J. BRETONNIÈRE
SOUS-INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES EN RETRAITE

LE
VOL PLANÉ

Prix : 1 fr. 50

PARIS
H. DUNOD et E. PINAT, ÉDITEURS
47 et 49, Quai des Grands-Augustins
1909

J. BRETONNIÈRE
SOUS-INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES EN RETRAITE

LE VOL PLANÉ

Prix : 1 fr. 50

PARIS
H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS
47 et 49, Quai des Grands-Augustins
1909

LE VOL PLANÉ

Exposé. — Le genre de vol auquel on a donné le nom de vol plané ou de vol à voile est celui par lequel certains oiseaux à large envergure, tels que l'aigle, le condor, la cigogne, le goéland, etc., se soutiennent, s'élèvent et se dirigent dans les airs, sans battre des ailes. Les oiseaux qui le pratiquent sont appelés oiseaux voiliers.

Lorsque, il y a plus de vingt ans, le spectacle du vol plané exécuté chaque jour sous nos yeux par les oiseaux voiliers, hôtes des rochers et des toits des maisons de Constantine, nous inspira le désir de connaître le secret de leurs évolutions sans battements d'ailes, nous nous mîmes à la recherche de quelque théorie généralement admise qui, pensions-nous, ne pouvait manquer d'exister. Mais cette théorie, nous ne la trouvâmes pas, et nous dûmes reconnaître que les éléments mêmes de la question donnaient lieu à la controverse.

Nous fûmes ainsi conduit, pour arriver à nous rendre compte du vol plané, à l'étudier nous-même. Nous publiâmes, en 1889, dans *l'Aéronaute* le résultat de nos recherches et de nos observations. Nous présentâmes à l'exposition de Chicago un mémoire sur le même sujet. Aux objections qui nous furent faites à la suite de cette exposition, nous fîmes une réponse qui fut publiée dans la *Revue scientifique*, numéro du 8 janvier 1898.

Aujourd'hui que l'on a commencé à faire du vol mécanique, que tous les esprits se portent vers la solution de ce problème, que l'on parle déjà de faire du vol plané avec les appareils nouvellement créés, il nous a paru utile de mettre à nouveau sous les yeux du public notre théorie et les faits qui la justifient.

Vents ascendants. — Nous ne nous occuperons des actes du vol plané, ni dans un air calme, ni dans des courants ascendants pouvant porter l'oiseau. Nous considérons comme généralement admis ce qui les concerne.

L'existence même des vents ascendants et leur fréquence sont moins connues. De nombreuses observations que nous avons faites à Constantine nous ont révélé leur présence. Nous pensons qu'ils sont dus surtout au relief du sol et qu'ils doivent se produire dans toutes les régions accidentées. Selon nous, les montagnes et les ravins transforment les couches inférieures des vents régnants en souffles ascendants; et ceux-ci, quelquefois, par leur action réciproque ou par l'action des vents généraux sur eux, donnent naissance à de nouveaux courants ascendants plus accentués ou à des tourbillons. Les oiseaux voiliers, qui trouvent dans ces courants le moyen de s'élever sans fatigue, se rendent de tous côtés, pour exécuter leurs orbes, aux endroits où ils savent les rencontrer.

La rafale relative. — Nous ne croyons pas qu'au-dessus des plaines et au-dessus des mers les vents ascendants soient fréquents. Malgré les ressources réelles que les oiseaux voiliers trouvent dans certaines localités telles que Constantine, ressources qui les attirent, sans doute (c'est ainsi du moins que nous expliquons en partie le nombre considérable d'oiseaux voiliers qu'on remarque dans cette ville et ses environs) nous pensons que, dans l'immensité des airs et dans les vents horizontaux qui y règnent, le vol plané se pratique surtout par la manœuvre que nous appelons *rafale relative*. Dans cette manœuvre, l'oiseau, après avoir acquis de la vitesse par une chute réelle ou un glissement rapide, attaque avec cette vitesse, bec au vent, le courant aérien par un angle au-dessus de l'horizon et gagne de la hauteur.

Les considérations théoriques qui nous ont guidé dans la conception de la rafale relative sont les suivantes. L'oiseau atteint, en tombant d'une hauteur h, une vitesse v, égale à $\sqrt{2gh}$. Cette formule théorique comporte dans la pratique, puisque l'oiseau n'est pas dans le vide, une réduction dont le coefficient ne nous est pas connu. La même remarque s'applique aux autres formules ci-dessous. Animé d'une vitesse v de direction verticale ascensionnelle égale à $\sqrt{2gh}$, l'oiseau a la puissance de s'élever à la hauteur $h = \frac{v^2}{2g}$. Si avec la même vitesse initiale, il opère un glissement ascensionnel dans l'air calme, il aura la puissance d'atteindre la même hauteur. Si l'oiseau au repos, mais les ailes étendues et convenablement inclinées, est frappé par un courant horizontal de vitesse v, la hauteur qu'il pourra atteindre sera encore $\frac{v^2}{2g}$. Si, enfin, l'oiseau, avec une vitesse horizontale propre v, attaque un vent horizontal de vitesse contraire v', sa vitesse relative $V = v + v'$ par rapport à l'air lui donnera la puissance de s'élever à une hauteur

$$H = \frac{V^2}{2g} = \frac{v^2 + v'^2 + 2vv'}{2g}.$$

Si, comme dans le cas de la rafale relative, la vitesse v propre à l'oiseau n'est autre que celle verticale obtenue par la chute d'une hauteur $h = \frac{v^2}{2g}$ et transformée en vitesse horizontale, le gain de hauteur $H - h$ obtenu par cette manœuvre sera :

$$\frac{v^2 + v'^2 + 2vv'}{2g} - \frac{v^2}{2g} = \frac{v'^2 + 2vv'}{2g}.$$

Ce gain, si $v' = v$, devient égal à $\frac{3v^2}{2g}$, c'est-à-dire à trois fois la hauteur de chute de l'oiseau. Il sera pratiquement nul, si la perte d'effet mécanique dans la manœuvre devient égale à $\frac{v'^2 + 2vv'}{2g}$.

