

Édition de l'AÉROPHILE

REVUE TECHNIQUE ET PRATIQUE DES LOCOMOTIONS AÉRIENNES

63, Champs-Élysées, PARIS

LE VOL A VOILE

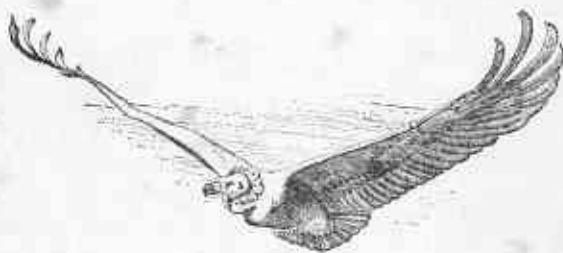
ET LA

THÉORIE DU VENT LOUVOYANT

PAR

Alexandre SÉE

Ancien élève de l'École Polytechnique



PARIS (9^e)

LIBRAIRIE DES SCIENCES AÉRONAUTIQUES

F.-LOUIS VIVIEN, LIBRAIRE-ÉDITEUR

20, Rue Saulnier, 20

1909



LE VOL A VOILE

ET LA

Théorie du Vent louvoyant

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.

CHAPITRE I. — Explications diverses.

Théories fantaisistes. — Théories anti-mécaniques : le poids, l'aspiration du vent, les rafales artificielles.

CHAPITRE II. — Les théories sérieuses.

Le vent ascendant. — L'énergie interne du vent. — La théorie des montagnes russes. — Expériences de Langley. — Les variations du vent sont-elles périodiques ? — Insuffisance de la théorie des montagnes russes.

CHAPITRE III. — Les faits observés.

Structure des ailes — Attitude des ailes. — Direction du

vol. — Masse. — Tangage, balancement, louvoiment. — Conclusion.

CHAPITRE IV. — Les variations du vent.

Variation de hauteur. — Variation de direction horizontale. — La variation générale du vent. — Variation perçue par l'oiseau. — Les trois manières d'utiliser la variation du vent.

CHAPITRE V. — Théorie du vent louvoyant.

CHAPITRE VI. — Explication des faits observés.

Balancement. — Absence de tangage. — Vol en zig zags. Conformation des rémiges. — Influence de la masse. — Indications pour de nouvelles observations.

Avant-Propos

Dans la présente étude nous rappellerons d'abord les nombreuses hypothèses ou théories proposées pour expliquer le vol à voile, cette manœuvre si paradoxale de certains oiseaux.

Nous montrerons que, dans le nombre, deux théories seulement méritent d'être prises au sérieux, et à ces deux, nous ajouterons une troisième, la théorie du vent louvoyant, basée sur les variations de la direction du vent.

Une étude détaillée des formes et attitudes de l'oiseau voilier, nous permettra de choisir, entre ces trois explications, celle qui est conforme aux faits observés. C'est là le critérium qui, appliqué à la bonne théorie, permettra de la reconnaître. Aucune de celles proposées jusqu'ici n'avait résisté à cette épreuve. Il se trouve que la théorie du vent louvoyant s'adapte d'une manière complète aux faits observés. Il est donc vraisemblable qu'elle constitue l'explication exacte et définitive du vol à voile.

CHAPITRE I^{er}.

EXPLICATIONS DIVERSES

Il existe plus de vingt explications diverses, tant l'imagination des chercheurs s'est mise à la torture pour comprendre un phénomène qui n'a pourtant rien de transcendant, et ne sort pas de la mécanique la plus élémentaire ; seulement l'épure à tracer appartient à la géométrie dans l'espace, et non à la géométrie plane, à laquelle on a cherché vainement à la ramener. Aussi la décomposition des forces est-elle assez difficile à bien se représenter dans l'espace.

Nous distinguerons : les théories fantaisistes, les théories antimécaniques, et les théories sérieuses.

Théories fantaisistes. — Ce sont les plus nombreuses.

Il y a d'abord la négation pure et simple. C'est la première idée qui vient à l'esprit.

Gallien croyait à une *tension psychique* de l'oiseau. Bérion admet une *répugnance de l'air à la légèreté de la plume*. Aldrovande parle d'un *mouvement tonique des ailes*.

D'autres croient que l'oiseau se remplit les os et les tubes des ailes avec de l'air chaud, ou qu'il exerce une *répulsion électrique* sur l'air ; n'a-t-on pas été jusqu'à invoquer la *radioactivité* qui rendrait l'oiseau réfractaire à la pesanteur !

Johnson (1) croit à des *mouvements individuels des plumes*, ou à des *mouvements giratoires de la queue*. Beaucoup penchent pour une *trépidation imperceptible des ailes*.

Pour Bell-Pettigrew (1), tout s'explique par une torsion des ailes en hélice.

Signalons encore la théorie du *planeur relatif* de M. Goupil, qui ne soutient pas un examen attentif. Nous en passons, et qui ne sont pas meilleures.

Théories antimécaniques. — Nous appellerons ainsi celles qui sont en contradiction avec les principes de la mécanique, et qui conduisent au mouvement perpétuel. Il est curieux de constater que des savants éminents, comme MM. Marey et Drzewiecki, pour ne citer que ceux-là, n'ont pas su se garder de pareille erreur.

Le vol à voile, comme tout mouvement quelconque, exige, pour se maintenir, un certain travail. Si ce travail ne provient pas de l'oiseau, il provient nécessairement de sources d'énergie extérieures, et si ces sources d'énergie n'existent pas, il faut qu'il y ait erreur de raisonnement.

Le poids. — I. Lancaster (2) et Camuset (3) trouvent naturel que la force motrice soit le poids. Bell-Pettigrew, en termes peu précis, semble bien partager la même idée. Rappelons que si l'oiseau avance horizontalement, ou s'il revient au bout d'un certain temps à sa hauteur primitive, la pesanteur ne peut accomplir aucun travail moteur, puisque la projection du chemin parcouru sur la force est nulle.

Il n'y a travail moteur de la pesanteur que quand l'oiseau descend progressivement, mais alors c'est le simple planement et non pas le vol à voile.

L'aspiration du vent. — Mentionnons la fameuse aspiration du vent, dont parle Mouillard, au dire de M. Bazin (4). Certaines surfaces favorables éprouveraient, au lieu d'une résistance, une aspiration. M. Goupil a penché pour la même explication, sur la foi d'une expérience qu'il avait faite sur une surface arquée, en 1884 (5), mais dont il a reconnu lui-même récemment, le peu de certitude, le courant d'air ayant probablement été ascendant ; il déclare « qu'il serait intéressant d'essayer de la reproduire, mais qu'il ne croit pas qu'on réussisse » (6).

M. Gandillot a dernièrement (7) traduit cette théorie par une *épure géométrique*, dans laquelle la réaction de l'air, sur une surface en planement horizontal, serait en avant de la verticale, et aurait par conséquent une composante propulsive. Cette explication a été ré-

(1) *La locomotion chez les animaux*, 1874.

(2) *American Naturalist*, 1885-86.

(3) *L'aviation et le vol des oiseaux*, 1907.

(4) *Comptes rendus de l'Ac. des sciences*, 17 avril 1905.

(5) *La locomotion aérienne*, 1884.

(6) *L'Aérophile*, 15 décembre 1908.

(7) *L'Aérophile*, 15 novembre 1908.

(1) Congrès de Chicago, août 1893.

fulée par le capitaine Hlayot (1) et par nous (2), comme conduisant au mouvement perpétuel ; est-il besoin de rappeler que, si cette hypothèse était vraie, la surface en question, une fois lancée en air calme, pourrait continuer indéfiniment son mouvement sans intervention d'aucune source d'énergie, ce qui est absurde ?

Certains ont remplacé le mot aspiration du vent, par *contre-résistance* ou *résistance négative*. Ce changement de nom ne fait pas disparaître l'impossibilité mécanique.

Les rafales artificielles. — De toutes les théories du vol à voile, celle-ci est peut-être celle qui a le plus de partisans, bien qu'elle soit aussi anti-mécanique que les deux précédentes, et que M. Rodolphe Soreau en ait fait justice en termes très clairs, il y a treize ans (3).

Rappelons d'abord ce principe, si souvent méconnu : un vent horizontal de vitesse uniforme ne peut pas être une source d'énergie pour l'oiseau, puisque ce vent n'existe que relativement à la terre à laquelle l'oiseau n'est relié par rien ; l'oiseau, libre dans l'air, est entraîné dans le mouvement général de l'atmosphère, et ce mouvement, auquel il participe, ne peut exercer sur lui aucun effet.

Pour l'oiseau, le vent horizontal uniforme est équivalent à l'air calme, et seule la vue de la terre lui permet de faire une distinction entre ces deux cas.

Ainsi le vent horizontal et régulier ne peut, pas plus que l'air calme, fournir d'énergie à l'oiseau ; si donc l'oiseau n'en fournit pas lui-même, quelles que soient d'ailleurs l'habileté et l'ingéniosité de ses manœuvres, il ne pourra pas créer de l'énergie avec rien, et son mouvement ne pourra pas être durable.

Il n'en serait pas de même si le vent était variable, car dans ses variations de vitesse il y aurait une source d'énergie.

La théorie des *rafales artificielles* ou des *rafales relatives*, imaginée par d'Esterno (4) en 1864, suppose que l'oiseau, par certaines manœuvres, sans dépense de travail, change de vitesse par rapport à l'air, et utilise ensuite ces variations de vitesse pour remonter plus haut que son point de départ.

D'Esterno, Davidson (5), Mouillard (6), Basté (7), Bretonnière (8), Marey (9), et bien d'autres, admettent que le vol en orbes, souvent pratiqué par les voiliers, a précisément pour but d'obtenir une vitesse plus grande en allant contre le vent, et plus petite en allant dans le sens du vent.

D'Esterno, Bretonnière, attribuent le même but aux zig-zags qu'on remarque également dans le vol des voiliers ; Drzewiecki (10) suppose que l'oiseau fait une série de passades en ligne droite, se laissant descendre puis remontant par la vitesse acquise plus haut que son point de départ ; Basté parle de passades analogues sur place en vol stationnaire ; et tout cela en air calme ou par vent régulier.

Ni ces artifices, ni aucun de ceux qu'on pourrait encore imaginer, ne peuvent créer de l'énergie si aucune source n'en produit. Aussi n'y a-t-il pas lieu de s'attarder à discuter ces diverses hypothèses.

Mais nous avons hâte de quitter le mouvement perpétuel, et d'en venir aux théories sérieuses.

