francisque Bouiller, 1 vol. in-8. 8 fr.
- FICHTE. **Destination du savant et de l'homme de lettres**, traduit par M. Nicolas. 1 vol. in-8. 3 fr.
- FICHTE. **Doctrines de la science**. Principes fondamentaux de la science de la connaissance, trad. par Grimblot. 1 vol. in-8. 9 fr.
- FLEURY (Amédée). **Saint Paul et Sénèque**, recherches sur les rapports du philosophe avec l'apôtre et sur l'infiltration du christianisme naissant à travers le paganisme. 2 vol. in-8. 15 fr.
- FOUCHER DE CAREIL. **Leibniz, Descartes, Spinoza**. In-8. 4 fr.
- FOUCHER DE CAREIL. **Lettres et opuscules de Leibniz**. 1 vol. in-8. 3 fr. 50
- FOUCHER DE CAREIL. **Leibniz et Pierre le Grand**. 1 vol. in-8. 1874. 2 fr.

- FOUILLÉE (Alfred). **La philosophie de Socrate**. 2 vol. in-8. 16 fr.
- FOUILLÉE (Alfred). **La philosophie de Platon**. 2 vol. in-8. 16 fr.
- FOUILLÉE (Alfred). **La liberté et le déterminisme**. 1 fort vol. in-8. 7 fr. 50
- FOUILLÉE (Alfred). **Platonis hippias minor sive Socratica**, 1 vol. in-8. 2 fr.
- FRIBOURG. **Du paupérisme parisien**, de ses progrès depuis vingt-cinq ans. 1 fr. 25
- HAMILTON (William). **Fragments de Philosophie**, traduits de l'anglais par Louis Peisse. 7 fr. 50
- HEGEL. Voy. p. 13.
- HERZEN. **Œuvres complètes**. Tome 1^{er}. *Récits et nouvelles*. 1874, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- HERZEN. **De l'autre Rive**. 4^e édition, traduit du russe par M. Herzen fils. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- HERZEN. **Lettres de France et d'Italie**. 1871, in-18. 3 fr. 50
- HUMBOLDT (G. de). **Essai sur les limites de l'action de l'État**, traduit de l'allemand, et précédé d'une Étude sur la vie et les travaux de l'auteur, par M. Chrétien, docteur en droit. 1867, in-18. 3 fr. 50
- ISSAURAT. **Moments perdus de Pierre-Jean**, observations, pensées, rêveries antipolitiques, antimorales, antiphilosophiques, antimétaphysiques, anti tout ce qu'on voudra. 1868, 1 v. in-18. 3 fr.
- ISSAURAT. **Les alarmes d'un père de famille**, suscitées, expliquées, justifiées et confirmées par lesdits faits et gestes de Mgr. Dupanloup et autres. 1868, in-8. 1 fr.
- JANET (Paul). **Histoire de la science politique dans ses rapports avec la morale**. 2 vol. in-8. 20 fr.
- JANET (Paul). **Études sur la dialectique dans Platon et dans Hegel**. 1 vol. in-8. 6 fr.
- JANET (Paul). **Œuvres philosophiques de Leibniz**. 2 vol. in-8. 16 fr.
- JANET (Paul). **Essai sur le médiateur plastique de Cudworth**. 1 vol. in-8. 6 fr.
- KANT. **Critique de la raison pure**, précédé d'une préface par M. Jules BARNI. 1870, 2 vol. in-8. 16 fr.
- KANT. **Critique de la raison pure**, traduit par M. Tissot. 2 vol. in-8. 16 fr.
- KANT. **Éléments métaphysiques de la doctrine du droit**, suivis d'un Essai philosophique sur la paix perpétuelle, traduits de l'allemand par M. Jules BARNI. 1854, 1 vol. in-8. 8 fr.
- KANT. **Principes métaphysiques du droit suivi du projet de paix perpétuelle**, traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8. 8 fr.