Mais l'oiseau peut-il changer une vitesse verticale acquise par chute en une vitesse égale de direction horizontale ? Sur ce sujet, les traités de fauconnerie (Voir l'ouvrage du Dr Marey, *le Vol des oiseaux*, page 5 et suivantes) mentionnent que le faucon sait, dans la manœuvre appelée « passade », exécutée sans battement d'ailes, tomber d'un point A (*fig.* 1) et se relever jusqu'à un point E situé à peu près au même niveau que A, après avoir parcouru au bas de sa course une courbe BCD ayant sensiblement la forme d'une demi-circonférence. Les oiseaux voiliers observés à Constantine nous ont donné le même spectacle. Pour qu'il soit remonté presque au même niveau, il faut que l'oiseau dans sa manœuvre, et en particulier dans le parcours BCD, ait peu perdu de la vitesse due à sa chute. Si on admet que l'oiseau voilier peut, pour un coup de passade, en conservant sa vitesse, changer une direction verticale AB en une direction verticale de sens contraire DE, on ne pourra refuser d'admettre, comme nous le faisons pour la seconde phase de la rafale relative, qu'il peut changer, en conservant sa vitesse, la direction verticale FG (*fig.* 2), en une direction horizontale opposée au vent pouvant donner lieu, dès son arrivée en H à un glissement ascensionnel HI. La vitesse du vent relatif contre lequel l'oiseau aura à exercer son action en H, sera ainsi égale à la somme de sa vitesse de chute et de celle du vent.

Dans son parcours FGHI, l'oiseau éprouve le même effet mécanique que si, après une chute dans un air calme, une rafale horizontale debout se produisait au moment de l'arrivée en H. Cette similitude d'effet nous a fait donner à la manœuvre le nom de *rafale relative*, bien qu'en réalité il n'y ait point de rafale.

Il est à remarquer que, suivant la trajectoire FGHI, la rafale relative comprend deux mouvements parfaitement distincts réunis par la courbe GH. L'un de ces mouvements est une chute dont l'effet sera d'autant plus efficace que cette chute sera rendue plus indépendante de l'air par la forme et la direction que prendra le plan de l'oiseau. L'autre mouvement sera une ascension où l'oiseau glissera en s'appuyant sur l'air. Dans ces conditions, on ne peut pas dire que l'oiseau reçoive de l'air un soutien constant, et appliquer à la rafale relative l'objection disant : qu'un vent horizontal régulier équivaut à un calme plat parce que l'air qui soutient l'oiseau lui enlève à la longue son inertie.

On a vu que, dans la rafale relative, la chute verticale de l'oiseau lui procurait, après ascension, un gain de hauteur égal théoriquement à $\frac{v'^2 + 2vv'}{2g}$. La perte d'effet qui se produira toujours par suite de la résistance de l'air rendra pratiquement cette quantité nulle pour une petite valeur de v', conséquence que confirment les faits, puisqu'on a observé que, dans un vent faible, les oiseaux ne font plus de vol à voile. Mais entre ce résultat et le gain considérable de hauteur que peut représenter la formule, il y a place pour les cas où l'oiseau, plus soucieux d'un simple transport horizontal que d'une grande hauteur à atteindre, se contenterait, au lieu d'une chute, d'un glissement rapide qui, tout en affectant d'une réduction sensible la formule $\frac{v'^2 + 2vv'}{2g}$, permettrait encore la traversée de l'air sans perte de hauteur.

Les zigzags. — Constate-t-on, en observant les actes du vol plané, une certaine conformité entre ces actes et la conception théorique qui vient d'être exposée ?

C'est-à-dire, voit-on l'oiseau, dans son vol, opérer alternativement une chute ou un glissement rapide et une attaque ascensionnelle contre le vent ? Oui, nous avons fait cette constatation à Constantine pour les trajectoires par zigzags et par orbes.

Nous appelons zigzags une manœuvre de l'oiseau dans laquelle il parcourt (*fig.* 3) une ligne brisée en plan

ABA'B'A"B"A‴, en opérant de A en B, de A' en B', de A" en B", une chute ou un glissement rapide, et de B en A', de B' en A", de B" en A‴ une ascension contre le vent. Cette manœuvre, que l'oiseau emploie pour progresser contre le vent, est généralement accentuée dans ses descentes et montées. On l'observe à Constantine, surtout le soir, lorsque les oiseaux rentrent à leurs nids par un vent debout.

L'orbe. — L'orbe, qui, parmi les actes du vol plané, a particulièrement attiré l'attention des hommes, a une forme très variable dépendant du vent et des intentions de l'oiseau. En général, c'est la spire d'une espèce d'hélice inclinée sous le vent, lorsque l'oiseau, par un vent horizontal, n'a d'autre but que de gagner de la hauteur pour se diriger ensuite par glissement vers le point à atteindre. Mais si ce point est sous le le vent par rapport à l'oiseau et au même niveau que lui, celui-ci n'a plus d'intérêt à monter, et les spires, dont chacune correspond à un accroissement de hauteur, s'espacent en laissant entre elles des glissements plus ou moins longs. C'est un genre d'orbe correspondant à ces dernières circonstances que représentent les figures 4 et 5. Nous considérons comme obtenu avec une certaine précision ce relevé fait à simple vue, car il résulte d'une observation attentive, et l'oiseau passait presque à notre niveau et très près de nous, à 80 mètres peut-être. De A en B, l'oiseau glissa avec une faible pente. De B en C, il eut un rapide glissement, comme une chute. De C en D, il s'éleva suivant un angle d'environ 45° avec l'horizon. De D en A', une ascension légère se produisit, et, au delà de A', le faible glissement recommença. La chute BC et l'ascension CD furent très nettes à nos yeux. Si le but de l'oiseau avait été de gagner de la hauteur dans l'ensemble de son parcours, il n'en aurait pas perdu en simple glissement sur l'espace AB.

Il est ordinairement difficile de relever à simple vue la forme des orbes. L'observateur ne trouve dans les airs aucun repère. Il est loin de l'objet observé, et il est soumis à des effets de perspective qui font que l'oiseau semble s'élever, lorsqu'il se rapproche, et s'abaisser, lorsqu'il s'éloigne. Malgré toutes nos peines, nous n'avions guère obtenu d'autres résultats nous ayant réellement donné satisfaction, au point de vue de la précision, que l'orbe qui vient d'être décrit, lorsque nous eûmes l'idée de recourir à la projection conique. A l'aide de cette projection, nous trouvâmes le moyen d'arriver au plan de l'orbe, et enfin, à ce que les ingénieurs appelleraient son profil en long par comparaison avec un chemin parcouru.