* *

CHAPITRE II

LES THÉORIES SÉRIEUSES

Le vent ascendant. — On a cru quelque temps, et beaucoup de personnes croient encore que le vol à voile ne peut s'expliquer scientifiquement que si le vent est ascendant. Nous trouvons déjà cette idée chez de

Louvrié en 1868 et chez Pénard en 1875, puis chez Lilienthal (1) en 1889. On a vite reconnu que, si cette hypothèse explique certains cas particuliers, elle ne saurait s'appliquer au phénomène général du vol à voile qui se produit sur d'immenses étendues ; il faudrait supposer que toute l'atmosphère monte pendant des journées entières, ce qui ne peut être pris au sérieux.

Déjà Mouillard en 1881, et Marey en 1890, ne mentionnent cette théorie que pour mémoire, en déclarant qu'il ne faut pas compter sur elle.

Voici le passage de Mouillard (2) : « L'exhaussement se produit par le bon emploi de toutes ces données, et par le choix d'une foule de circonstances heureuses, commençant par les courants ascendants, dont on a beaucoup parlé ces temps-ci, et sur lesquels il ne faut guère compter. »

Enfin M. Soreau a très nettement résumé la question dans les termes suivants (3) :

« Maints observateurs ont vu de nombreux voiliers disséminés au même instant un peu partout dans le ciel. Les uns, désireux de rester à proximité de leur nid ou de leur proie, décrivaient des orbes au-dessus d'une région déterminée, tandis que d'autres se plaisaient à suivre une direction rectiligne, brisée de loin en loin par quelques crochets. Est-il possible d'admettre que les courants ascendants soient en assez grand nombre pour expliquer des manœuvres aussi variées ? Une autre objection me paraît tout à fait concluante : on sait que les petites espèces ont, par unité de poids, une surface alaire plus forte que les grandes espèces ; dans l'hypothèse des courants ascendants, le vol à voile serait donc plus facile aux oiseaux les plus petits ; or, c'est le contraire qui a lieu. Assurément, il existe des vents ascendants, et l'oiseau, heureux de pouvoir se livrer à ses exercices sans dépenser d'énergie, se garde bien de les négliger ; certaines observations donnent même à penser qu'il peut les découvrir aisément et s'y repose volontiers ; mais si les courants ascendants facilitent le vol à voile, ils ne sauraient en fournir une explication générale. »

Il n'est pas douteux que les oiseaux recherchent volontiers les vents ascendants, qui se produisent au-dessus d'un pli de terrain, d'une falaise, ou d'un obstacle tel qu'un pont traversant une vallée. Plusieurs observations sont très nettes à cet égard. Citons d'abord la description bien connue de Langley au Congrès de Chicago en 1893 :

« Je traversais le grand aqueduc du Polomac par une rafale de novembre extrêmement forte. Aux deux tiers environ de l'aqueduc à partir de la rive gauche, juste au-dessus du parapet de droite et à une hauteur de 20 mètres au plus, planait un busard qui se plaisait à rester en cet endroit, comme s'il eût voulu se maintenir au-dessus de quelque objet. Cependant la tempête remontait le courant du fleuve, s'engouffrant avec violence dans cette tranchée où aucun obstacle ne venait la briser. »

L'obstacle qui venait la briser n'a rien de mystérieux : c'est l'aqueduc lui-même qui occasionnait un remous ascendant.

Une autre observation très nette est celle de M. Goupil (4) au-dessus de la digue du port de Granville, digue qui mesure 1.400 m. de longueur et près de 50 m. de hauteur. « Quand le vent, écrit-il, est perpendiculaire à la direction du barrage, on voit les goélands en foule prendre leurs ébats : j'en ai tenu en station pendant 30, 60, 80 secondes au bout de ma jumelle. Si le vent a une autre direction, ils disparaissent et vont en un autre lieu chercher un vent ascendant. »

Citons encore cette observation fort précise de Marey : « Il faut rattacher au vol à voile un phénomène très singulier, dont j'ai été plusieurs fois témoin ; c'est l'immobilité de l'oiseau dans un même point de l'espace, avec un simple balancement du corps et sans battement d'ailes. Une crécelle m'a donné ce spectacle... Elle se tenait les ailes demi-fléchies, le bec au vent qui soufflait avec force. Ajoutons toutefois que

(1) Lilienthal, *der Vogel-Flug als Grundlage der Fliehkunst*, 1889.

(2) *L'Empire de l'Air*, 1881, page 44.

(3) *Loc. cit.*

(4) *Bull. technol. des Anc. Elèves des Arts et Métiers*, septembre 1908.

(1) *L'Aérophile*, 1^{er} janvier 1909.

(2) *L'Aérophile*, 15 décembre 1908.

(3) Le vol à voile et l'aviation, *Revue scientifique*, 30 mars 1895.

(4) D'Esterno, *le Vol des oiseaux*, 1864.

(5) Davidson, *Scientific american*, 27 mars 1871.

(6) Mouillard, *L'Empire de l'Air*, 1881.

(7) Basté, *L'Aéronaute*, sept., oct. et nov. 1887.

(8) Bretonnière, *L'Aéronaute*, 1889 et 90 : et Congrès de Chicago, 1893.

(9) Marey, *le Vol des oiseaux*, 1890.

(10) Drzewiecki, *le Vol plané*, 1891.

l'oiseau était à quelques mètres au-dessus de la cime des peupliers. On peut supposer que le vent rôtéchi sur ce rideau d'arbres prenait une direction ascendante capable de soutenir l'oiseau. »

Les exemples analogues ne manquent pas.

Il faut même, croyons-nous, rattacher au moins partiellement à la théorie du vent ascendant le fait, souvent observé, des oiseaux voiliers qui suivent les navires en mer. Ils se maintiennent pendant des heures à peu près au même point par rapport au navire. Voici une observation très nette de E. Lapointe (1) :

« L'auteur a, pendant près d'une heure, observé à une distance ne dépassant jamais 5 mètres, une mouette suivre le navire sans faire aucun balancement d'ailes, sans qu'à cette faible distance il pût constater le moindre frémissement des plumes, des ailes ou de la queue ; il a remarqué simplement un léger balancement, du reste lent et irrégulier, de tout le corps de l'oiseau ; il y avait même des intervalles de plusieurs minutes pendant lesquelles ce balancement lui-même n'était pas perceptible... Il se maintenait ainsi sans que son niveau baissât, et cependant le vent était horizontal, la fumée qui s'échappait de la cheminée du navire montrait qu'il ne pouvait venir d'en bas. »

Dans les moments où l'oiseau se balançait, l'explication est dans la théorie du vent louvoyant, que nous exposerons ci-après : mais dans les moments où le balancement cessait, force est de recourir à la théorie du vent ascendant, malgré l'affirmation très nette de l'auteur. Il est clair que la carène du navire, ses bastingages, ses dunettes, ses diverses saillies créent des remous de vent, et que ces remous comportent des parties ascendantes que l'oiseau sait choisir : à un mètre de là, la fumée peut être horizontale, cela ne prouve rien. Le navire jouerait ici le même rôle que l'aqueduc du Pofomac dont parle Langley.

Il est donc certain que la théorie du vent ascendant s'applique dans certains cas particuliers, et on aurait tort de la rejeter systématiquement : mais ce ne sont que des cas particuliers, et les deux objections, si clairement exprimées dans le passage de M. Soreau cité plus haut, l'empêchent d'être la théorie générale du vol à voile.

D'ailleurs, même par vent ascendant, on ne voit jamais planer les petits oiseaux pourtant si bien doués sous le rapport des surfaces, mais seulement les vrais voiliers qui savent utiliser l'énergie interne du vent sous d'autres formes : et cela donne à penser que le vent ascendant n'est pour eux qu'une aide, un appoint, et non le phénomène essentiel.

Un regain d'actualité a été donné récemment à la théorie du vent ascendant par M. Marcel Deprez (2) qui a même cru l'avoir découverte, et qui démontre qu'elle est indispensable à l'explication du phénomène. Nous indiquerons plus loin en quoi son raisonnement est en défaut : disons de suite qu'il n'a pas pensé que les diverses forces en jeu peuvent n'être pas dans un même plan, et que, outre les réactions sustentatrice et propulsive qu'il considère, il peut exister une troisième composante latérale qui change tout le problème.

L'énergie interne du vent. — C'est à Mouillard, croyons-nous, que revient l'honneur d'avoir, en 1881, aperçu la véritable source d'énergie utilisée dans le vol à voile, sans d'ailleurs se rendre compte de son importance capitale. Elle est dans les intermittences du vent.

« L'angle juste, dit-il (3), la force irrégulière du vent bien employée... toutes ces conditions réunies rendent le problème facile à comprendre... Une étude attentive du vol des oiseaux fait voir qu'il y a des bouffées irrégulières non seulement à la surface, mais même jusqu'aux confins de l'atmosphère visible. » Et plus loin (4) : « Cette périodicité du vent est indéniable : on n'a qu'à se souvenir des hurlements successifs de la bise d'hiver dans nos cheminées. »

La théorie des montagnes russes. — Par quel mécanisme utiliser ces variations du vent ? Mouillard

esquisse la théorie dite des montagnes russes. Il suppose que l'oiseau, allant contre le vent, se laisse descendre pendant l'accalmie pour acquérir de la vitesse ; puis quand vient le coup de vent, dont la vitesse s'ajoute à celle qu'il vient d'acquérir, il en profite pour remonter plus haut que son point de départ.

Pour mieux faire comprendre son idée, il imagine un cerceau qui descend une pente suivie d'une montée.

« Si nous supposons qu'on puisse, lorsque le cerceau est en train de remonter, déplacer le sol, de manière à ce qu'il aille en sens contraire du jouet, c'est-à-dire lui venir dessus, nous activerons encore l'ascension en lui communiquant une force supplémentaire, indépendante de son individu, dont la résultante sera encore une élévation. »

L'exactitude de cette idée a été vérifiée par Bazin, qui a réalisé matériellement l'expérience imaginée par Mouillard au moyen d'une bille roulant sur une piste en forme de montagnes russes. Cette expérience est décrite dans le *Vol des Oiseaux*, de Marey, page 317.

Mais l'oiseau n'est pas un cerceau ou une bille, c'est un aéroplane porté par l'air. Bretonnière a fait un essai de calcul, dans lequel il ne fait intervenir que les forces vives, mais toujours pas les propriétés de l'aéroplane, et il reste à démontrer que l'oiseau peut utiliser l'énergie interne du vent pour obtenir une sustentation continue.

Marey, Bazin, Langley, Soreau ont ensuite développé la même théorie, mais en la basant toujours sur un raisonnement intuitif plutôt que sur un calcul précis.