- KANT. **Éléments métaphysiques de la doctrine de la vertu**, suivi d'un Traité de pédagogie, etc. ; traduit de l'allemand par M. Jules BARNI, avec une introduction analytique. 1855, 1 vol. in-8. 8 fr.
- KANT. **Principes métaphysiques de la morale**, augmenté des *fondements de la métaphysique des mœurs*, traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8. 8 fr.
- KANT. **La religion dans les limites de la raison**, traduit de l'allemand par J. Trullard. 1 vol. in-8. 7 f. 50
- KANT. **La logique**, traduction de M. Tissot. 1 vol. in-4. 4 fr.
- KANT. **Mélanges de logique**, traduction par M. Tissot, 1 vol. in-8. 6 fr.
- KANT. **Prolégomènes à toute métaphysique future** qui se présentera comme science, traduction de M. Tissot, 1 vol. in-8. 6 fr.
- KANT. **Anthropologie**, suivie de divers fragments relatifs aux rapports du physique et du moral de l'homme et du commerce des esprits d'un monde à l'autre, traduction par M. Tissot. 1 vol. in-8. 6 fr.
- KANT. **Examen de la critique de la raison pratique**, traduit par J. Barni. 1 vol. in-8. 6 fr.
- KANT. **Éclaircissements sur la critique de la raison pure**, traduit par J. Tissot. 1 vol. in-8. 6 fr.
- KANT. **Critique du jugement**, suivie des *observations sur les sentiments du beau et du sublime*, traduit par J. Barni. 2 vol. in-8. 12 fr.
- KANT. **Critique de la raison pratique**, précédée des *fondements de la métaphysique des mœurs*, traduit par J. Barni. 1 vol. in-8. 6 fr.
- LABORDE. **Les hommes et les actes de l'insurrection de Paris** devant la psychologie morbide. Lettres à M. le docteur Moreau (de Tours). 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- LACHELIER. **Le fondement de l'induction**. 3 fr. 50
- LACHELIER. **De natura syllogismi** apud facultatem litterarum Parisiensem, hæc disputabat. 1 fr. 50
- LACOMBE. **Mes droits**. 1869, 1 vol. in-12. 2 fr. 50
- LAMBERT. **Hygiène de l'Égypte**. 1873. 1 vol. in-18. 2 fr. 50
- LANGLOIS. **L'homme et la Révolution**. Huit études dédiées à P.-J. Proudhon. 1867, 2 vol. in-18. 7 fr.
- LE BERQUIER. **Le barreau moderne**. 1871, 2^e édition, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- LE FORT. **La chirurgie militaire** et les Sociétés de secours en France et à l'étranger. 1873, 1 vol. gr. in-8, avec fig. 10 fr.
- LE FORT. **Étude sur l'organisation de la Médecine** en France et à l'étranger. 1874, gr. in-8. 3 fr.

- LEIBNIZ. **Œuvres philosophiques**, avec une Introduction et des notes par M. Paul Janet, 2 vol. in-8. 16 fr.
- LITTRÉ. **Auguste Comte et Stuart Mill**, suivi de *Stuart Mill et la philosophie positive*, par M. G. Wyruboff. 1867, in-8 de 86 pages. 2 fr.
- LITTRÉ. **Application de la philosophie positive** au gouvernement des Sociétés. In-8. 3 fr. 50
- LORAIN (P.). **Jenner et la vaccine**. Conférence historique. 1870, broch. in-8 de 48 pages. 1 fr. 50
- LORAIN (P.). **L'assistance publique**. 1874, in-4 de 56 p. 1 fr.
- LUBBOCK. **L'homme avant l'histoire**, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une Description comparée des mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais par M. Ed. BARBIER, avec 156 figures intercalées dans le texte. 1867, 1 beau vol. in-8, prix broché. 15 fr.
Relié en demi-marquin avec nerfs. 18 fr.
- LUBBOCK. **Les origines de la civilisation**. État primitif de l'homme et mœurs des sauvages modernes. 1873, 1 vol. grand in-8 avec figures et planches hors texte. Traduit de l'anglais par M. Ed. BARBIER. 15 fr.
Relié en demi-marquin avec nerfs. 18 fr.
- MAGY. **De la science et de la nature**, essai de philosophie première. 1 vol. in-8. 6 fr.
- MARAIS (Aug.). **Garibaldi et l'armée des Vosges**. 1872, 1 vol. in-18. 1 fr. 50
- MAURY (Alfred). **Histoire des religions de la Grèce antique**. 3 vol. in-8. 24 fr.
- MAX MULLER. **Amour allemand**. Traduit de l'allemand. 1 vol. in-18 imprimé en caractères elzéviens. 3 fr. 50
- MAZZINI. **Lettres à Daniel Stern** (1864-1872), avec une lettre autographiée. 1 v. in-18 imprimé en caractères elzéviens. 3 fr. 50
- MENIÈRE. **Cicéron médecin**, étude médico-littéraire. 1862, 1 vol. in-18. 4 fr. 50
- MENIÈRE. **Les consultations de madame de Sévigné**, étude médico-littéraire. 1864, 1 vol. in-8. 3 fr.
- MERVOYER. **Étude sur l'association des idées**. 1864, 1 vol. in-8. 6 fr.
- MEUNIER (Victor). **La science et les savants**.
1^{re} année, 1864. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
2^e année, 1865. 1^{er} semestre, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
2^e année, 1865. 2^e semestre, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
3^e année, 1866. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
4^e année, 1867. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