Nous avons obtenu la projection conique des orbes avec l'instrument que nous allons décrire. Que l'on imagine une planchette de $0^m,10$ de largeur et de $0^m,60$ de longueur, reposant horizontalement sur le plateau d'un de ces pieds à trois branches dont se servent les ingénieurs pour supporter les instruments de levé de plan ou de nivellement. Un boulon, traversant en leurs milieux la planchette et le plateau, sert de centre de rotation pour diriger la planchette vers l'oiseau à observer, et permet de la fixer dans la position convenable. Sur une des extrémités de la planchette, perpendiculairement à son plan, est maintenu par un boulon vertical un châssis de $0^m,25$ de largeur sur $0^m,30$ de hauteur portant un verre à vitre ordinaire. L'autre extrémité de la planchette est destinée à supporter le menton de l'opérateur, pendant que l'œil de celui-ci, distant de $0^{m},50$ du verre et dans une position aussi fixe que possible, suivra à travers ce verre le mouvement de l'oiseau. Une graduation, dont le zéro est au niveau de l'œil de l'observateur, est inscrite sur les côtés verticaux du châssis.

Suivons l'opérateur dans l'emploi de cet instrument. Il établit d'abord sa planchette horizontalement, soit en appliquant une bulle d'air sur cette planchette soit en rendant vertical à l'aide d'un fil à plomb l'un des montants du châssis. Dès qu'un oiseau est en vue, il dirige la planchette vers lui, en donnant au plan du châssis une position perpendiculaire au plan vertical qui contient le rayon visuel allant vers l'oiseau. Pendant que le menton de l'opérateur repose sur la planchette et que son œil suit les évolutions de l'oiseau, sa main droite, à l'aide d'un tireligne dont la pointe munie d'encre est constamment tenue dans le rayon visuel dirigé vers l'oiseau, trace sur le verre une figure qui n'est autre que la projection conique de la trajectoire dudit oiseau. En reportant sur le papier la figure ainsi obtenue (*fig.* 6), on reportera au-dessous, d'après la graduation inscrite sur les côtés du châssis, la ligne de terre XY, c'est-à-dire la ligne horizontale représentant la trace sur le plan vertical du plan horizontal dans lequel se tenait l'œil de l'observateur. Cette ligne XY nous permettra de mesurer la distance audit plan horizontal de tout point de la projection conique que nous voudrons considérer.

Examinons maintenant comment on obtient le plan de l'orbe (*fig.* 7), en faisant application de notre méthode à la projection conique (*fig.* 6), d'une trajectoire de cigogne que nous avons relevée autrefois. La ligne de terre XY s'est trouvée à $0^m,098$ au-dessous du point originel de la projection conique.

Appelons A ce point originel. Sa projection horizontale sera sur la ligne de terre en a'. On peut concevoir une spirale partant du point A ayant la même orientation que l'orbe réel et la même projection conique, en un mot un orbe semblable à l'orbe réel. Construire le plan de cet orbe semblable, c'est construire à une certaine échelle le plan de l'orbe réel.

Pour le tracer, on dispose non seulement de la connaissance que l'on a de la forme en plan de la boucle de l'orbe, mais encore des trois éléments suivants :

Le premier est le sens de la rotation de l'oiseau qui a été noté en même temps qu'on observait l'orbe.

Le second est la direction générale VW de la translation de l'oiseau dans la série des orbes qu'il décrit. Cette direction peut être estimée approximativement par l'observateur. Mais elle résulte, d'ailleurs, de ce fait généralement admis : qu'elle n'est autre que celle du vent. Pour obtenir l'angle de cette dernière avec XY, on peut, à l'aide d'une boussole, relever la direction du courant aérien dans un lieu découvert, et, lors de chaque observation d'orbes, la direction particulière VW.

Le troisième élément, lequel résulte de la projection conique, est le tracé des limites des boucles de l'orbe dans le sens VW de la translation générale. En effet, le plan vertical tzO, qui contient le rayon visuel allant de l'œil O de l'observateur au point de tangence T de l'orbe semblable que t représente en projection conique, donnera, par le prolongement zt' de sa trace horizontale, une limite de la quatrième boucle de la série d'orbes. Les autres lignes limitant les boucles ont été tracées de la même façon.

Remarquons que le point O, qui, faute d'espace, a été placé très près de la ligne XY, doit être considéré, dans le dessin, comme situé sur la ligne Aa', à $0^m,50$ au-dessous de a'.

A l'aide des éléments qui viennent d'être indiqués, a été établi le plan (*fig.* 7) de l'orbe semblable.

Il est maintenant possible de calculer la hauteur au-dessus du plan horizontal XY d'un point quelconque de l'orbe semblable, par exemple du point P, dont la projection en plan est p'. La ligne p'O, coupant en s la ligne de terre, sera la trace horizontale du plan vertical contenant le rayon visuel OP. La ligne sp, perpendiculaire à XY, sera la trace verticale du même plan ; d'où p pour la projection conique du point P. Si ce point P était sur le plan du verre, la hauteur 109 millimètres, qui est la distance du point s au point p, serait la hauteur du point P. Mais celui-ci est, dans l'espace, à une distance représentée en plan par 11 millimètres au delà du verre, sur une ligne dont la pente de p en O est de :

$$\frac{109}{500} = 0,218.$$

La hauteur du point P sera donc :

$$109 + 0,218 \times 11 = 111,40 \text{ millimètres.}$$

En opérant de la même manière pour un certain nombre de points b', c', d', ..., q' et r' pris sur le plan du premier orbe semblable, on aura les hauteurs, évaluées en millimètres au-dessus du plan XY, des points B, C, D, ..., Q et R dudit orbe semblable, et on pourra construire cet orbe par points. Avec les hauteurs ainsi calculées a été établi (*fig.* 8) son profil en long.

On peut se demander s'il ne serait pas possible de construire en vraie grandeur l'orbe réel $A_1B_1C_1$ ..... P_1Q_1 dont on a relevé la projection conique Abc..... pq. On le pourrait, en choisissant convenablement le terrain pour éviter de recourir à de trop longues abscisses, et à la condition de connaître l'échelle à laquelle se sont trouvées établies les figures 6, 7 et 8. Cette échelle n'est autre que le rapport de la ligne OA à celle dans l'espace OA_1, c'est-à-dire le rapport de la distance $0^m,50$ à celle où l'on a aperçu l'orbe. Elle est égale, dans le cas que nous venons de considérer, à :

$$\frac{1}{2.000} = \frac{0,50}{1.000},$$

1.000 mètres étant la distance qui, selon nous, nous séparait de l'oiseau au moment où l'orbe commençait. Une distance appréciée ainsi à simple vue, à l'aide, il est vrai, de certains repères, est loin d'être précise, et nous pensons que l'erreur pourrait atteindre jusqu'à 20 0/0. L'appréciation de la grandeur de l'orbe pourrait en être changée, mais non la forme des trois figures que nous venons de considérer.

Nous avons, avec l'échelle de $\frac{1}{2.000}$, calculé et inscrit sur le profil en long les valeurs en vraie grandeur de la chute et du gain définitif de hauteur de l'oiseau.