M. René de Saussure a donné un calcul (1) tout à fait insuffisant, malgré sa grande complication, à cause de ses nombreuses hypothèses injustifiées ; il suppose notamment que l'oiseau se laisse tomber verticalement et remonte verticalement, ce qui n'a aucun rapport avec la réalité : de plus, il ne traite qu'un exemple numérique, et non une théorie générale.

L'essai de calcul de M. Le Clément de Saint-Març (2) n'est pas plus heureux, car il suppose *a priori* que l'oiseau fait un angle de 45° avec l'horizontale, et qu'il reçoit alternativement le vent debout et le vent arrière !

Nous donnerons dans une prochaine étude un calcul un peu plus serré.

Expériences de Langley. — Le professeur Langley, secrétaire de l'Institut Smithsonian, à Washington, a apporté au Congrès de Chicago, en août 1893, un fait capital qui a donné beaucoup de force à la théorie des montagnes russes. C'est la constatation scientifique de l'existence des variations de vitesse du vent. Non seulement la vitesse du vent varie constamment, mais les variations sont rapides et beaucoup plus importantes qu'on ne le supposait jusqu'alors.

Les graphiques obtenus par Langley à l'aide d'anémomètres précis montrent à chaque instant des variations brusques de 5 m., 6 m., 8 m. par seconde : parfois la vitesse s'annule tout à fait pendant une seconde, puis saute à 12 ou 15 m. L'amplitude des variations est d'autant plus grande que le vent moyen est plus fort, ce qui fait comprendre pourquoi le vol à voile n'a lieu que lorsqu'il y a du vent ; mais ce n'est pas l'importance du vent lui-même qui est en cause, c'est l'importance de ses variations. Quant à la durée des sautes de vent, elle est fort courte ; Langley indique 5 secondes environ.

M. Fines, directeur de l'Observatoire de Perpignan, a fait, avec M. G. Sorel, des expériences analogues à celles de Langley, mais avec des appareils plus précis (3). Les résultats confirment en tous points ceux de Langley.

M. A. Lancaster, directeur du service météorologique de Belgique, a également publié des diagrammes anémométriques intéressants (4). Mentionnons encore les observations de Church et Hazen, Helmholtz, Angot, Houzeau, Lilienthal, Le Clément de Saint-Març.

(1) *Revue de l'Aéronautique*, 1893.

(2) Commission perman. internat. d'aéronautique, session de Bruxelles, septembre 1907.

(3) G. Sorel, *Revue scientifique*, 11 mai 1895 ; voir aussi le *Bulletin météorologique des Pyrénées-Orientales*, 1886 et 1888.

(4) Sur la nature du vent, Congrès de l'Atmosphère, Anvers 1895 ; et La Force du vent en Belgique, *annuaire météorologique de Belgique*, 1903.

(1) E. Lapointe, *Essai sur la navigation aérienne*, Paris 1896.

(2) *Comptes rendus de l'Acad. des Sc.*, 13 avril 1908.

(3) *Loc cit.*, p. 45.

(4) *Loc cit.*, p. 220.

L'existence des variations de vitesse du vent est donc un fait établi, et il en résulte une importante source d'énergie que Langley appelle *l'énergie interne du vent* (The internal Work of Wind).

Il n'est donc pas utile, comme l'a fait Lilienthal dans une hypothèse d'ailleurs très scientifique, d'imaginer que l'oiseau, en montant et en descendant, rencontre des couches d'air de vitesse différente (1). Aussi la théorie dite des *montagnes russes* ou de *Langley* a-t-elle été généralement considérée comme la meilleure, à défaut d'autres mieux adaptées aux faits observés.

Les variations du vent sont-elles périodiques? — On s'est demandé comment l'oiseau pouvait saisir au passage des choses aussi invisibles et aussi fugitives que les intermittences du vent.

« Il est nécessaire, écrit M. Soreau (2), que les pulsations se régularisent pour que le voilier puisse les utiliser. L'utilisation de mouvements heurtés supposerait en effet chez l'oiseau, un instinct prodigieux, hors de proportion avec l'instinct des autres créatures. »

M. Soreau part de là pour supposer qu'à une certaine altitude, les variations du vent se régularisent et se font sous un rythme constant.

M. Le Clément de Saint-Març (3) a essayé de développer la même idée et de la vérifier par l'observation. On est obligé de constater que rien, jusqu'ici, n'était sérieusement cette hypothèse, et que, pour en voir la trace sur les diagrammes, il faut beaucoup de bonne volonté. D'autre part, le vol à voile n'a pas seulement lieu aux grandes altitudes : il a souvent lieu très près de terre, à 30 mètres et moins, ainsi que près des flots de la mer, c'est-à-dire à une hauteur analogue à celle où on a pu placer des anémomètres, et où il est tout à fait certain que la régularité du rythme n'existe pas. Il est donc certain qu'elle n'est pas indispensable, et que l'oiseau peut utiliser des variations irrégulières.

Nous montrerons plus loin, dans la théorie du *vent loupant*, que cette utilisation ne nécessite nullement un instinct extraordinaire ; elle ne nécessite même pas d'instinct du tout, car elle se fait automatiquement.

Il est possible que, dans la théorie des montagnes russes, l'automatisme existe aussi : c'est ce qu'a essayé de démontrer Lapointe (4) en s'appuyant sur la loi d'Avanzini, d'après laquelle le centre de poussée se rapproche de l'avant du plan lorsque la vitesse relative augmente ; d'où relèvement du plan ; puis quand l'accalmie se produit, le centre de poussée est reporté en arrière, et le plan bascule en avant.

Quant à la cause des intermittences du vent, c'est un problème qui n'est pas bien résolu, et que nous n'aborderons pas ici.

Insuffisance de la théorie des montagnes russes. — La théorie des montagnes russes a été acceptée, faute de mieux, par la plupart des auteurs, mais non sans réserves.

C'est qu'elle a un grave défaut : elle ne s'adapte nullement aux faits observés.

Soreau (5) reconnaît qu'elle « a besoin d'être confirmée par des expériences plus complètes. »

Marey déclare qu'elle « ne paraît pas expliquer complètement les manœuvres de l'oiseau voilier », et il trace un « plan d'expériences à faire pour éclairer le mécanisme du vol à voile. »

Bazin écrit (6) : « Il y a dans le vol des voiliers quelque chose d'incompréhensible en l'état actuel de nos connaissances mécaniques. »

Jos. Martin (7), écrivait récemment : « Quant au vol plané (vol à voile), il est encore, selon moi, une sorte d'énigme, quoiqu'il soit expliqué par certains auteurs en mettant en jeu les variations d'intensité du courant aérien. »

C'est par la même incertitude que conclut M. Delbruck, en terminant son enquête publiée dans la *Revue du Touring-Club* au début de 1908.

C'est justement, cette insuffisance de la théorie qui

a provoqué tant d'explications faulaisistes et abracadabrantes.

Il est bon de préciser en quoi la théorie de Langley est contredite par l'observation. Nous allons, pour cela, passer en revue les diverses particularités de structure et d'allure observées chez les oiseaux voiliers, particularités dont les théories proposées jusqu'ici n'ont guère tenu compte, dans l'impossibilité où elles étaient d'en donner une explication.

* *

CHAPITRE III.

Les faits observés.

Nous dirons quelques mots des points suivants :

1° *Structure des ailes* ; 2° *Attitude des ailes* ; 3° *direction du vol* ; 4° *masse* ; 5° *language, balancement et vol en zig-zags.*

Structure des ailes. — Déjà, en 1784, Huber (1) remarquait que les oiseaux voiliers se distinguent des oiseaux rameurs par une conformation particulière. « L'aile voilière, écrit-il, est large, émoussée. On constate que les plumes voilières sont beaucoup plus molles que les plumes rameuses. »

Mouillard et tous les observateurs ont fait les mêmes constatations.

« Le vol à voile, dit Marey, n'est possible qu'à certaines espèces qui présentent une conformation particulière... L'aile rameuse se termine par une pointe formée d'un groupe de fortes rémiges (fig. 1). L'aile voi-



Fig. 1. — Aile rameuse d'un faucon (Prechtl).



Fig. 2. — Aile voilière d'un aigle (Prechtl).

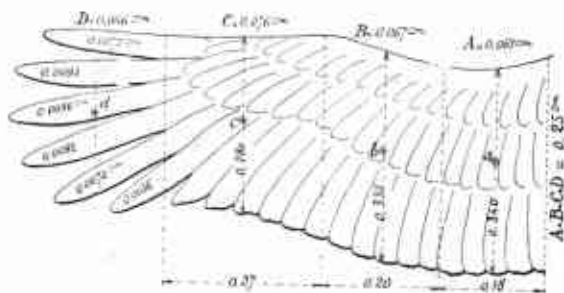


Fig. 2 bis. — Aile voilière d'une cigogne de 4 kilogrammes (d'après Lilienthal).

lière au contraire a son extrémité arrondie et obtuse (fig. 2 et 2 bis), elle est découpée et comme déchiquetée

(1) Observations sur le vol des oiseaux de proie, Genève 1784.

(1) Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. 1889.
(2) Navigation aérienne, Bulletin de la Société des Ing. civils, octobre 1902.
(3) Loc. cit.
(4) Loc. cit.
(5) Revue scientifique, 6 avril 1895.
(6) L'Aérophile, 1^{er} août 1908.
(7) L'Aéro-mécanique, Bruxelles, décembre 1908.

par suite de l'étroitesse et de l'écartement des rémiges du fouet.

« En examinant d'en bas le vol d'une corneille, on voit très bien ces intervalles entre les plumes qui s'écartent comme les doigts d'une main ouverte. Cet aspect tient à la conformation des rémiges primaires des oiseaux voiliers. Ces plumes sont rétrécies à leur pointe par des échancrures (fig. 3). » On voit l'extrémité des premières rémiges se relever en forme de crochet » (fig. 5).

La forme arrondie de l'aile voilière tient à ce que la plus longue rémige n'est jamais la première, comme chez les rameurs, mais au contraire la 2^e, la 3^e ou la 4^e.

Les figures 1, 2, 2 bis, 3, 4, 5 montrent les formes en question.

En résumé, l'aile voilière est arrondie, obtuse, la première rémige est plus courte que les suivantes, les rémiges sont molles et flexibles, rétrécies à leur extrémité et recourbées vers le haut.

Tels sont les caractères de l'aile des voiliers ; les meilleurs voiliers, comme le vautour oricou, les présentent à un degré extraordinairement net et frappant ; ils



Fig. 3. — Rémige d'un voilier (Prechtl).



Fig. 4. — Rémige d'un rameur (Prechtl).