- MICHELET (J.). **Le Directoire et les origines des Bonaparte.** 1872, 1 vol. in-8. 6 fr.
- MILSAND. **Les études classiques et l'enseignement public.** 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- MILSAND. **Le code et la liberté.** Liberté du mariage, liberté des testaments. 1865, in-8. 2 fr.
- MIRON. **De la séparation du temporel et du spirituel.** 1866, in-8. 3 fr. 50
- MORER. **Projet d'organisation de collèges cantonaux,** in-8 de 64 pages. 4 fr. 50
- MORIN. **Du magnétisme et des sciences occultes.** 1860, 1 vol. in-8. 6 fr.
- MUNARET. **Le médecin des villes et des campagnes.** 4^e édition, 1862, 1 vol. grand in-18. 4 fr. 50
- NAQUET (A.). **La république radicale.** 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- NOURRISSON. **Essai sur la philosophie de Bossuet.** 1 vol. in-8. 4 fr.
- OGER. **Les Bonaparte et les frontières de la France.** in-18. 50 c.
- OGER. **La République.** 1871, brochure in-8. 50 c.
- OLLÉ-LAPRUNE. **La philosophie de Malebranche.** 2 vol. in-8. 46 fr.
- PARIS (comte de). **Les associations ouvrières en Angleterre** (trades-unions). 1869, 1 vol. gr. in-8. 2 fr. 50
Édition sur papier de Chine : broché. 42 fr.
— reliure de luxe. 20 fr.
- PUISSANT (Adolphe). **Erreurs et préjugés populaires.** 1873, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- REYMOND (William). **Histoire de l'art.** 1874, 1 vol. in-8. 5 fr.
- RIBOT (Paul). **Matérialisme et spiritualisme.** 1873, in-8. 6 fr.
- RIBOT (Th.) **La psychologie anglaise contemporaine** (James Mill, Stuart Mill, Herbert Spencer, A. Bain, G. Lewes, S. Bailey, J.-D. Morell, J. Murphy). 1870, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- RIBOT (Th.). **De l'hérédité.** 1873, 1 vol. in-8. 10 fr.
- RITTER (Henri). **Histoire de la philosophie moderne,** traduction française précédée d'une introduction par P. Challengel-Lacour. 3 vol. in-8. 20 fr.

- RITTER (Henri). **Histoire de la philosophie chrétienne**, trad. par M. J. Trullard. 2 forts vol. 15 fr.
- RITTER (Henri). **Histoire de la philosophie ancienne**, trad. par Tissot. 4 vol. 30 fr.
- SAINT-MARC GIRARDIN. **La chute du second Empire**. In-4. 4 fr. 50
- SALETTA. **Principe de logique positive**, ou traité de scepticisme positif. Première partie (de la connaissance en général). 1 vol. gr. in-8. 3 fr. 50
- SARCHI. **Examen de la doctrine de Kant**. 1872, gr. in-8. 4 fr.
- SCHELLING. **Écrits philosophiques** et morceaux propres à donner une idée de son système, traduit par Ch. Bénard. In-8. 9 fr.
- SCHELLING. **Bruno** ou du principe divin, trad. par Husson. 4 vol. in-8. 3 fr. 50
- SCHELLING. **Idéalisme transcendantal**, traduit par Grimblot. 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- SIÈREBOIS. **Autopsie de l'âme**. Identité du matérialisme et du vrai spiritualisme. 2^e édit. 1873, 1 vol. in-18. 2 fr. 50
- SIÈREBOIS. **La morale** fouillée dans ses fondements. Essai d'anthropodicée. 1867, 1 vol. in-8. 6 fr.
- SOREL (ALBERT). **Le traité de Paris du 20 novembre 1815**. Leçons professées à l'École libre des sciences politiques par M. Albert SOREL, professeur d'histoire diplomatique. 1873, 1 vol. in-8. 4 fr. 50
- SPENCER (HERBERT). Voyez p. 3.
- STUART MILL. Voyez page 3.
- THULIÉ. **La folie et la loi**. 1867, 2^e édit., 1 vol. in-8. 3 fr. 50
- THULIÉ. **La manie raisonnante du docteur Campagne**. 1870, broch. in-8 de 132 pages. 2 fr.
- TIBERGHIEU. **Les commandements de l'humanité**. 1872, 1 vol. in-18. 3 fr.
- TIBERGHIEU. **Enseignement et philosophie**. 1873, 1 vol. in-18. 4 fr.
- TISSOT. Voyez KANT.
- TISSOT. **Principes de morale**, leur caractère rationnel et universel, leur application. Ouvrage couronné par l'Institut. 1 vol. in-8. 6 fr.