En appliquant les procédés de tracé et de calcul qui précèdent à une trajectoire hélicoïdale de néophron percnoptère observée à une distance de 800 mètres et, croyons-nous, dans un vent faible, nous sommes arrivé aux résultats représentés par les figures 9, 10 et 11. Nous avions longtemps pensé que l'orbe de néophron percnoptère avait deux sommets. Le profil en long ne révèle qu'un seul sommet, mais avec deux inflexions de sens opposé sur la ligne d'ascension.

La moitié environ des orbes dont nous avons relevé la projection conique étaient ascendants dans toutes leurs parties, c'est-à-dire avaient été tracés dans un vent ascendant. Quelques-uns, évidemment exécutés dans des tourbillons, ressemblaient à des spires à axe vertical ayant une hauteur de pas égale à 5 fois le diamètre. Cela ne signifie pas à nos yeux qu'à Constantine la moitié de l'espace soit occupé par des vents ascendants, au moment où se pratiquent les orbes, mais que souvent les oiseaux se rendent, pour exercer leurs tournoiements, là où ils savent qu'ils ont la chance de trouver un courant favorable.

Vol direct en plan contre le vent. — Divers auteurs ont mentionné un genre de vol plané que nous n'avons pas remarqué à Constantine, dans lequel l'oiseau progresse contre le vent suivant une ligne droite en plan et avec des descentes et montées alternatives. Dans l'ensemble de sa trajectoire, parfois l'oiseau semble, suivant le dire d'un observateur, voguer sur les vagues d'une mer invisible; mais, d'autres fois, il sait gagner de la hauteur. M. O. Chanute, de Chicago, a donné, dans un article publié par l'*Aeronautical Annual* de 1897, la description d'un cas de ce genre de vol qu'il avait lui-même observé avec une précision particulière. Il fournissait en même temps sur l'espèce d'oiseau qui l'avait accompli, le goéland, des données propres au calcul.

Nous reproduisons, d'après M. O. Chanute, mais en transformant les unités anglaises en unités métriques, la description du vol qu'il a observé et les données qu'il a recueillies.

Un goéland (*fig.* 12) est perché sur la tête d'un pieu, bec au vent. Ce vent souffle avec une vitesse moyenne de $5^m,64$ à la seconde. Tout à coup, restant toujours bec au vent, l'oiseau étend ses ailes : emporté en arrière, il s'élève à une hauteur de $0^m,91$; puis il se laisse tomber. Il descend ainsi de $2^m,74$. Enfin, il commence un mouvement ascensionnel qui l'élève de $3^m,66$, soit de $0^m,92$ de plus qu'il n'est tombé. La vitesse du vent, qui est certainement horizontal, a été mesurée avec un anémomètre *Richard*. Les hauteurs, qui dans une pareille observation, ne pouvaient être mesurées exactement, ont été estimées avec soin et ont pu être appréciées avec d'autant plus de justesse que la manœuvre a été répétée plusieurs fois et que sans doute l'oiseau était sensiblement au niveau de l'observateur. Les distances horizontales ne sont pas mentionnées, et la forme attribuée à la courbe ne peut être qu'approximative.

Ce goéland les ailes étendues a une surface de $0^{m^2},185$. Son poids est de $0^{kg},992$. La surface de son corps projetée sur un plan normal à la direction du vol est $0^{m^2},0117$. La surface de ses ailes projetée de la même façon est de $0^{m^2},0091$. M. O. Chanute estime que la résistance de ces surfaces à l'avancement n'est, à cause de leur forme aiguë, pour le corps que le $\frac{1}{10}$, pour les ailes que le $\frac{1}{4}$ de la résistance de surfaces planes égales se présentant normalement au vent. D'après ce qui précède, la surface plane, équivalente pour la résistance au vent, de l'ensemble de la tranche formée par le corps et les ailes du goéland serait de $0^{m2},003445$.

Dans le genre de vol dont il vient d'être question, la rafale relative ne s'opère plus par une chute à travers le vent, comme dans les zigzags, ou par un retour circulaire en arrière, comme dans l'orbe, mais directement contre le vent. Seulement, si, au moment de pratiquer sa chute, et ce sera généralement le cas, l'oiseau a une vitesse horizontale, la forme de cette chute sera non une ligne verticale accusant nettement une chute, mais une courbe parabolique comme celle de la pierre qui a été lancée horizontalement.

Nous allons exposer les résultats que nous avons obtenus en appliquant le calcul à divers cas, et en premier lieu a celui observé par M. O. Chanute (*fig.* 13).

Dans ce cas, l'oiseau, selon nous, a d'abord été emporté de A en B par l'effet d'un saut combiné avec l'action du vent. De B en C, il s'est laissé tomber en restreignant l'ampleur de ses ailes et en tenant le plan de son corps dans la direction du vent relatif, de façon à ne heurter l'air que de sa tranche. De C en D, il a exécuté un coup de passade lui procurant en D une direction horizontale opposée à celle du vent. De D en E il a monté en prenant un angle convenable avec le vent relatif et grâce à sa vitesse propre combinée avec celle du vent. Nos calculs, dans cette attaque contre le vent, ont été faits à l'aide de la table de Lilienthal.

La partie ABCD de la trajectoire résultant de l'action combinée d'un saut et du vent, d'une chute dans le vent et d'un coup de passade échappe à nos calculs. Mais à partir du point D où l'oiseau a une vitesse propre opposée à celle du vent, nous avons établi par le calcul, sauf pour le coup de passade C'D', les points de la trajectoire jusqu'au sommet E′ que doit atteindre l'oiseau, s'il continue son vol dans les mêmes conditions.

Pour la valeur à attribuer à la vitesse de l'oiseau au point D, nous avons dû recourir à une hypothèse. La vitesse due à la chute de B en D peut être calculée ; mais dans le glissement de C en D, quel accroissement de vitesse l'action de la gravité peut-elle apporter? Personne que nous sachions ne peut nous renseigner à à cet égard. Deux hypothèses extrêmes peuvent être envisagées : ou bien dans la chute BCD on aura toute la vitesse que donne le calcul en supposant que l'oiseau, sur une distance verticale égale à celle qui sépare B de D, se laisse tomber en présentant, comme nous l'avons dit, seulement sa tranche à l'action du vent relatif ; ou bien de C en D aucune vitesse n'est acquise, l'espace vertical entre ces deux points étant perdu pour l'accroissement de la vitesse. La première de ces hypothèses nous paraît beaucoup plus rapprochée que l'autre de la réalité. Nous l'admettons donc. Mais, après avoir écarté toute perte d'effet, nous examinerons l'influence des pertes d'effet sur les résultats.