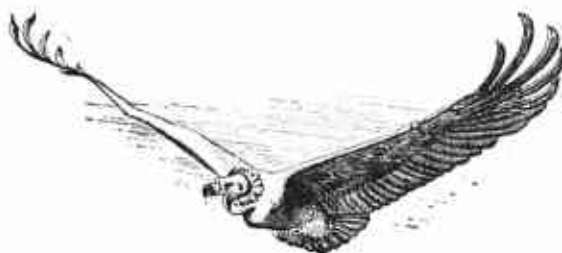


Fig. 5. — Relèvement des rémiges (vautour oricou) (Mouillard).

sont un peu plus atténués chez les oiseaux qui ne pratiquent pas exclusivement le vol à voile (mouette, corneille, crécerelles) et pour lesquels nous proposons le nom de *semi-voiliers*.

Ces particularités de conformation doivent avoir leur utilité dans le vol à voile ; mais on ne voit pas du tout à quoi elles serviraient dans la théorie de Langley, qui n'est qu'une succession de planements montants et descendants ; d'après cette théorie il n'y aurait pas de différence essentielle entre le planement et le vol à voile, et les bons planeurs seraient aussi les bons voiliers. Or il n'en est pas ainsi.

Attitude des ailes. — Bien mieux, planeurs et voiliers n'ont pas la même attitude des ailes.

« Quand les oiseaux de proie, écrit Marcy, décrivent en l'air leurs orbes sans donner un seul coup d'aile, on observe toujours chez eux la même attitude que Mouillard a fort bien représentée (fig. 6, 10 et 11). Les ailes sont largement déployées et portées en avant. Au contraire, l'oiseau qui avance en ligne droite contre le vent ou qui, profitant de sa hauteur acquise, se laisse glisser rapidement, serre plus ou moins les ailes (fig. 7 et 9). Du reste, à la simple courbure que l'aile présente suivant sa longueur, il est facile de distinguer le vol à voile du vol ramé. Dans le premier, les extrémités des ailes sont relevées ; dans le vol ramé, au contraire, les pointes des ailes sont constamment dirigées vers le bas » (fig. 8).

Tous les auteurs, Audubon, Langley, Bazin, etc. ont également remarqué que dans le vol à voile les ailes



Fig. 6. — Attitude d'un oiseau voilier (Mouillard).



Fig. 7. — Attitude d'un oiseau planeur (Mouillard).

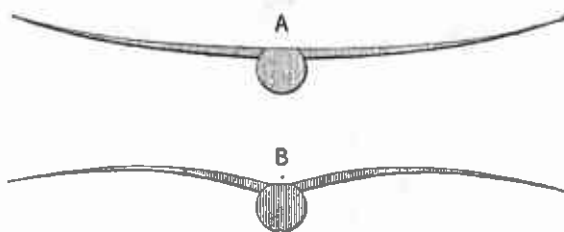


Fig. 8. — A, Courbure des ailes dans le vol à voile. B, Courbure des ailes dans le vol ramé (Marcy).

sont largement étalées en croix, pointant plutôt en avant (fig. 10 et 11).

Mouillard a évalué l'angle obtus formé par les ailes en avant. « Le percnoptère a les ailes parfaitement

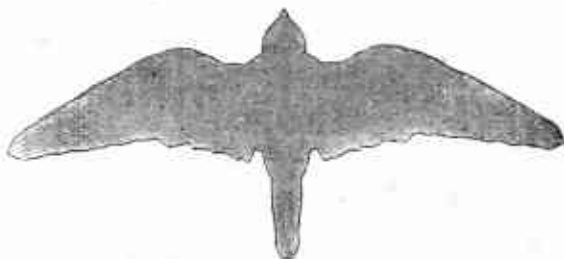


Fig. 9. — Ombre du faucon pèlerin, rameur (Mouillard).

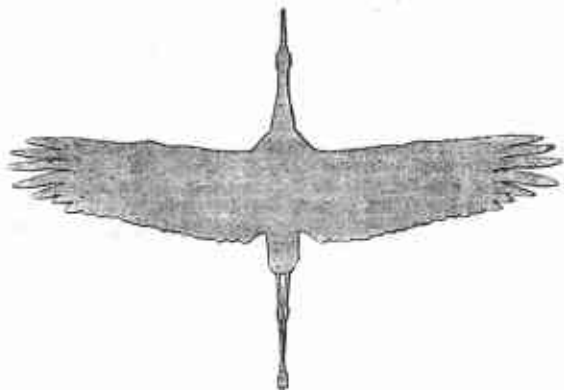


Fig. 10. — Ombre de la cigogne, voilier (Mouillard)

rectilignes, dit-il ; le gypsoir cathartide commence à faire passer ses pointes légèrement en avant ; le gyps falvus les avance tellement, que, si on prend la mesure de l'angle en avant qu'il produit, on trouve qu'il est de 165 degrés (fig. 11). L'otogyps oricou va plus loin : pour faire un croquis satisfaisant de sa tournure au vol, il faut arriver jusqu'à 140 degrés. »



Fig. 11. — Ombre du vautour fauve, voilier (Mouillard).

Les figures 10 et 11 ci-contre, empruntées à Mouillard, montrent cette attitude caractéristique, bien différente de l'attitude des rameurs et planeurs (fig. 9).

La théorie de Langley est encore muette sur ce point.

Direction du vol. — Si l'oiseau utilisait les variations de vitesse du vent, la direction de cette vitesse restant fixe, il ne pourrait voler à voile que parallèlement au vent, ou en orbes. Or le vol à voile a lieu dans toutes les directions à la fois. « L'aigle, dit Bazin (1), évolue librement dans toutes les directions. Les voiliers croisent leur vol dans tous les sens. » Mouillard, Soreau, Drzewiecki ont fait des descriptions analogues.

Masse. — Les espèces les plus lourdes sont aussi les meilleures voilières. « Dès qu'un oiseau devient gros, dit Mouillard, il devient voilier. »

Tels sont les pélicans, les vautours, qui pèsent de 6 à 10 kilogrammes. On peut dire qu'à partir de deux ou trois kilogs les oiseaux ne peuvent plus que difficilement soutenir le vol ramé, et forcé leur est de recourir à l'artifice du vol à voile.

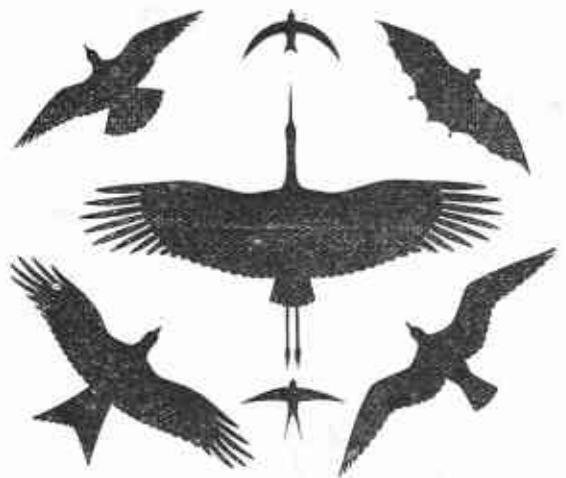


Fig. 11 bis. — Ailes voilières (cigogne, milan) et ailes rameuses (pigeon, chauve-souris, hirondelle, mouette en vol ramé) (Lilienthal).

On a essayé d'expliquer cette influence du poids, ou de la masse, en disant qu'elle empêche l'oiseau d'être trop facilement entraîné par les rafales du vent. Il est très exact que l'inertie de l'oiseau joue là un rôle utile, mais examinons les choses de plus près.

L'inertie aurait, en somme, pour effet de vaincre les résistances de pénétration dans le sens horizontal (2).

(1) *Aérophile*, 15 août 1908.

(2) Il ne saurait être question de la faire intervenir dans les déplacements en hauteur que suppose la théorie de Langley, car les variations de hauteur qui résultent des variations de vitesse sont indépendantes du poids et de la masse ; elles sont régies par la loi $v = \sqrt{2gh}$.

On voit que la qualité qu'on attribue à la masse n'est autre que celle de rendre l'oiseau « bon projectile ». On sait que le travail de sustentation est d'autant plus faible que la vitesse est plus grande. Le voilier a donc intérêt à voler vite, tout comme le planeur, d'ailleurs ; et la masse interviendrait, en définitive, pour permettre à l'oiseau bon projectile une vitesse de régime considérable, en dépit des résistances de pénétration.

Le voilier a encore une autre raison de voler vite : plus sa vitesse de régime est grande, plus la force vive rendue disponible par les variations de vitesse du vent est grande. V étant la vitesse de régime de l'oiseau, et W la variation du vent, l'accroissement de force vive disponible est proportionnelle à :

$$(V + W)^2 - V^2 = 2VW + W^2$$

elle augmente donc avec V .

On doit donc s'attendre à voir les voiliers lourds se distinguer par une grande vitesse.

Or, c'est le contraire qui a lieu ! Les voiliers vont moins vite que les rameurs. Mouillard l'a nettement remarqué : « Les pélicans, dit-il, se meuvent avec une lenteur curieuse. » En parlant d'un vol de voiliers voyageurs, qui dans l'espèce étaient des cigognes, il écrit : « On voyait avancer lentement cette masse... ces oiseaux avançaient lentement. »

Les meilleurs voiliers ne sont pas les plus rapides, mais au contraire, les plus lents ; Mouillard les classe en deux catégories : « les planeurs rapides, hirondelle, martinot, milan, nauclet ; et les planeurs lents à ailes larges : le type de ce genre est le vautour. »

Tous les observateurs ont été frappés par la lenteur du vol à voile, qui lui donne quelque chose de majestueux. Bazin (1) a vu un grand vautour raser « d'un vol égal et lent » les terrasses du Caire.

« Ce qui est tout à fait remarquable, dit Marey en parlant du goéland, c'est l'extrême lenteur de sa progression contre le vent. »

Voici à ce propos une observation du plus haut intérêt, parce qu'elle a permis de comparer à un même moment la vitesse d'un voilier à celle d'un rameur. Elle est de M. Fernand Scrive, président du Nord-Aviation. Dans une lettre qu'il nous a adressée le 3 février dernier, il rapporte avoir vu ce jour-là, par une violente tempête d'Ouest, deux mouettes passant sur Lille : elles essayaient vainement, en vol à voile, de remonter le vent, mais la tourmente les dominait et les faisait dériver vers l'Est, malgré elles. « Au même instant, écrit-il, tournoyait une bande de pigeons aux ailes solides, au ballement tenace et répété, se dirigeant vers l'Ouest aussi et rentrant au pigeonnier. Le planeur pigeon rentrait chez lui : le voilier mouette était entraîné à 100 kilomètres de la côte ! »

Que devient dans tout cela l'influence de la masse ?