- VACHEROT. **Histoire de l'école d'Alexandrie.** 3 vol. in-8.
24 fr.
- VALETTE. **Cours de Code civil** professé à la Faculté de droit de Paris. Tome I, première année (Titre préliminaire — Livre premier). 1873, 1 fort vol. in-18. 8 fr.
- VALMONT. **L'espion prussien.** 1872, roman traduit de l'anglais. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- VÉRA. **Strauss. L'ancienne et la nouvelle foi.** 1873, in-8. 6 fr.
- VÉRA. **Cavour et l'Eglise libre dans l'Etat libre,** 1874, in-8. 3 fr. 50
- VÉRA. **Traduction de Hegel.** Voy. le catalogue complet.
- VILLIAUMÉ. **La politique moderne,** traité complet de politique. 1873, 1 beau vol. in-8. 6 fr.
- WEBER. **Histoire de la philosophie européenne.** 1871, 1 vol. in-8. 10 fr.
- L'Europe orientale.** Son état présent, sa réorganisation, avec deux tableaux ethnographiques, 1873. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- Le Pays Jougo-Slave** (Croatie-Serbie). Son état physique et politique, 1874. in-18. 3 fr. 50
- L'armée d'Henri V. — Les bourgeois gentilshommes de 1871.** 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- L'armée d'Henri V. — Les bourgeois gentilshommes,** types nouveaux et inédits. 1 vol. in-18. 2 fr. 50
- L'armée d'Henri V. — L'arrière-ban de l'ordre moral.** 1874, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- Annales de l'Assemblée nationale.** Compte rendu *in extenso* des séances, annexes, rapports, projets de loi, propositions, etc. Prix de chaque volume. 45 fr.
Trente volumes sont en vente.
- Loi de recrutement des armées de terre et de mer,** promulguée le 16 août 1872. Compte rendu *in extenso* des trois délibérations. — Lois des 10 mars 1818, 21 mars 1832, 21 avril 1855, 1^{er} février 1868. 1 vol. gr. in-4 à 3 colonnes. 12 fr.
- Administration départementale et communale.** Lois, décrets, jurisprudence (conseil d'Etat, cour de cassation, décisions et circulaires ministérielles). in-4. 8 fr.

ENQUÊTE PARLEMENTAIRE SUR LES ACTES DU GOUVERNEMENT DE LA DÉFENSE NATIONALE

DÉPOSITIONS DES TÉMOINS :

TOME PREMIER. Dépôts de MM. Thiers, maréchal Mac-Mahon, maréchal Le Bouff, Benedetti, duc de Gramont, de Talhouët, amiral Rigault de Genouilly, baron Jérôme David, général de Palikao, Jules Brame, Clément Duvernois, Dréolle, Rouher, Piétri, Chevreau, général Trochu, J. Favre, J. Ferry, Garnier-Pagès, Emmanuel Arago, Pelletan, Ernest Picard, J. Simon, Magnin, Dorian, Et. Arago, Gambetta, Crémieux, Glais-Bizoin, général Le Flô, amiral Fourichon, de Kératry,

TOME DEUXIÈME. Dépôts de MM. de Chaudordy, Laurier, Cresson, Dréo, Ranc, Rampont, Steenackers, Fernique, Robert, Schneider, Buffet, Lebreton et Hébert, Bellangé, colonel Alavoine, Gervais, Béchervell, Robin, Mollé, Boutefoy, Meyer, Clément et Simonneau, Fontaine, Jacob, Lemaire, Petetin, Gnyot-Montpayroux, général Soumain, de Legze, colonel Vabre, de Crisenoy, colonel Ibos, Hénar, Frère, Read, Kergall, général Schmitz, Johnston, colonel Dauvergne, Didier, de Larcinty, Arnaud de l'Ariège, général Tamisier, Bandouin de Mortemart, Ernault, colonel Chaper, général Mazure, Béranger, Le Royer, Ducarre, Challemel-Lacour, Rouvier, Autran, Esquiros, Gent, Naquet, Thourel, Gatien-Arnoult, Fourcaud.

TOME TROISIÈME. Dépôts militaires de MM. de Freycinet, de Serres, le général Lefort, le général Ducrot, le général Vinoy, le lieutenant de vaisseau Farcy, le commandant Amet, l'amiral Pothuau, Jean Brunet, le général de Beaufort-d'Hautpoul, le général de Valdan, le général d'Aurelle de Paladines, le général Chanzy, le général Martin des Pallières, le général de Sonis, le général Crouzat, le général de la Motterouge, le général Fiebeck, l'amiral Jauréguiberry, le général Faïdherbe, le général Paulze d'Ivoy, Testelin, le général Bourbaki, le général Clinchant, le colonel Lepage, le général Pallu de la Barrière, Rolland, Keller, le général Billot, le général Borel, le général Pellissier, l'intendant Friant, le général Cremer, le comte de Chaudordy.

TOME QUATRIÈME. Dépôts de MM. le général Bordone, Mathieu, de Laborie, Luce-Villiard, Castillon, Debusschère, Darcy, Chenet, de La Taille, Baillehache, de Grancey, L'Hermite, Pradier, Middleton, Frédéric Morin, Thoyot, le maréchal Bazaine, le général Boyer, le maréchal Canrobert, le général Ladmirault, Prost, le général Bressoles, Josseau, Spuller, Corbon, Dalloz, Henri Martin, Vacherot, Marc Dufraisse, Raoul Duval, Delille, de Lanbespin, frère Dagobertus, frère Alcas, l'abbé d'Hulst, Bourgoin, Eschassériaux, Silvy, Le Nordet, Gréard, Guibert, Périn; errata et note à l'appui de la déposition de M. Darcy, annexe à la déposition de M. Testelin, note de M. le colonel Denfert, note de la Commission.

RAPPORTS :

TOME PREMIER. Rapport de M. Chaper sur les procès-verbaux des séances du Gouvernement de la Défense nationale. — Rapport de M. de Sugny sur les événements de Lyon sous le Gouvernement de la Défense nationale. — Rapport de M. de Bességuier sur les actes du Gouvernement de la Défense nationale dans le sud-ouest de la France.