D'après nos calculs, dont nous exposerons plus bas la méthode, l'oiseau, parti du point D avec une vitesse propre de $7^{m},18$ et avec un angle de $0°40'$ au-dessus du vent relatif (tables de Lilienthal), arrive en perdant peu à peu de sa vitesse au point culminant qui est à $3^{m},65$ en contre-haut du point D. Ce parcours, dont la longueur horizontale est $7^{m},90$, a duré $1^{sec},82$. En E, il restait encore à l'oiseau une vitesse propre de $1^{m},71$. De ce point jusqu'en C′ il se laisse tomber en tenant le plan de son corps dans une position opposée à celle du vent relatif. De C′ en D′, il exécute un coup de passade. Avec l'hypothèse qu'il n'a subi aucune perte d'effet sur la hauteur entière entre E et D', une vitesse verticale de $7^m,02$ composante avec un reste de vitesse horizontale $1^m,51$ lui a suffi, d'après les calculs, pour retrouver en D' sa vitesse primitive $7^m,18$, et exécuter, de D' en E', une ascension semblable à celle DE.

Nous allons maintenant considérer le cas où l'oiseau semble voguer sur les vagues d'une mer invisible. La trajectoire que nous dessinons ici d'après nos calculs (*fig*. 14), et qui n'est pas sans ressemblance avec la figure 32 de Basté dans *l'Aéronaute* d'octobre 1887, donne bien cette idée de vagues invisibles. Les données sont ici les mêmes que pour le problème correspondant au cas observé par M. O. Chanute. Seulement, dans ce nouveau problème où l'oiseau n'avait à s'élever que de la hauteur devant lui rendre la vitesse $7^m,18$, nous avons dû employer pour l'attaque contre le vent relatif l'angle $0°10'$ (tables de Lilienthal).

La trajectoire se trouve légèrement ascendante. Il n'a pas toujours été facile, dant ces longs calculs que nous avons dû faire et souvent refaire, d'obtenir exactement le résultat cherché. L'espace $9^m,10$ a été parcouru en $1^{sec},82$. La vitesse a donc été plus grande que dans le premier problème. La vitesse conservée par l'oiseau au sommet E a aussi été plus grande, $2^m,86$ (40 0/0), au lieu de $1^m,71$ (24 0/0). La forme de la courbe est moins accentuée.

On peut se demander ce que deviendra la forme de la trajectoire avec différents angles d'attaque, en admettant toujours $7^m,18$ comme vitesse initiale de l'oiseau et $5^m,64$ pour vitesse du vent. Déjà on a pu voir, par la comparaison des figures 13 et 14, qu'à un accroissement de l'angle d'attaque correspondait une ascension plus rapide. Avec l'angle d'attaque 2°10′, la trajectoire est représentée par la figure 15. La vitesse de l'oiseau s'épuisera en arrivant au point culminant E. La hauteur totale atteinte sera de $5^m,01$ en un temps de $1^{sec},864$ et après un parcours horizontal de $5^m,54$. Au-dessus de l'angle d'attaque 2°10′, l'oiseau aura perdu, avant d'arriver au point culminant, toute sa vitesse initiale et sera emporté en arrière. La hauteur totale acquise augmentera jusqu'à l'angle 5°. Avec cet angle la courbe ascensionnelle prendra la forme représentée par la figure 16 qui, si l'orbe n'était déjà connu, pourrait en suggérer la possibilité. La hauteur $6^m,05$ nous paraît être celle maximum que le goéland puisse atteindre par la rafale relative avec une vitesse initiale propre de $7^m,18$ contre un vent de $5^m,64$. Si l'on compare ce maximum, $6^m,05$, à celui théorique

$$\frac{(7,18 + 5,64)^2}{19,62} = 8^m,38,$$

on voit que le calcul ne donne à l'effet utile de la rafale relative que la valeur 72 0/0. Encore faudrait-il déduire de ce chiffre la perte d'effet inconnue à attribuer au coup de passade.

Mais le goéland, qui choisit sa vitesse de chute, peut attaquer le vent de $5^m,64$ avec des vitesses initiales plus ou moins grandes.

Une vitesse initiale de $9^m,36$ avec l'angle d'attaque — 1° conduit par le calcul à la trajectoire correspondant à la figure 17. En E, il reste encore $2^m,33$ de vitesse à l'oiseau.

La figure 18 (que, pour en rendre les détails plus apparents, nous avons dessinée avec l'échelle $0^m,02$ par mètre, quadruple de celle des autres figures) représente la trajectoire d'un goéland parti du point D avec une vitesse propre de 2^m,88, correspondant à une chute de 0^m,43. L'angle d'attaque est de 6° 10'. En E l'oiseau conserve 1^m,21 de vitesse propre.

Si on compare les figures 17 et 18, on reconnaît que le goéland peut, suivant ses besoins, avec des vitesses mais aussi des hauteurs de chute très différentes, progresser contre un vent de 5^m,64 de vitesse.

Mais les résultats que nous venons d'exposer ne sont-ils pas viciés par l'hypothèse qui sert de point de départ aux calculs : que l'oiseau possède en D la vitesse correspondant à toute la hauteur dont il est descendu, c'est-à-dire que le coup de passade n'a apporté aucune perte d'effet? Pour que ces résultats ne fussent plus du tout possibles, il faudrait que l'oiseau ne pût s'élever à la hauteur génératrice de sa vitesse initiale, hauteur qui est 2^m,63 pour 7^m,18 de vitesse. La hauteur de 2^m,63, comparée à celle théorique 8^m,38 indiquée plus haut, accuserait une perte d'effet de 69 0/0, qui ne nous paraît pas pouvoir être admise en présence du témoignage des fauconniers disant que, dans la passade, l'oiseau arrive en remontant presque à la hauteur d'où il était parti.

Les trajectoires ci-dessus ont été tracées à l'aide d'ordonnées et d'abscisses représentant, à l'échelle de 0^m,005 par mètre (sauf pour la figure 18 dont l'échelle est de 0^m,02), les ordonnées, les espaces parcourus horizontalement, et les abscisses, les espaces verticaux. Les longueurs de ces ordonnées et de ces abscisses ont été calculées de 0,20 en 0,20 de seconde, sauf pour les derniers espaces de temps à la fin de la montée et de la descente, qui ne pouvaient dépendre que du calcul. Pendant chacun de ces espaces de temps partiels, la vitesse propre à l'oiseau a été supposée uniforme et égale à la demi-somme des vitesses au commencement et à la fin de cet espace.