Bien mieux, le voilier ne cherche même pas à prendre une position favorable à la vitesse, comme dans le planement rapide. Au lieu de porter ses ailes en arrière du centre de gravité, et de leur donner des lignes fuyantes, il étale largement ses ailes en avant et il écarte les rémiges, comme s'il faisait exprès d'augmenter la résistance à la pénétration. Cette position spéciale, nuisible à la vitesse, doit donc être une condition nécessaire par ailleurs au vol à voile.

Nous montrerons plus loin que ce qui intervient en réalité, ce n'est ni la masse, ni l'inertie, ni le poids, mais la flexibilité propre aux grandes ailes.

Tangage, balancement latéral, louvoiement. — Non seulement le mouvement de tangage accompagné de changements de hauteur, qui est la clef de la théorie de Langley, n'a presque jamais été constaté (2), mais des observateurs prévenus, qui ont porté leur attention sur ce point, ont remarqué son absence complète.

Cependant il est hors de doute qu'on le verrait s'il existait, surtout quand l'oiseau reste immobile en tenant tête au vent, ou quand il monte d'une façon constante ; si la montée alternait avec des plongées, on le remarquerait aisément.

(1) *Aérophile*, 15 août 1908.

(2) S'il l'a été, c'est très exceptionnellement. On nous objectera que Basté, cité par Marey, décrit ce tangage. Mais il semble bien qu'il l'ait vu avec les yeux de la foi, parce qu'il croyait *a priori* qu'il devait exister. Marey lui-même paraît fort peu convaincu.

Le mouvement qu'on observe est tout autre ; c'est un balancement latéral de l'oiseau, accompagné de zig-zags ou crochets, formant une sorte de louvoyement.

Citons Bazin (1) : « Cette théorie (de Langley) explique presque toutes les manœuvres connues des voiliers ; nous disons presque, parce qu'il en est une, au moins, qui lui échappe et nous paraît délier toute explication mécanique. Placé sur une falaise, nous observons des goélands planant à peu près à notre hauteur. A un moment donné, tous s'orientent le bec au vent et filent... jusqu'à perte de vue sans monter ni descendre et sans autres mouvements que de légers balancements latéraux. »

L'observation suivante de Bazin (2) est d'une précision inattaquable. « Du haut de la Grande Mosquée du Caire, nous vîmes avec Mouillard, au-dessous de nous, un grand vautour, les ailes étendues, immobiles, rigides, traverser tout un quartier de la ville, rasant d'un vol égal et lent les terrasses des maisons. Son ombre portée permettait d'apprécier sa hauteur. Donc, pas d'erreur possible, son vol était bien horizontal. Toutes ces terrasses étaient sensiblement de niveau. »

Voici encore une observation très nette de Jos. Martin (3) : « J'ai observé minutieusement au moyen d'une forte longue-vue le vol de quelques grues qui luttaient à 30 m. seulement de hauteur contre un vent très violent du S.-O. ; or, pendant plus d'un quart d'heure que je les ai ainsi observées de près (ce qui était facile car elles ne progressaient que très lentement), je n'ai constaté aucun ballement d'ailes ; je n'ai pas non plus constaté ces montées et ces descentes au moyen desquelles on explique la progression des oiseaux planeurs contre le vent ; j'ai seulement remarqué des variations assez prononcées dans l'orientation de leur marche, elles *louvoyaient* véritablement ; j'ai aussi observé un certain *balancement* de l'oiseau entier. »

Ce balancement latéral, tous les auteurs l'ont observé, et il est vraiment curieux que l'on n'ait pas eu l'idée d'y chercher la clef de l'énigme, et qu'on l'ait toujours considéré comme accessoire. Cela tient, sans aucun doute, à la sensation de bercement indolent et passif qu'il donne, et qui exclut toute idée de volonté en même temps que toute idée d'utilisation. On n'y a vu que des mouvements d'équilibre. Choisissons parmi les observations les plus caractéristiques :

Langley commence ainsi son célèbre mémoire au Congrès de Chicago : « On a remarqué, il y a longtemps déjà, que certaines espèces d'oiseaux peuvent planer presque indéfiniment dans l'air, c'est-à-dire s'y maintenir sans ballement d'ailes et sans autre mouvement qu'un *léger balancement* du corps. »

Et plus loin, en parlant du busard : « Un très léger balancement le faisait progresser contre le vent aussi bien que latéralement ; il semblait s'abandonner nonchalamment au bercement de vagues invisibles. »

« On est stupéfait, dit Bazin (4), de l'aisance avec laquelle ils (les martinets) avancent contre le vent, presque sans coups d'aile, car il ne faut pas prendre pour des ballements leurs rapides *balancements latéraux* qui ne sont que des mouvements d'équilibre. »

« Le goéland, dit Marey, ne donne pas un seul coup d'aile, seulement il présente un *léger balancement*, comme celui d'un acrobate marchant sur la corde raide. »

« On les voit arriver de tous côtés, dit Drzewiecki (5), les ailes déployées, sans un ballement, *se balançant régulièrement*, en un rythme constant et majestueux, avec une facilité et une désinvolture qui font paraître au spectateur ces manœuvres toutes naturelles et exécutées sans le moindre effort. »

On verra plus loin que notre nouvelle théorie du vent *louvoyant* se sert du balancement de l'oiseau ; mais nous reconnaissons que ce n'est pas l'observation qui nous a mis sur la voie : c'est un raisonnement théorique qui nous a fait prévoir ce balancement, alors que nous ignorions encore qu'il avait été observé, et il n'a été pour nous qu'une vérification de l'exactitude de notre hypothèse. Non seulement, en imaginant la théo-

rie du vent *louvoyant*, nous n'avions, personnellement, jamais vu pratiquer le vol à voile, et nous ignorions les particularités dont il s'accompagne, mais à l'heure qu'il est, nous ne l'avons pas vu davantage, ne le connaissant que par les récits d'observation.

Donnons enfin quelques observations relatives au vol en zigzags ou en crochets. Ce phénomène est si net, que Bretonnière (1) en a fait la base d'une théorie qui se rattache à la théorie antimécanique des rafales artificielles.

Soreau le décrit ainsi (2) : « D'autres se plaisaient à suivre une direction rectiligne, brisée de loin en loin par quelques *crochets* destinés à corriger la déviation du vent. »

Nous trouvons encore dans Soreau le passage suivant (3) : « Quand il (l'oiseau), voyage, par exemple lors des grandes migrations, il suit de longues trajectoires rectilignes, brisées par des *crochets* qui corrigent la déviation sur la direction générale qu'il veut suivre. »

Dans le passage cité plus haut de Jos. Martin, rappelons la phrase : « J'ai seulement remarqué des variations assez prononcées dans l'orientation de leur marche, elles *louvoyaient* véritablement. »

Il faut remarquer que l'oiseau, dans ses crochets, ne change pas la direction de l'axe de son corps, dont la fixité imposante a frappé tous les observateurs ; il est seulement ballotté tout d'une pièce, de droite et de gauche. Tantôt ces zigzags sont peu sensibles, tantôt ils sont extrêmement prononcés. M. Gommès a vu, dans les Pyrénées, des vautours subir des déplacements latéraux qu'il évaluait à 200 mètres, d'une durée de 15 secondes environ. Il est à désirer que des observations nouvelles fixent avec précision la durée de l'oscillation.

Conclusion. — Résumons brièvement les faits observés. L'aile voilière a une conformation spéciale ; son extrémité est arrondie, les rémiges sont étroites, écartées et recourbées vers le haut ; les ailes sont portées en avant ; le vol est lent, sans langage ni variations de hauteur, mais accompagné d'un balancement et d'un louvoyement. Ces caractères ont nécessairement leur raison d'être ; or la théorie de Langley non seulement n'en explique aucun, mais est contredite formellement par plusieurs d'entre eux.

Nous croyons donc que la théorie de Langley non seulement n'est pas générale, mais est à rejeter complètement, inférieure en cela à la théorie du vent ascendant qui, elle, est parfois applicable. D'ailleurs, les observations futures qu'on pourra faire, en vue de confirmer ou d'infirmer celles sur lesquelles nous nous sommes appuyé, nous fixeront définitivement sur ce point.

Toujours est-il qu'il faut trouver autre chose. Avant d'aborder la théorie du vent *louvoyant*, basée sur les variations de direction du vent, il faut que nous précisions un peu la notion de *variation du vent*, dont on se fait souvent une idée incomplète.

*
* *

CHAPITRE IV

LES VARIATIONS DU VENT

La théorie de Langley ne s'appuie que sur les variations longitudinales de la vitesse du vent, variations parallèles au vent lui-même, et qui ne changent que la grandeur de sa vitesse, sans changer sa direction.

Ces variations ne sont pas les seules. Le vent varie aussi en direction, tant dans le sens horizontal que dans le sens vertical.

Variations de hauteur. — On sait que le vent n'est pas constamment horizontal, il y a des rafales montantes et d'autres plongeantes. Sans faire une étude méthodique de la question, Lilienthal en 1889 (4) a été amené, par ses recherches sur la direction de la réac-

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 17 avril 1905, et Revue scientifique, juin 1905.

(2) Aéroplane, 15 août 1908.

(3) L'Aéro-mécanique, Bruxelles, décembre 1908.

(4) Aéroplane, 15 août 1908.

(5) Drzewiecki, le Vol plané, 1891.

(1) Mémoire au Congrès de Chicago, 1893.

(2) Le vol à voile et l'aviation, Revue scientifique, 30 mars 1895.

(3) Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France, octobre 1902.

(4) Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst.

tion de l'air sur les surfaces arquées, à vérifier si le vent qu'il utilisait était bien horizontal; il a construit une sorte de girouette verticale enregistreuse, et a obtenu les premiers diagrammes de la hauteur du vent. On y remarque (fig. 12) une continuelle variation de hauteur, et on y constate également qu'à l'emplacement de l'appareil le vent moyen était ascendant d'environ 3 degrés.

Le commandant Le Clément de Saint-Marcq a éga-

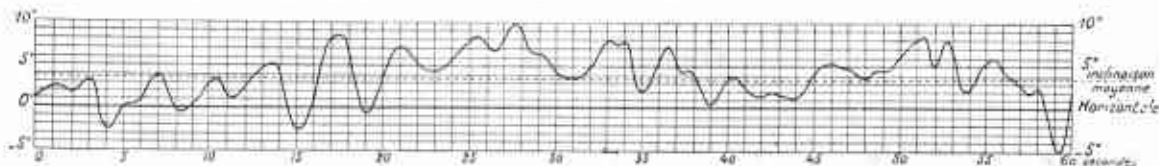


Fig. 12. — Diagramme des variations du vent en hauteur pendant une minute (Lilienthal).

lement étudié la question dans un remarquable mémoire communiqué à la session de la Commission permanente internationale d'aéronautique, tenue à Bruxelles en septembre 1907, et intitulé : « Recherches sur les changements périodiques de vitesse et de direction dans les masses d'air en mouvement. »

Étudiant le panache de fumée des cheminées d'usine, il a observé que la tangente au panache, au point de sortie de la cheminée, indique la direction instantanée du vent. Or cette tangente subit dans le sens vertical des oscillations quasi-périodiques : tantôt le vent monte et tantôt il descend. La durée des périodes serait de 12 à 15 secondes; la valeur maximum de la composante de la vitesse dans le sens vertical a paru être au plus de 3 m. par seconde.