TOME DEUXIÈME. Rapport de M. Saint-Marc Girardin sur la chute du second Empire. — Rapport de M. de Sugny sur les événements de Marseille sous le Gouvernement de la Défense nationale.

TOME TROISIÈME. Rapport de M. le comte Daru, sur la politique du Gouvernement de la Défense nationale à Paris.

TOME QUATRIÈME. Rapport de M. Chaper, sur l'examen au point de vue militaire des actes du Gouvernement de la Défense nationale à Paris.

TOME CINQUIÈME. Rapport de M. Boreau-Lajanadie, sur l'emprunt Morgan. — Rapport de M. de la Borderie, sur le camp de Conlie et l'armée de Bretagne. — Rapport de M. de la Sicotière, sur l'affaire de Dreux.

TOME SIXIÈME. Rapport de M. de Rainneville sur les actes diplomatiques du Gouvernement de la Défense nationale. — Rapport de M. A. Lallit sur les postes et les télégraphes pendant la guerre. — Rapport de M. Delsol sur la ligne du Sud-Ouest. Rapport de M. Perrot sur la défense nationale en province. (4^e partie.)

Prix de chaque volume . . . 15 fr.

RAPPORTS SE VENDANT SÉPARÈMENT

DE RESSÉGUIER. — Les événements de Toulouse sous le Gouvernement de la Défense nationale. In-4.	2 fr. 50
SAINT-MARC GIRARDIN. — La chute du second Empire. In-4.	4 fr. 50
DE SUGNY. — Les événements de Marseille sous le Gouvernement de la Défense nationale. In-4.	10 fr.
DE SUGNY. — Les événements de Lyon sous le Gouvernement de la Défense nationale. In-4.	7 fr.
DARU. — La politique du Gouvernement de la Défense nationale à Paris. In-4.	15 fr.
CHAPER. — Examen au point de vue militaire des actes du Gouvernement de la Défense à Paris. In-4.	15 fr.
CHAPER. — Les procès-verbaux des séances du Gouvernement de la Défense nationale. In-4.	5 fr.
BOREAU-LAJANADIE. — L'emprunt Morgan. In-4.	4 fr. 50
DE LA BORDERIE. — Le camp de Conlie et l'armée de Bretagne. in-4.	10 fr.
DE LA SICOTIÈRE. — L'affaire de Breux. In-4.	3 fr. 50

ENQUÊTE PARLEMENTAIRE

SUR

L'INSURRECTION DU 18 MARS

édition contenant *in-extenso* les trois volumes distribués à l'Assemblée nationale.

1^{er} RAPPORTS. Rapport général de M. Martial Delpit. Rapports de MM. de Meaux, sur les mouvements insurrectionnels en province; de Massy, sur le mouvement insurrectionnel à Marseille; Meplain, sur le mouvement insurrectionnel à Toulouse; de Chamailard, sur les mouvements insurrectionnels à Bordeaux et à Tours; Delille, sur le mouvement insurrectionnel à Limoges; Vacherot, sur le rôle des municipalités; Dugarre, sur le rôle de l'Internationale; Boreau-Lajanadie, sur le rôle de la presse révolutionnaire à Paris; de Cumont, sur le rôle de la presse révolutionnaire en province; de Saint-Pierre, sur la garde nationale de Paris pendant l'insurrection; de Larochetteuil, sur l'armée et la garde nationale de Paris avant le 18 mars. — Rapports de MM. les premiers présidents de Cour d'appel d'Agon, d'Aix, d'Amiens, de Bordeaux, de Bourges, de Chambéry, de Douai, de Nancy, de Pau, de Rennes, de Riom, de Rouen, de Toulouse. — Rapports de MM. les préfets de l'Ardèche, des Ardennes, de l'Aude, du Gers, de l'Isère, de la Haute-Loire, du Loir-et-Cher, de la Nièvre, du Nord, des Pyrénées-Orientales, de la Sarthe, de Seine-et-Marne, de Seine-et-Oise, de la Seine-Inférieure, de Vaucluse. — Rapports de MM. les chefs de légion de gendarmerie.

2^{es} DÉPOSITIONS de MM. Thiers, maréchal Mac-Mahon, général Trochu, J. Favre, Ernest Picard, J. Ferry, général Le Flé, général Vinoy, Choppin, Cresson, Leblond, Edmond Adam, Metteval, Horvé, Bethmont, Ansart, Marseille, Claude, Lagrange, Macé, Nusso, Mouton, Garcin, colonel Lambert, colonel Gaillard, général Appert, Gerspach, Barral de Montaud, comte de Mun, Floquet, général Cremer, amiral Saisset, Schelcher, Tirard, Dubail, Denormandie, Vautrain, François Favre, Bellaiguo, Vacherot, Degouve-Dennucque, Desmarest, colonel Montagu, colonel Ibos, général d'Aurelle de Paladines, Roger du Nord, Bandonin de Morlemart, Lavigne, Ossudo, Duerot, Turquet, de Pleuc, amiral Pothuau, colonel Langlois, Lucuing, Danet, colonel Le Malin, colonel Vabre, Héliçon, Tolain, Fribourg, Dunoyer, Testu, Gerbon, Duecarre.