Afin que le lecteur puisse se rendre compte de la façon dont nous avons calculé les trajectoires, nous allons mettre sous ses yeux pour l'une d'elles, la plus courte, celle représentée par la figure 18, les données du problème, la conduite des calculs et le tableau qui en contient les résultats.

La vitesse du vent est $5^m,64$. La vitesse horizontale de l'oiseau en D est $2^m,88$. Elle est égale à celle qu'acquerrait le goéland en tombant d'une hauteur de $0^m,43$ dans un courant aérien de $5^m,64$ de vitesse, bec au vent, en tenant le plan de son corps dans la direction du vent relatif. On a vu plus haut que, dans ce cas, la surface normale de résistance à considérer est de $0^{m2},003445$. La résistance dans la chute est donc actuellement :

$$0,003445 \times 0,13v^2 = 0,00045v^2;$$

v étant la vitesse du vent relatif. L'angle d'attaque contre le vent relatif, angle que nous appelons β dans les calculs qui vont suivre, est 6°10′. A chaque angle d'attaque correspondent dans les tables de Lilienthal deux éléments η et δ. L'élément η est tel que $\eta \times S \times 0,13v^2$ donne la pression qu'exerce le vent de vitesse v sur la surface S de l'oiseau normalement à la corde de l'arc, qui est considérée comme la section transversale de ladite surface. Pour l'angle 6° 10′, la valeur η est 0,703. La pression $\eta \times S \times 0,13v^2$ devient donc, dans le présent problème où, comme on l'a vu plus haut :

$$S = 0,187, \quad 0,703 \times 0,187 \times 0,13v^2 = 0.0171v^2.$$

Dans le tableau ci-dessous, nous désignerons cette pression par P.

L'élément δ est tel que $\delta \times S \times 0{,}13v^2$ représente une résistance tangentielle à l'arc de la section transversale de l'oiseau. δ est tantôt positif, tantôt négatif, c'est-à-dire donnant dans ce dernier cas un effet propulsif. Dans le présent problème, il est négatif et égal à $-0{,}022$. La poussée $\delta \times S \times 0{,}13v^2$ devient alors :

$$-0{,}022 \times 0{,}187 \times 0{,}13v^2 = -0{,}00053v^2.$$

Nous la désignerons par R'. On a vu que la résistance que rencontre la tranche de l'oiseau est $0{,}00045\ v^2$. Nous l'appellerons R. R et R' ont pour résultante :

$$R + R' = 0{,}00045v^2 - 0{,}00053v^2 = -0{,}00008v^2.$$

dont la valeur absolue $0{,}00008v^2$ est propulsive.

L'oiseau qui monte avec une vitesse verticale a et une vitesse horizontale b', dont la résultante est sa vitesse réelle, contre un vent de vitesse horizontale b'', rencontre devant lui un vent descendant qui est représenté en grandeur et en direction (*fig.* 19) par l'hypoténuse c d'un triangle rectangle dont le côté a est vertical et dont le côté b, égal à $b' + b''$, est horizontal. Ce vent relatif, contre lequel l'oiseau prendra son angle d'attaque β, aura sa vitesse v égale à $\sqrt{a^2 + b^2}$, et le sinus de l'angle α, que fait sa direction avec l'horizon, sera $\frac{a}{c}$.

α étant déterminé par son sinus, $\alpha + \beta$ devient l'angle que fait avec l'horizon la corde de l'arc représentant en section transversale la surface supportant l'oiseau.

De même l'oiseau qui descend (*fig.* 20) rencontre un vent relatif que c représente en grandeur et en direction. Ce dernier vent relatif est ascendant.

Ce qui a été dit précédemment et ces dernières explications indiquent suffisamment, pensons-nous, la nature des quantités figurant dans les huit premières colonnes du tableau ci-dessous.

Viennent ensuite, dans le tableau, deux groupes de valeurs devant aboutir, l'un, celui des éléments horizontaux, à la détermination de l'ordonnée E qui représente l'espace total parcouru horizontalement à la fin de chaque temps partiel; l'autre, celui des éléments verticaux, à la détermination de l'abscisse H.

F est la force qui agit horizontalement sur l'oiseau pour le repousser en arrière. Elle est égale à la quantité P sin $(\alpha + \beta)$ diminuée dans le présent problème de la valeur absolue de $(R + R')$ cos $(\alpha + \beta)$. Comme nous l'avons dit, $R + R'$ est ici négatif. Dans les problèmes où $R + R'$ serait positif, parce que R' serait positif ou plus petit que R, la valeur $(R + R')$ cos $(\alpha + \beta)$ serait à ajouter à P sin $(\alpha + \beta)$.

J est la valeur accélératrice donnée par la proportion :

$$J : g :: F : 0,992;$$

d'où

$$J = \frac{9,81}{0,992} F = 9,89F.$$

v est la diminution de vitesse correspondant à chaque temps partiel. Généralement ce temps partiel est de $0^{sec},20$: alors :

$$v = J \times 0,20.$$

V est la vitesse qui reste à l'oiseau après chaque temps partiel. V peut devenir négatif. C'est alors que l'oiseau est emporté en arrière comme dans la figure 16.

e est la valeur $\frac{1}{2}$ Jt^2. Comme t est généralement égal à 0,20, on a alors :

$$e = \frac{1}{2} J \times 0{,}20^2 ;$$

e est de même signe que v, par conséquent toujours négatif.

E enfin est la valeur de l'ordonnée calculée par la formule

$$E = E_0 + V_0 t - e.$$

F_1, le premier des éléments verticaux, est la force qui sollicite l'oiseau à monter ou à descendre. Elle est la résultante des trois autres forces, le poids de l'oiseau qui est négatif, le mouvement ascensionnel étant considéré comme positif, la quantité P cos $(\alpha + \beta)$ qui est toujours positive et celle $(R + R')$ sin $(\alpha + \beta)$ qui est de signe contraire à $R + R'$. La force F_1, d'abord positive, devient négative.

J_1 se calcule comme J.

v_1 se calcule comme v. Il a le même signe que F_1.

V_1 est la vitesse totale après chaque temps partiel. Il est toujours positif. Quand il est devenu égal à zéro, l'oiseau a atteint son maximum de hauteur.

h se calcule comme e. Il a le même signe que F_1.

H est donné par la formule :

$$H = H_0 + V_0 t + h.$$

Ce qui précède s'applique à la montée. Dans la chute β est nul, P disparaît, et $R + R'$ se réduit à R toujours positif. Pour le reste, le lecteur reconnaîtra facilement comment nous avons conduit le calcul.