L'auteur remarque que, comme l'air n'est pas comprimé dans le bas par des rafales descendantes, il faut qu'il y ait des répartitions latérales, nécessitant des variations de direction horizontale.

Variation de direction horizontale. — Tout le monde a remarqué qu'il y a fréquemment des sautes de vent, que les girouettes oscillent sans trêve, que les flocons de neige sont chassés dans des directions variables.

Chose curieuse — peut-être avons-nous mal cherché — ce n'est qu'en 1907 que nous trouvons une étude précise sur cette question. Langley en effet ne s'en est pas occupé. Le commandant Le Clément de Saint-Marcq, dans le mémoire précité, expose qu'il a observé méthodiquement les fumées des cheminées, l'agitation des branchages et l'oscillation des girouettes.

Si on se place exactement sous le vent d'une cheminée d'usine, on voit la fumée s'échapper tantôt vers la droite, tantôt vers la gauche. L'observateur n'a pas pu évaluer la grandeur de la composante latérale de la vitesse. L'observation des balancements des branchages lui a révélé parfois la transmission latérale d'ondulations ayant un caractère périodique.

Quant aux girouettes, il les a vues subir des oscillations de 40 à 50° degrés d'amplitude, séparées par des temps égaux voisins de 1 minute environ.

La variation générale du vent. — Nous concluons, comme Le Clément de Saint-Marcq, que la variation de vitesse du vent peut être, à tout moment, représentée par un vecteur W (fig. 13), dont l'orientation n'est pas la même que celle du vent moyen, et évolue au con-

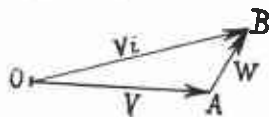


Fig. 13. — Effet de la variation du vent W .
 V est le vent moyen.

traire dans les trois dimensions de l'espace. Le vent moyen étant représenté par le vecteur V , les vecteurs V et W se composent géométriquement pour donner le vecteur Vi vitesse instantanée du vent.

Cette vitesse instantanée, perpétuellement variable, ne reste ni égale ni parallèle à V .

La figure 14 représente W avec ses trois composantes : la composante longitudinale (celle de Langley) qui mo-

difie la vitesse du vent; la composante verticale qui modifie sa hauteur, et la composante latérale qui modifie sa direction.

Le vecteur W oscille constamment à l'intérieur d'une certaine sphère qui a pour rayon la valeur maximum de W .

Quelle est la grandeur relative des trois composantes de W ? La question n'a pas été étudiée. Peut-être sont-elles égales comme amplitude moyenne, ce qui permet-

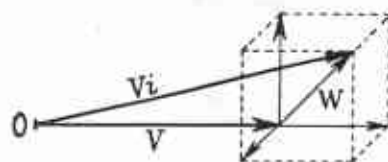


Fig. 14. — Les trois composantes de la variation du vent.

D'autre part, ces variations sont-elles périodiques? Ont-elles même périodicité? Y a-t-il dans ce cas une différence de phase? Ou bien n'y a-t-il qu'une agitation irrégulière sans caractère bien net?

En l'absence de données expérimentales précises établissant la périodicité, nous ne sommes pas en droit de compter sur elle, et nous devons nous ranger à la dernière hypothèse, celle d'une agitation sans loi définie.

Il est à désirer que des diagrammes précis des trois variations, pris simultanément au même endroit, nous donnent quelques éclaircissements sur les questions que nous venons de poser.

Variation perçue par l'oiseau. — On sait que, pour un mobile libre dans l'air, la vitesse moyenne du vent absolu ne se fait pas sentir, et que le vent horizontal et régulier est pour lui identique à l'air calme, abstraction faite de la terre qu'il voit fuir.

Mais il ressent les variations du vent. Or ces variations ont lieu en tous sens, elles ne restent pas parallèles au vent; la direction du vent moyen ne se manifeste donc à lui par rien de tangible. Il ne perçoit qu'une agitation irrégulière en tous sens, sans orientation dominante.

Aussi, dans une théorie rationnelle du vol à voile, la direction du vent moyen n'aura pas plus à intervenir que la vitesse absolue du vent moyen, et il est superflu de chercher à distinguer le vol contre le vent, avec le vent, ou oblique au vent.

Ceci posé, considérons l'oiseau voilier qui vole avec une certaine vitesse moyenne relative, qui est sa vitesse de régime.

Cette vitesse est constamment modifiée en grandeur et en direction par sa composition géométrique avec le vecteur W variation du vent; elle varie : 1° en grandeur; 2° en hauteur; 3° en direction.

Nous pouvons encore, comme nous l'avons fait tout à l'heure à propos de la vitesse moyenne du vent, décomposer le vecteur W en trois composantes, mais cette décomposition ne sera pas la même que tout à l'heure, car elle se rapporte maintenant à la direction du mouvement propre de l'oiseau, et non à la direction du vent absolu qui ne nous intéresse plus.

Les trois manières d'utiliser les variations du vent. — Sur chacune des trois composantes de la variation du vent on peut baser une théorie rationnelle du vol à voile.

La composante longitudinale, qui fait varier la gran-

deur de la vitesse relative de l'oiseau, est celle que Langley a envisagée. Nous avons montré les points faibles de sa théorie; aussi pensons-nous que l'oiseau n'utilise pas cette composante. Il la subit, mais il ne s'en sert pas. Tout au plus aurait-elle pour résultat, lorsqu'elle présente des variations très brusques, de faire un peu monter et descendre l'oiseau, malgré lui.

La composante verticale, qui fait varier la vitesse relative en hauteur, pourrait servir aussi. C'est même, croyons-nous, la première qu'on ait envisagée. En 1869, Moy, devant la société aéronautique de la Grande-Bretagne, expliquait le vol des albatros au-dessus des vagues par l'utilisation du vent alternativement montant et descendant le long des sinuosités des vagues.

En 1907, Le Clément de Saint-Marcq (1), a développé la même idée, mais son essai de calcul, appliqué à une manœuvre par trop rudimentaire, n'aboutit qu'à un résultat médiocre. « Bien en démontre, ajoute-t-il, que l'on ne pourrait pas, par une manœuvre plus habile que celle que nous avons analysée, arriver à un résultat supérieur et obtenir une force portante plus considérable. »

Plusieurs des objections que nous avons faites à la théorie de Langley s'appliquent également à la théorie de la composante verticale; aussi pensons-nous que l'oiseau la subit comme la première, mais sans l'utiliser.

Remarquons que ces deux théories aboutissent à un cycle à deux temps: premier temps: l'oiseau descend en gagnant de la vitesse; 2^e temps: l'oiseau s'élève en perdant de la vitesse.

La même remarque s'applique aux considérations récemment émises par M. Esclançon (2), dans lesquelles il envisage en bloc la variation du vent sans la décomposer. Il montre que cette variation générale peut être, en principe, utilisée comme force motrice, c'est-à-dire qu'elle peut donner lieu à une réaction ayant une composante positive dans le sens de la vitesse de l'oiseau. Ce n'est, en somme, que la théorie du bateau à voile et rien de plus: M. Esclançon néglige même de parler de la composante latérale gênante qui se produit nécessairement, et qui n'est pas, comme dans le cas du bateau, détruite par la résistance de l'eau. Enfin, il ne parle pas de la sustentation: il reste à savoir, dit-il, si cet accroissement d'énergie peut être indifféremment transformé en accroissement de vitesse ou en accroissement de hauteur: « c'est là, ajoute-t-il, une question que je n'envisage pas ici. » Il conclut qu'il faudra « savoir transformer, au moins à certains moments et avec faible perte d'énergie, la vitesse en altitude et réciproquement. »

C'est donc encore le cycle à deux temps, mais l'auteur s'arrête au seuil de la question sans le franchir.

Il nous reste à envisager la troisième composante, la composante latérale, qui fait varier la direction du vent relatif que reçoit l'oiseau.

Comment se fait-il que Le Clément de Saint-Marcq, qui a envisagé l'utilisation des deux premières, se soit arrêté devant celle-ci, la seule cependant qui amène à un résultat satisfaisant?

CHAPITRE V

THÉORIE DU VENT LOUVOYANT

La composante latérale de la variation du vent a pour effet de dévier alternativement à droite et à gauche la direction du vent relatif que reçoit l'oiseau. Soit V la vitesse de régime de l'oiseau, W_1 la variation latérale; le vent relatif que reçoit l'oiseau est BO (fig. 15).

L'instant d'après, la variation du vent a changé de sens et est devenue W_2 , qui est égale et de sens contraire à W_1 , puisque par hypothèse OA est la direction moyenne. A ce moment, le vent relatif que reçoit l'oiseau est CO .

L'oiseau reçoit donc un vent relatif oblique. Il est dans la situation d'un navire qui marche au plus près du vent. De même qu'un navire peut avancer contre

le vent en louvoyant, de même on conçoit que l'oiseau pourra avancer contre le vent relatif moyen, avec cette différence qu'il n'aura même pas besoin de louvoyer, puisque c'est le vent lui-même qui louvoie et arrive tantôt par la droite, tantôt par la gauche.

Si même on savait construire des navires aussi habiles que l'oiseau à profiter de ce louvoiement du vent,

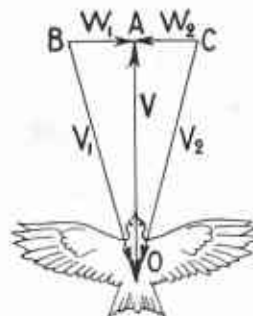


Fig. 15. — Déviation du vent relatif que reçoit l'oiseau.

on pourrait espérer les faire avancer contre le vent sans louvoyer.

L'oiseau n'aura qu'à placer ses ailes convenablement, à chaque saute de vent. Nous allons tracer l'épure; mais, comme elle est un peu compliquée, nous croyons bien faire en traitant d'abord un cas simple, plus facile à comprendre; nous ferons pour un moment abstraction de la sustentation, pour ne considérer que la propulsion seule.