3^{es} PIÈCES JUSTIFICATIVES. Déposition de M. le général Duerot. Procès-verbaux du Comité central, du Comité de salut public, de l'Internationale, de la délégation des vingt arrondissements, de l'Alliance républicaine, de la Commune. — Lettre du prince Czartoryski sur les Polonais. — Réclamations et errata.

Édition populaire contenant *in-extenso* les trois volumes distribués aux membres de l'Assemblée nationale.

Prix : 16 francs.

COLLECTION ELZÉVIRIENNE

- Lettres de Joseph Mazzini** à Daniel Stern (1864-1872), avec une lettre autographiée. 3 fr. 50
- Amour allemand**, par MAX MULLER, traduit de l'allemand. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- La mort des rois de France** depuis François 1^{er} jusqu'à la Révolution française, études médicales et historiques, par M. le docteur CORLIEU, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- Libre examen**, par LOUIS VIARDOT. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- L'Algérie**, impressions de voyage, par M. CLAMAGERAN. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- La République de 1848**, par J. STUART MILL, traduit de l'anglais par M. SADI CARNOT, 1 vol. in-18. 3 fr. 50
-

BIBLIOTHÈQUE POPULAIRE

- Napoléon 1^{er}**, par M. Jules BARNI, membre de l'Assemblée nationale. 1 vol. in-18. 1 fr.
- Manuel républicain**, par M. Jules BARNI, membre de l'Assemblée nationale. 1 vol. in-18. 1 fr.
- Garibaldi et l'armée des Vosges**, par M. Aug. MARAIS, 1 vol. in-18. 1 fr. 50
- Le paupérisme parisien**, ses progrès depuis vingt-cinq ans, par E. FRIBOURG. 1 fr. 25
-

ÉTUDES CONTEMPORAINES

- Les bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V.**, par Adolphe BOUILLET. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- Les bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V.** Types nouveaux et inédits, par A. BOUILLET. 1 v. in-18. 2 fr. 50
- Les Bourgeois gentilshommes. — L'armée d'Henri V.** L'arrière-ban de l'ordre moral, par A. Bouillet. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- L'espion prussien**, roman anglais par V. VALMONT, traduit par M. J. DUBRISAY. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- La Commune et ses idées à travers l'histoire**, par Edgar BOURLOTON et Edmond ROBERT. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- Du principe autoritaire et du principe rationnel**, par M. Jean Chasseriau. 1873. 1 vol. in-18. 3 fr. 50
- La République radicale**, par A. NAQUET, membre de l'Assemblée nationale. 1 vol. in-18. 3 fr. 50

PUBLICATIONS

DE L'ÉCOLE LIBRE DES SCIENCES POLITIQUES

ALBERT SOREL. *Le traité de Paris du 20 novembre 1815.*
— I. Les cent-jours. — II. Les projets de démembrement. —
III. La sainte-alliance. Les traités du 20 novembre, par M. Albert
SOREL, professeur d'histoire diplomatique à l'École libre des
sciences politiques, 1 vol. in-8 de 153 pages. 4 fr. 50

RÉCENTES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

AGASSIZ. *De l'espèce et des classifications en zoologie.*
1 vol. in-8. 5 fr.

ARCHIAC (D'). *Leçons sur la faune quaternaire*, professées
au Muséum d'histoire naturelle. 1865, 1 vol. in-8. 3 fr. 50

BAIN. *Les sens et l'intelligence*, trad. de l'anglais, 1874
1 vol. in-8. 10 fr.

BAGEHOT. *Lois scientifiques du développement des na-
tions.* 1873, 1 vol. in-4, cartonné. 6 fr.

BÉRAUD (B.-J.). *Atlas complet d'anatomie chirurgicale
topographique*, pouvant servir de complément à tous les ou-
vrages d'anatomie chirurgicale, composé de 109 planches re-
présentant plus de 200 gravures dessinées d'après nature par
M. Bion, et avec texte explicatif. 1865, 1 fort vol. in-4.

Prix : fig. noires, relié. 60 fr.

— fig. coloriées, relié. 120 fr.

Ce bel ouvrage, auquel on a travaillé pendant sept ans, est le
plus complet qui ait été publié sur ce sujet. Toutes les pièces dis-
séquées dans l'amphithéâtre des hôpitaux ont été reproduites
d'après nature par M. Bion, et ensuite gravées sur acier par les
meilleurs artistes. Après l'explication de chaque planche, l'auteur
a ajouté les applications à la pathologie chirurgicale, à la médecine
opératoire, se rapportant à la région représentée.