Dans le dessin, la dernière partie de la chute calcu-

TABLEAU DES CALCULS

TEMPS	Sin α	α	$\alpha + \beta$	Sin $(\alpha + \beta)$	Cos $(\alpha + \beta)$	P	R + R'	ÉLÉMENTS HORIZONTAUX						ÉLÉMENTS VERTICAUX					
								F	J	τ	V	v	Σ	F_1	J_1	τ_1	V_1	h	H
											1re montée								
											2.88								
0.20	0.024	1°30'	7°40'	0.134	0.991	1k207	0.006	0k156	1.54	0.31	2.57	0.03	0.55	0k205	2.03	0.41	0.41	0.04	0.04
0.20	0.065	4 10	10 20	0.180	0.982	1 104	0.005	0 193	1.91	0.38	2.19	0.04	1.03	0 091	0.90	0.18	0.59	0.02	0.14
0.20	0.080	4 30	10 40	0.182	0.983	0 972	0.005	0 176	1.74	0.35	1.84	0.04	1.43	0 016	0.16	−0.03	0.56	0.00	0.26
0.20	0.054	3 10	9 20	0.162	0.986	0 939	0.005	0 150	1.48	0.30	1.54	0.03	1.77	0 075	0.74	−0.15	0.41	−0.01	0.36
0.20	0.042	2 50	9	0.156	0.988	0 864	0.004	0 130	1.29	0.26	1.28	0.03	2.05	0 138	1.37	−0.27	0.14	−0.03	0.41
0.077	0.014	0 50	7	0.121	0.993	0 814	0.004	0 095	0.94	0.07	1.21	0.00	2.31	0 184	1.82	−0.14	0.00	0.00	0.42
1.077																			
											2e chute								
0.20	0.130	7°30'		0.130	0.991			0k021	0.21	0.04	1.17	0.00	0.24	0k289	9.79	1.96	1.96	0.20	0.20
0.071	0.333	19 30		0.333	0.942			0 022	0.22	0.01	1.16	0.00	0.32	0 985	9.75	0.69	2.65	0.62	0.36
0.271																			

lée est remplacée par un coup de passade d'égale hauteur. Il est à noter que la vitesse verticale de $2^m,65$, qui figure à la fin de la chute, n'est pas la vitesse réelle de l'oiseau, qui va être transformée par le coup de passade en vitesse horizontale. Cette vitesse réelle est inclinée de haut en bas ; elle est la résultante de celle $2^m,65$ et de celle $1^m,16$ qui reste à l'oiseau de sa vitesse initiale. Cette résultante est égale à :

$$\sqrt{2,65^2 + 1,16^2} = 2^m,89.$$

Conclusion. — Nous avons exposé comment nous concevons dans sa théorie et sa pratique la rafale relative, manœuvre par laquelle l'oiseau a le moyen de gagner de la hauteur dans son vol par un vent horizontal. Nous avons montré comment est appliquée cette manœuvre dans les zigzags, les orbes et le vol direct en plan contre le vent. Enfin, le calcul est venu, par les formes qu'il a données aux trajectoires, apporter une vérification à notre théorie.

Les aviateurs, à qui notre travail est surtout destiné, y trouveront-ils un encouragement à essayer d'imiter l'oiseau voilier?

Les aéroplanes actuellement construits font déjà du vol plané par glissement. Ils pourraient, nous semble-t-il, en faire avec excursions ascensionnelles dans les vents ascendants tels qu'il en existe à Constantine. Mais exécuteraient-ils sans péril la rafale relative?

Nous concevons une forme d'aéroplane qui nous paraît offrir plus de sécurité. Que l'on imagine une nacelle, portant le personnel et le moteur, suspendue à un système d'hélicoptères, mais avec l'interposition d'un plan dont l'angle d'arrière en avant avec le reste de l'appareïl varierait à la volonté de l'aviateur, et on aura le schéma de la conception que nous désirerions voir réalisée.

Cet apparail se prêterait mieux que l'aéroplane à hélices propulsives à la pratique de la rafale relative; car, pour les brusques variations d'angle que cette manœuvre exige, il n'aurait qu'à incliner ou à relever la direction de son plan, tandis que ce dernier appareil devrait s'incliner ou se relever tout d'une pièce, ce qui peut-être ne serait pas sans danger pour son équilibre. L'aéroplane à hélicoptères aurait, d'ailleurs, la faculté d'accomplir certaines performances que celui à hélices propulsives, qui n'a de soutien que par la vitesse horizontale, ne pourra exécuter : s'élever verticalement, se tenir comme immobile en un point de l'espace, opérer sa descente avec douceur. Quant à la marche en avant, l'aéroplane à hélicoptères l'obtiendrait par le glissement de son plan, soit contre la couche supérieure de l'air dans la montée, soit sur la couche inférieure dans la descente. Peut-être la mise en pratique d'une telle conception ne serait-elle pas sans difficultés.

Quoi qu'il en soit, nous croyons que les aviateurs ne pourront résister au désir de faire du vol à voile, et que, grâce à leur génie inventif et à leur intrépidité, leurs efforts seront couronnés de succès. Si le présent travail a contribué à la solution de cet intéressant problème, nous n'aurons pas perdu notre peine.

Philippeville, le 30 mars 1909.

J. Bretonnière.

UNE OBJECTION

Parmi les objections auxquelles nous avons eu à répondre, il en est une qui nous paraît peu précise, mais qui est appuyée, nous dit-on, de l'opinion des savants.

Cette objection a été présentée comme il suit par l'ingénieur américain M. O. Chanute, dans l'*Aeronautical Annual* de 1897, page 109.

Un grand nombre de savants éminents maintiennent cependant que, pour l'oiseau voilier, un courant uniforme est équivalent à un calme plat, et ils écartent toutes les théories ci-dessus, excepté celle de Pénaud, pour cette raison qu'il n'est pas physiquement possible, pour le vol à voile, de se produire dans un vent uniforme.

Lord Rayleigh, la plus haute autorité scientifique de la Grande-Bretagne, dit, dans une lettre intéressante publiée dans La Nature, 5 *avril* 1883 :

« *Je commence par dire que, si nous connaissons quelque chose en fait de mécanique, il est certain qu'un oiseau, sans faire travailler ses ailes ne peut, ni dans un air calme, ni dans un vent uniforme et horizontal, maintenir indéfiniment son niveau.* »

Lorsque nous eûmes lu ce passage de l'*Aeronautical Annual*, nous écrivîmes à Mr O. Chanute pour le prier de nous faire savoir, s'il les connaissait lui-même, les raisons invoquées par les savants pour déclarer le vol plané impossible dans un vent uniforme et horizontal. Il nous répondit que les physiciens distingués s'accordent à dire qu'un vent horizontal régulier équivaut à un calme plat, parce que l'air, qui soutient l'oiseau, lui enlève à la longue son inertie.