On sait comment un navire peut avancer au plus près du vent (fig. 16).

Le bateau placé en O se dirige suivant OA , et reçoit le vent oblique DO . Il oriente sa voilure dans l'angle AOD . La réaction R de l'air, perpendiculaire à la voilure, possède une composante OA dirigée dans le sens du mouvement, et qui est seule utile; et une autre composante OB perpendiculaire au mouvement, et qui n'est d'aucune utilité; cette composante latérale OB est dé-

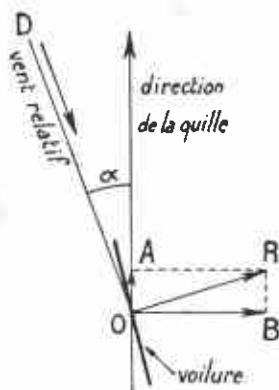


Fig. 16. — Marche du navire au plus près du vent.

truite par la résistance opposée par l'eau à tout déplacement latéral de la quille. Il ne reste donc que la composante OA , qui pousse le bateau en avant.

Essayons d'appliquer un raisonnement analogue à l'oiseau.

Supposons (fig. 17) un oiseau en O, se dirigeant suivant OE . Sous l'influence de la variation latérale W_1 du vent, le vent relatif prend la direction D , O, venant par exemple de gauche. Si l'oiseau oriente ses ailes de la même manière que le bateau sa voile, c'est-à-dire dans l'angle EOD , il reçoit une réaction OR . La composante OA , sert à la propulsion; mais par quoi sera détruite la composante latérale gênante OB ? Par rien, et cependant elle restera sans effet notable, grâce à son fréquent changement de sens. Pendant quelques secondes elle entraînera l'oiseau; combattue par son

(1) Loc. cit.

(2) Le vol plané sans force motrice. *Comptes rendus de l'Ac. des sciences*, 14 septembre 1908.

inertie (I), elle le fera dériver progressivement à droite. Mais l'instant d'après, la variation du vent aura changé de sens, et sera devenu W_2 (fig. 18); la nouvelle épure est symétrique de la précédente; le vent relatif D_2O viendra de droite, et la réaction OR_1 aura changé de côté. La composante OA_2 continue à propulser l'oiseau. La composante latérale OB_2 repousse vers la gauche

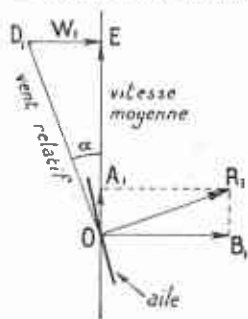


Fig. 17. — Propulsion de l'oiseau par le vent relatif oblique.

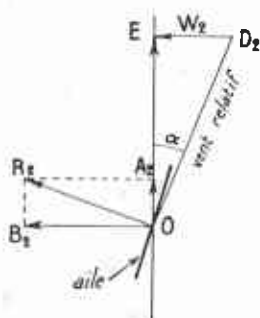


Fig. 18. — Même figure que ci-contre lorsque la variation du vent a changé de côté.

l'oiseau qui commençait à dériver à droite, et ainsi de suite.

En définitive, sous l'influence d'une des composantes, dite *composante de propulsion*, l'oiseau est constamment poussé en avant; l'autre composante, dite *composante de dérive*, le fait dériver à droite et à gauche, elle le fait osciller comme un pendule ou comme une balle renvoyée par deux raquettes, de sorte qu'il décrit une trajectoire horizontale en crochets.

Nous voyons déjà apparaître les deux mouvements caractéristiques du vol à voile : le balancement nécessité par les changements d'orientation des ailes, et les zigzags ou crochets.

On pourrait en rester là, et admettre, comme on l'a généralement fait jusqu'ici, qu'il suffit d'expliquer la propulsion de l'oiseau, en lui laissant le soin de transformer ensuite l'accroissement de vitesse en accroissement de hauteur, par un cycle à deux temps.

Mais ce n'est pas ainsi que les choses se passent; nous allons montrer que l'oiseau obtient la sustentation d'une manière directe et permanente, comme la pro-

pulsion et en même temps que la propulsion; de sorte que son cycle n'a qu'un temps, propulsif et sustentateur à la fois (1).

L'épure appartient à la géométrie à trois dimensions (fig. 20). Pour la comprendre facilement, il faut la rapprocher de la figure 17.

L'oiseau se dirige toujours suivant OE et reçoit le vent relatif oblique D_1O .

Nous allons chercher à déterminer l'orientation du plan des ailes de manière que la réaction OR_1 de l'air soit à la fois propulsive et sustentatrice. Soit i l'angle d'attaque, c'est-à-dire l'angle que fait le plan alaire avec la direction du vent relatif D_1O .

Le plan alaire sera tangent à un cône d'angle i ayant pour axe D O. La réaction OR_1 de l'air sera sur le cône MON d'angle $\frac{1}{2}i$.

Nous supposons (c'est une condition nécessaire du problème) que l'angle α du vent relatif avec OE est plus grand que i , de sorte que le bord ON du cône MON se projette au-dessus de OY.

Prenons dans l'angle NOY, c'est-à-dire au-dessus de OY, un point R_1 du cône.

Nous savons que l'oiseau peut orienter ses ailes de manière que la réaction soit dirigée suivant OR_1 .

Construisons les trois composantes de OR_1 .

La composante OA_1 est propulsive, puisque R_1 est au-dessus de OY.

La composante latérale est OB_1 .

Enfin, il y a une troisième composante verticale OC' , qu'on construit facilement en coupant le cône MON par le plan vertical FG passant par R_1 , et en rabattant le cercle ainsi obtenu. Cette composante OC' est dirigée vers le haut, si l'on a soin de prendre pour R_1 le point du cône MON situé au-dessus du plan horizontal passant par O (il y a, projeté au même point R_1 , un autre point du cône qui est situé en dessous de ce plan).

La composante OC' est donc sustentatrice. Si maintenant on suppose que la variation W_1 du vent change de sens, on construira l'épure symétrique. La composante OA_2 restera propulsive; la composante OC' restera sustentatrice; la composante de dérive OB_2 sera de sens contraire à OB_1 et aura pour effet de faire zigzaguer l'oiseau.

Résumons ce résultat dans un énoncé :

Sous l'influence de la variation de direction du vent, l'oiseau peut choisir l'orientation de ses ailes de manière que la réaction de l'air comporte : 1° une composante constamment propulsive; 2° une composante constamment sustentatrice; 3° une composante latérale dite *composante de dérive*, dont l'effet reste négligeable à cause de son fréquent changement de sens.

Il reste à faire la discussion du problème, c'est-à-dire à chercher quelles sont les conditions nécessaires pour

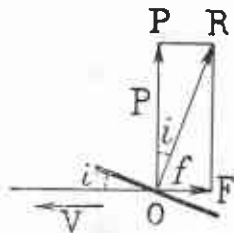


Fig. 19. — Schéma de l'aéroplane théorique.

la réaction de l'air, à peu près au même titre que la composante retardatrice $f = OF$ dans l'aéroplane théorique (fig. 19).

Or on sait que la composante f est proportionnelle au poids P :

$$f = P \lg i.$$

Elle ne diminue donc pas d'importance quand la masse augmente; elle ne diminuerait que si l'on diminuait l'angle d'attaque, c'est-à-dire si on augmentait la vitesse. Or on a vu que les meilleurs voiliers sont les voiliers lents.

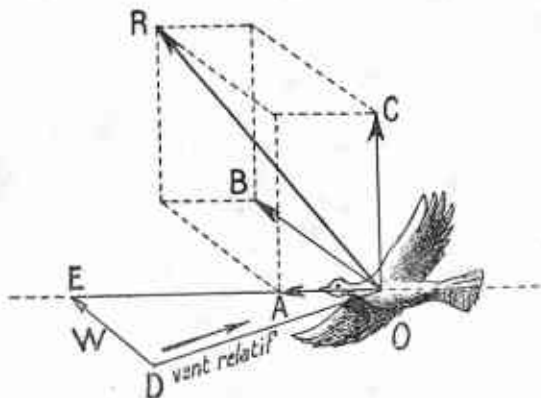


Fig. 21. — Représentation en perspective de la théorie du vent louvoyant.

qu'il soit possible. Au moyen des relations connues entre la vitesse, la surface, l'angle d'attaque et la gran-

(1) Bien entendu, à chaque changement de sens de la variation du vent, il y a un *point mort*, comme dans une machine à vapeur à chaque extrémité de la course du piston.

à l'Académie des Sciences, la théorie ne se dégageait pas encore. De toute manière, nous revendiquons la priorité (1).

Voilà donc une nouvelle explication, ajoutée à tant d'autres.

A quoi reconnaitrons-nous la bonne théorie? A ce qu'elle fournira une explication des faits observés. Ce sera le critérium.

Nous allons montrer que tous les faits observés peuvent s'expliquer par la théorie du vent louvoyant.

*
* *

CHAPITRE VI.

EXPLICATIONS DES FAITS OBSERVÉS

Balancement. — Nous avons vu que l'oiseau doit changer l'orientation de son plan alaire à chaque changement de sens de la variation du vent. C'est en cela que consiste le balancement latéral que l'on a si souvent observé.

Ce mouvement, malgré son apparence passive, est donc la clef du vol à voile. Il est effectivement passif et automatique, comme nous le montrerons plus loin.

Remarquons que l'orientation favorable du plan alaire peut s'obtenir de trois manières.

Premièrement, par une inclinaison générale du corps et des deux ailes, tout d'une pièce. C'est ainsi qu'elle se produit chez les semi-voiliers aux ailes relativement rigides et peu gauchissables, tels que crécerelles, mouettes, martinets.

Ce mouvement déplace donc, dans une certaine mesure, la masse entière de l'oiseau, et la fait basculer autour d'un axe. Tel quel, on conçoit que ce mouvement exige de la part du vent moins d'énergie que le mouvement des *montagnes russes*, puisque dans ce dernier non seulement l'oiseau doit basculer dans un mouvement de tangage, mais de plus il est nécessaire que toute sa masse monte et descende. Peut-être est-ce pour cela que l'oiseau préfère le premier mouvement au second.

Secondement, par un gauchissement des ailes. C'est ce qui se produit chez les grands voiliers aux ailes souples et facilement gauchissables, tels que les aigles et les vautours.

Ce mouvement exige de la part du vent une énergie encore moindre que le précédent, puisqu'il ne déplace pas la masse du corps, mais seulement la masse des ailes, qui est très minime. Aussi se produit-il sous des variations de vent beaucoup plus faibles. Il serait exagéré de dire qu'il suffit à lui seul; mais il a tout au moins l'avantage de diminuer l'amplitude des balancements du corps nécessaires, et c'est pour cela que les grands voiliers présentent le balancement du corps d'une façon beaucoup moins nette que les semi-voiliers.