- BERNARD (Claude). **Leçons sur les propriétés des tissus vivants** faites à la Sorbonne, rédigées par Emile ALGLAVE, avec 94 fig. dans le texte. 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.
- BLANCHARD. **Les Métamorphoses, les Mœurs et les Instincts des insectes**, par M. Emile Blanchard, de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle. 1868, 1 magnifique volume in-8 jésus, avec 160 figures intercalées dans le texte et 40 grandes planches hors texte. Prix, broché. 30 fr.
Relié en demi-marquin. 35 fr.
- BLANQUI. **L'éternité par les astres**, hypothèse astronomique, 1872, in-8. 2 fr.
- BOCQUILLON. **Manuel d'histoire naturelle médicale**. 1871, 1 vol. in-18, avec 415 fig. dans le texte. 14 fr.
- BOUCHARDAT. **Manuel de matière médicale**, de thérapeutique comparée et de pharmacie. 1873, 5^e édition, 2 vol. gr. in-18. 16 fr.
- BOUCHUT. **Histoire de la médecine et des doctrines médicales**. 1873, 2 vol. in-8. 16 fr.
- BUCHNER (Louis). **Science et Nature**, traduit de l'allemand par A. Delondre. 1866, 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. 5 fr.
- CLÉMENCEAU. **De la génération des éléments anatomiques**, précédé d'une Introduction par M. le professeur Robin. 1867, in-8. 5 fr.
- Conférences historiques de la Faculté de médecine** faites pendant l'année 1865 (*les Chirurgiens érudits*, par M. Verneuil. — *Guy de Chauliac*, par M. Follin. — *Celse*, par M. Broca. — *Wurtzius*, par M. Trélat. — *Rioland*, par M. Le Fort. — *Leuret*, par M. Tarnier. — *Harvey*, par M. Béclard. — *Stahl*, par M. Lasègue. — *Jenner*, par M. Lorain. — *Jean de Vier*, par M. Axenfeld. — *Laennec*, par M. Chauffard. — *Sylvius*, par M. Gubler. — *Stoll*, par M. Parot). 1 vol. in-8. 8 fr.
- DELVAILLE. **Lettres médicales sur l'Angleterre**. 1874, in-8. 1 fr. 50
- DUMONT (L.-A.). **Haeckel et la théorie de l'évolution en Allemagne**. 1873, 1 vol. in-18. 2 fr. 50
- DURAND (de Gros). **Essais de physiologie philosophique**. 1866, 1 vol. in-8. 8 fr.
- DURAND (de Gros). **Ontologie et psychologie physiologique. Études critiques**. 1871, 1 vol. in-18. 3 fr. 50

- DURAND (de Gros). Origines animales de l'homme, éclairées par la physiologie et l'anatomie comparative.** Grand in-8, 1871, avec fig. 5 fr.
- DURAND-FARDEL. Traité thérapeutique des eaux minérales de la France, de l'étranger et de leur emploi dans les maladies chroniques.** 2^e édition, 1 vol. in-8 de 780 p. avec cartes coloriées. 9 fr.
- FAIVRE. De la variabilité de l'espèce.** 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. 2 fr. 50
- FAU. Anatomie des formes du corps humain, à l'usage des peintres et des sculpteurs.** 1866, 1 vol. in-8 avec atlas in-folio de 23 planches.
Prix : fig. noires. 20 fr.
— fig. coloriées. 35 fr.
- W. DE FONVIELLE. L'Astronomie moderne.** 1869, 1 vol. de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. 2 fr. 50
- GARNIER. Dictionnaire annuel des progrès des sciences et institutions médicales, suite et complément de tous les dictionnaires.** 1 vol. in-12 de 600 pages. 7 fr.
- GRÉHANT. Manuel de physique médicale.** 1869, 1 volume in-18, avec 469 figures dans le texte. 7 fr.
- GRÉHANT. Tableaux d'analyse chimique conduisant à la détermination de la base et de l'acide d'un sel inorganique isolé, avec les couleurs caractéristiques des précipités.** 1862, in-4, cart. 3 fr. 50
- GRIMAUUX. Chimie organique élémentaire, leçons professées à la Faculté de médecine.** 1872, 1 vol. in-18 avec figures. 4 fr. 50
- GRIMAUUX. Chimie inorganique élémentaire. Leçons professées à la Faculté de médecine,** 1874, 1 vol. in-8 avec fig. 5 fr.
- GROVE. Corrélation des forces physiques, traduit par M. l'abbé Moigno, avec des notes par M. Séguin aîné.** 1 vol. in-8. 7 fr. 50
- HERZEN. Physiologie de la Volonté,** 1874. 1 vol. de la *Bibliothèque de Philosophie contemporaine*. 2 fr. 50
- JAMAIN. Nouveau Traité élémentaire d'anatomie descriptive et de préparations anatomiques.** 3^e édition, 1867, 1 vol. grand in-18 de 900 pages, avec 223 fig. intercalées dans le texte. 12 fr.
- JANET (Paul). Le Cerveau et la Pensée.** 1867, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. 2 fr. 50

- LAUGEL. **Les Problèmes** (problèmes de la nature, problèmes de la vie, problèmes de l'âme), 1873, 2^e édition, 1 fort vol. in-8. 7 fr. 50
- LAUGEL. **La Voix, l'Oreille et la Musique.** 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50
- LAUGEL. **L'Optique et les Arts.** 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50
- LE FORT. **La chirurgie militaire** et les sociétés de secours en France et à l'étranger. 1873, 1 vol. gr. in-8 avec figures dans le texte. 10 fr.
- LEMOINE (Albert). **Le Vitalisme et l'Animisme de Stahl.** 1864, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50
- LEMOINE (Albert). **De la physiognomie et de la parole.** 1865, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 2 fr. 50
- LEYDIG. **Traité d'histologie comparée de l'homme et des animaux**, traduit de l'allemand par M. le docteur LAHILLONNE. 1 fort vol. in-8 avec 200 figures dans le texte. 1866. 15 fr.
- LONGET. **Traité de physiologie.** 3^e édition, 1873, 3 vol. gr. in-8. 36 fr.
- LONGET. **Tableaux de Physiologie.** Mouvement circulaire de la matière dans les trois règnes, avec figures. 2^e édition, 1874. 7 fr.
- LUBBOCK. **L'Homme avant l'histoire**, étudié d'après les monuments et les costumes retrouvés dans les différents pays de l'Europe, suivi d'une description comparée des mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais par M. Ed. BARBIER, avec 156 figures intercalées dans le texte. 1867. 1 beau vol. in-8, broché. 15 fr.
Relié en demi-marroquin avec nerfs. 18 fr.
- LUBBOCK. **Les origines de la civilisation**, état primitif de l'homme et mœurs des sauvages modernes, traduit de l'anglais sur la seconde édition. 1873, 1 vol. in-8 avec figures et planches hors texte. 15 fr.
Relié en demi-marroquin. 18 fr.
- MAREY. **Du mouvement dans les fonctions de la vie.** 1868, 1 vol. in-8, avec 200 figures dans le texte. 10 fr.
- MAREY. **La machine animale**, 1873, 1 vol. in-8 avec 200 fig. cartonné à l'anglaise. 6 fr.
- MOLESCHOTT (J.). **La Circulation de la vie**, Lettres sur la physiologie en réponse aux Lettres sur la chimie de Liebig, traduit de l'allemand par M. le docteur CAZELLES. 2 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine.* 5 fr.

- MUNARET. **Le médecin des villes et des campagnes**, 4^e édition, 1862. 1 vol. gr. in-18. 4 fr. 50
- ONIMUS. **De la théorie dynamique de la chaleur dans les sciences biologiques**. 1866. 3 fr.
- QUATREFAGES (de). **Charles Darwin et ses précurseurs français**. Étude sur le transformisme. 1870, 1 vol. in-8. 5 fr.
- RICHE. **Manuel de chimie médicale**. 1874, 2^e édition, 1 vol. in-18 avec 200 fig. dans le texte. 8 fr.
- ROBIN (Ch.). **Journal de l'anatomie et de la physiologie normales et pathologiques de l'homme et des animaux**, dirigé par M. le professeur Ch. Robin (de l'Institut), paraissant tous les deux mois par livraison de 7 feuilles gr. in-8 avec planches. Prix de l'abonnement, pour la France. 20 fr.
— pour l'étranger. 24 fr.
- ROISEL. **Les Atlantes**. 1874, 1 vol. in-8. 7 fr.
- SAIGEY (Émile). **Les sciences au XVIII^e siècle**. La physique de Voltaire. 1873, 1 vol. in-8. 5 fr.
- SAIGEY (Émile). **La Physique moderne**. Essai sur l'unité des phénomènes naturels. 1868, 1 vol. in-18 de la *Bibliothèque de philosophie contemporaine*. 2 fr. 50
- SCHIFF. **Leçons sur la physiologie de la digestion**, faites au Muséum d'histoire naturelle de Florence. 2 vol. gr. in-8. 20 fr.
- SPENCER (Herbert). **Classification des sciences**. 1872, 1 vol. in-18. 2 fr. 50
- SPENCER (Herbert). **Principes de psychologie**, trad. de l'anglais. Tome 1^{er}. 1 vol. in-8. 10 fr.
- TAULE. **Notions sur la nature et les propriétés de la matière organisée**. 1866. 3 fr. 50
- TYNDALL. **Les glaciers et les transformations de l'eau**. 1873, 1 vol. in-18 avec figures cartonné. 6 fr.
- VULPIAN. **Leçons de physiologie générale et comparée du système nerveux**, faites au Muséum d'histoire naturelle, recueillies et rédigées par M. Ernest BRÉMOND. 1866, 1 fort vol. in-8. 10 fr.
- VULPIAN. **Leçons sur l'appareil vaso-moteur** (physiologie et pathologie). 2 vol. in-8. 1875. 16 fr.
- ZABOROWSKI. **De l'ancienneté de l'homme**, résumé populaire de la préhistoire. 1^{re} partie. 1 vol. in-8. 3 fr. 50
— Deuxième partie. 1 vol. in-8. 5 fr. 50