Troisièmement, par un gauchissement des plumes. Certes, cette troisième manière ne peut suffire, et vient tout au plus en aide aux deux premières; mais il semble bien qu'elle fournisse l'explication de l'écartement des rémiges.

Ecartement des rémiges. — Cet écartement, outre qu'il favorise le gauchissement de l'aile, permet aux rémiges rendues indépendantes de se gauchir individuellement pour prendre l'orientation favorable, ce qui exige de la part du vent une énergie encore beaucoup moindre.

Nous croyons d'ailleurs que le rôle de ce gauchissement des rémiges serait surtout de provoquer et d'entraîner le gauchissement de l'aile entière dès l'arrivée du moindre souffle de vent oblique.

On ne peut s'empêcher d'admirer la nature qui, pour ne rien perdre de l'effet utile des souffles obliques, si légers et si fugitifs qu'ils soient, a su trouver, pour les déceler et les recueillir, ce moyen d'une délicatesse infinie : le gauchissement d'une plume!

L'écartement des rémiges paraît encore avoir pour but de présenter le maximum de prise au vent sous le minimum de poids, et de les rendre plus efficaces qu'un plan unique; elles constituent un multiplan, qui fait un peu penser aux aéroplanes en lames de persiennes.

(1) Nous pourrions également mentionner plusieurs conférences faites à Lille en octobre 1908, dans lesquelles nous exposons la question.

Absence de tangage. — Notre théorie justifie le vol horizontal sans tangage ni alternatives de montées et de descentes. Elle permet également de comprendre que l'oiseau puisse monter d'un mouvement continu.

Vol en zigzag. — Nous avons vu que les zigzags se produisent nécessairement sous l'action de la composante de dérive. Ce n'est pas un mouvement essentiel, il est au contraire parasite, et pour qu'il ne prenne pas une importance exagérée il faut que les sautes de vent soient fréquentes et rapides.

Vol en toutes directions. — Notre théorie explique le vol en toutes directions indistinctement. La théorie de Langley manquait de précision sur ce point.

On observe cependant que les voiliers volent de préférence contre le vent, mais c'est probablement dans le but de rester au-dessus d'une même région terrestre.

Lorsque le vent n'est pas très fort, et qu'il est sensiblement inférieur à la vitesse de régime de l'oiseau, celui-ci n'a pas besoin de faire constamment tête au vent, et il se maintient en décrivant des orbès.

Nous avons dit que la direction du vent ne se fait pas sentir à l'oiseau. Il y a cependant une chose qui pourrait l'influencer, c'est le sens de propagation des ondes aériennes, au cas où ces ondes se propageraient dans une direction déterminée. Dans ce cas l'oiseau aurait avantage à aller à leur rencontre, pour augmenter leur fréquence. Nous nous bornons à indiquer cette idée sans y insister.

Position des ailes en avant. — Cette position en V renversé (fig. 6 et 11), est défavorable à la fois à la vitesse et à la stabilité de route.

Or, dans le cas d'un vent variable en direction, la stabilité de route serait un inconvénient, car elle forcerait l'oiseau à faire face au vent relatif, qui varie à chaque instant.

Pour que l'oiseau conserve une direction fixe, il faut qu'il soit, au point de vue de la stabilité de route, non pas en équilibre stable, mais en équilibre indifférent.

Au point de vue de la vitesse, l'oiseau n'a pas intérêt à aller très vite, car nous avons vu (fig. 20), qu'une des conditions du vol à voile est que l'angle α , qu'on pourrait appeler *déclinaison du vent relatif*, soit assez grand. Or, pour une même valeur de la variation W , l'angle α est d'autant plus grand que la vitesse de régime de l'oiseau est plus petite; et plus l'oiseau pourra s'accommoder d'une vitesse de régime faible, plus il pourra utiliser de faibles variations du vent. C'est ce qui permet de comprendre pourquoi les meilleurs voiliers sont, suivant l'expression de Mouillard, des voiliers lents.

La position des ailes en avant a encore pour avantage de tendre pour ainsi dire, au vent relatif la partie la plus gauchissable de l'aile c'est-à-dire les rémiges, et de donner à celles-ci leur maximum d'écartement et d'indépendance.

Conformation des rémiges. — Les rémiges voilières sont recourbées vers le haut, comme on le voit sur la figure 5. Il est facile de voir que, quand le vent relatif oblique arrive sur une aile ainsi faite, il a beaucoup de prise sur les rémiges disposées de la sorte, parce que, grâce à leur courbure vers le haut, elles lui présentent toute leur surface.

On peut s'en rendre compte sur la figure 5, en remarquant que l'oiseau est représenté un peu de côté et que pour se donner une idée de l'effet du vent, le lecteur n'a qu'à souffler sur le dessin. Il saisira de suite que l'effet du vent sera de gauchir l'aile et d'incliner l'oiseau dans la position de la fig. 21. Même si les ailes étaient horizontales et se présentaient par la tranche, les rémiges relevées offriraient prise au vent latéral et produiraient le soulèvement de l'aile, comme on le voit sur la figure 22.



Fig. 22. — Les rémiges relevées offrent prise au vent latéral.

Grâce au fait que les rémiges vont en croissant à partir de la première, le vent agit en plein sur les

quatre ou cinq premières rémiges au moins, c'est-à-dire sur des parties de l'aile assez éloignées du bord antérieur rigide et qui ont, par suite, un *moment de torsion* considérable. Les figures 23 et 24 font comprendre l'utilité de cette disposition des rémiges. Sur l'aile d'un rameur (fig. 24) le vent oblique n'atteindrait que la première rémige, qui coïncide avec le bord antérieur rigide de l'aile, et ne produirait aucun gauchissement.

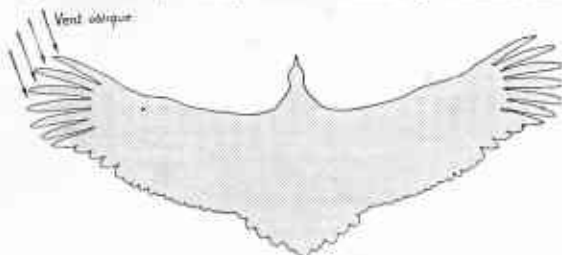


Fig. 23. — Ombre du vautour fauve (d'après Mouillard), montrant l'utilité de la disposition des rémiges pour le gauchissement de l'aile.



Fig. 24. — Oiseau rameur. Le vent oblique n'aurait d'action que sur une seule rémige.

Les rémiges voilières apparaissent ainsi comme un *gauchisseur automatique* toujours prêt à utiliser la moindre variation de direction du vent. Ce sont elles qui expliquent la passivité du balancement, et rendent inutile tout acte volontaire ou même instinctif, de même que toute régularité ou périodicité des ondes aériennes.

L'oiseau n'a qu'à exercer sur ce mouvement automatique un contrôle supérieur, une sorte de réglage, à peu près comme le pilote d'un bateau à voiles vérifie si le vent gonfle convenablement ses voiles, et conserve la main sur la barre.

Par contre, c'est l'absence de cet organe approprié qui rend le vol à voile quasi-impossible aux petits oiseaux : on les voit s'y exercer parfois, par grand vent, mais maladroitement et sans arriver au réglage convenable des mouvements.

Influence de la masse. — Plus l'oiseau est lourd, plus il lui faut de grandes ailes. Or, la nature, dans la construction des grandes ailes, s'est heurtée à une

loi physique suivant laquelle les poids augmentent comme le cube des dimensions, alors que les surfaces n'augmentent que comme le carré.

Supposons, par exemple, qu'un aigle pèse quatre fois plus qu'un pigeon. Si on lui donne des ailes quatre fois plus grandes en surface ces ailes pèseront huit fois plus. Elles seront donc deux fois plus lourdes relativement au poids de l'oiseau. On voit combien, sous ce rapport, les grands volatiles sont désavantagés. Pour ne pas exagérer le poids des ailes, la nature a dû, à mesure qu'elle augmentait le poids des oiseaux, réduire leur surface alaire comparée au poids. Chez les grandes espèces, elle a dû, en même temps, rogner sur la solidité, de sorte que les grands oiseaux ont des ailes trop faibles, sans rigidité, déformables et se pliant sous l'effort. On les a parfois comparées à des chiffons.

Par suite, ces ailes rendent très pénible le vol par battements, surtout à l'essor : mais cet inconvénient se transforme en avantage pour le vol à voile, qui exige précisément des ailes gauchissables sous un faible effort, pour obéir au moindre souffle oblique du vent.

Ainsi, plus un oiseau est bon voilier, plus il est mauvais rameur.

Chez les grands oiseaux, aigles et vautours, l'essor est presque impossible ; ils doivent se lancer d'un point élevé. De même ils ont peine à soutenir le vol ramé, et par temps calme ils restent perchés. Tributaires des circonstances atmosphériques, ils sont en état d'infériorité sur l'oiseau rameur qui, lui, est toujours maître de l'air. Le vol à voile n'est donc pas le vol parfait : c'est un pis-aller, un artifice grâce auquel la nature a pu donner la faculté du vol à quelques grosses espèces qui ne peuvent pas soutenir longtemps le vol ramé.

Indications pour de nouvelles observations. — Nous croyons que, dans son ensemble, la théorie du vent *louvoyant* s'adapte suffisamment bien aux faits observés pour que le doute ne soit pas possible.

Néanmoins, nous serions heureux si de nouvelles observations étaient faites *a posteriori* en vue de la confirmer. D'autant plus qu'il y a encore des points de détail à préciser.

Le balancement existe-t-il toujours, même chez les meilleurs voiliers ? Peut-on observer le gauchissement des ailes et des rémiges ?

Quelle est la durée des variations du vent ? Sont-elles régulières et périodiques ? Leur durée est-elle la même dans les différentes contrées ? Deviennent-elles plus régulières à mesure que l'altitude augmente ?

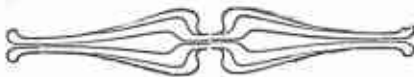
Leur durée varie-t-elle suivant la direction que suit l'oiseau ?

Ces trois composantes de la variation de vent ont-elles même période, même amplitude, même phase ?

Il y a encore, on le voit, un large champ d'études pour les observateurs.

ALEXANDRE SÉE,

Ancien élève de l'École Polytechnique,
vice-président du « Nord-Aviation ».



SOCIÉTÉ ANONYME DES IMPRIMERIES WELLHOFF et ROCHE
16 et 18, rue Notre-Dame-des-Victoires, Paris. — Anceau, directeur