L'objection ainsi formulée suppose un soutien constant de l'oiseau par l'air. Comme dans la rafale relative, ce soutien constant n'existe pas, puisque, pendant une partie du temps, l'oiseau est à l'état de chute, nous estimons qu'une telle objection ne s'applique pas à cette manœuvre. Telle est la réponse que nous fîmes dans notre article publié par la *Revue scientifique*, le 8 janvier 1898, et que nous avons reproduite dans le présent mémoire.

Quant à l'objection qu'on semble vouloir conclure du dire de lord Rayleigh cité plus haut, nous ne l'apercevons pas. Nous ne voyons dans ce dire rien qui soit opposé à ce que nous disons nous-même du vol plané, et nous pensons, avec l'illustre savant, qu'un oiseau, sans faire travailler ses ailes, ne peut, ni dans un air calme, ni dans un vent uniforme et horizontal, maintenir indéfiniment son niveau.

Certains esprits admettent difficilement que l'oiseau ait dans un vent horizontal régulier une autonomie de mouvements qui lui permette de faire du vol à voile. Ils sont portés à le considérer comme une dépendance de la masse d'air qui l'entoure par assimilation avec le poisson dans l'eau ou avec le ballon dans l'atmosphère.

Pour le poisson et le ballon, l'effet de la pesanteur est annulé par les poids spécifiques des milieux où ils sont plongés. L'oiseau, plus lourd que l'air, est au contraire sous la puissance active de la gravité. Il a, d'ailleurs, par les formes et les positions variées qu'il sait prendre, la faculté, tantôt d'échapper presque complètement à la poussée du vent, tantôt d'exercer son action sur l'air par un large déploiement de surfaces.

La gravité, créatrice de la vitesse verticale aux dépens de la hauteur, est, à nos yeux, le principal facteur du vol plané. Le rôle du vent horizontal est d'apporter, au moment de l'ascension, un supplément de vitesse relative et, par suite, de hauteur, de cette hauteur, source de vitesse, dont une restitution suffisante assurera la continuation du vol.

TABLE DES MATIÈRES

TOURS, IMP. DESLIS FRÈRES, 6, RUE GAMBETTA.

PLANCHE I

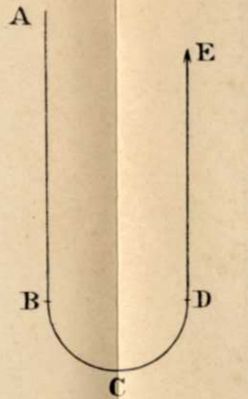


Fig. 1. Passade.

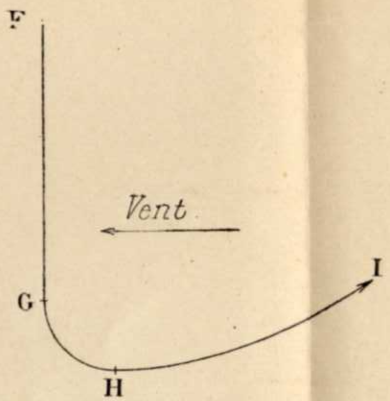


Fig. 2. Rafale relative.

Trajectoire d'une cigogne par orbes.

Fig. 4. Plan.

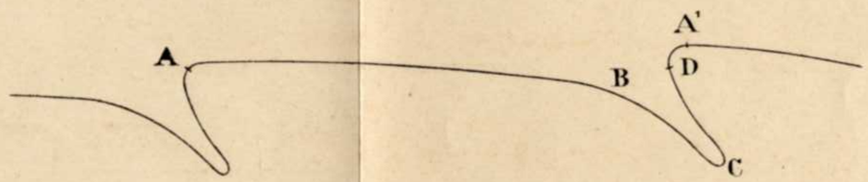


Fig. 5. Elévation latérale.

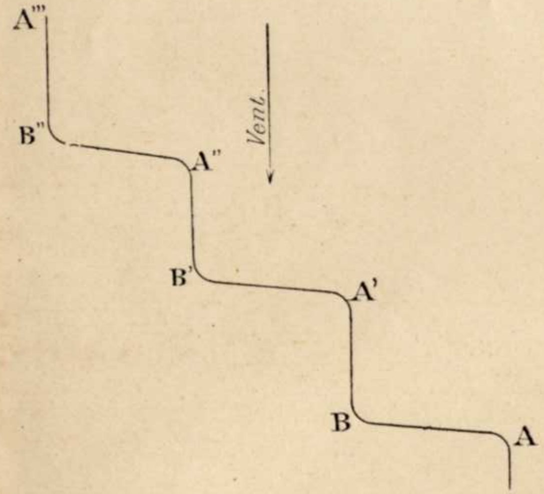


Fig. 3. Zigzags.

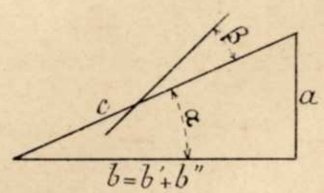


Fig. 19.

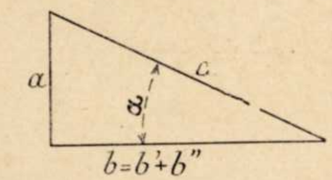


Fig. 20.

PLANCHE II

Trajectoire d'une cigogne par orbes.

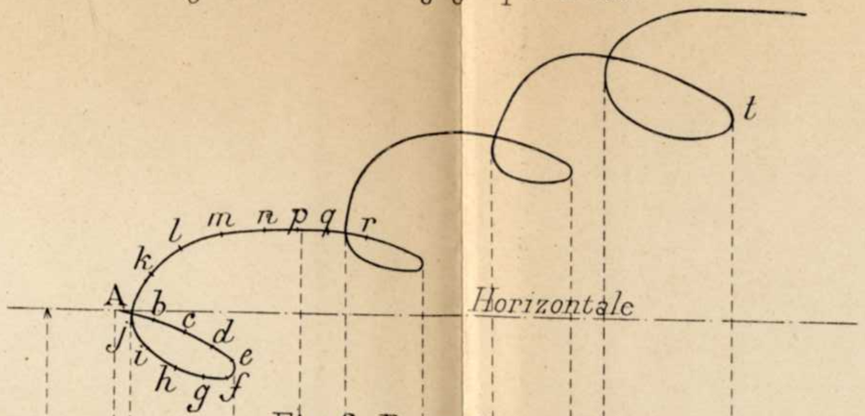


Fig. 6. Projection conique.

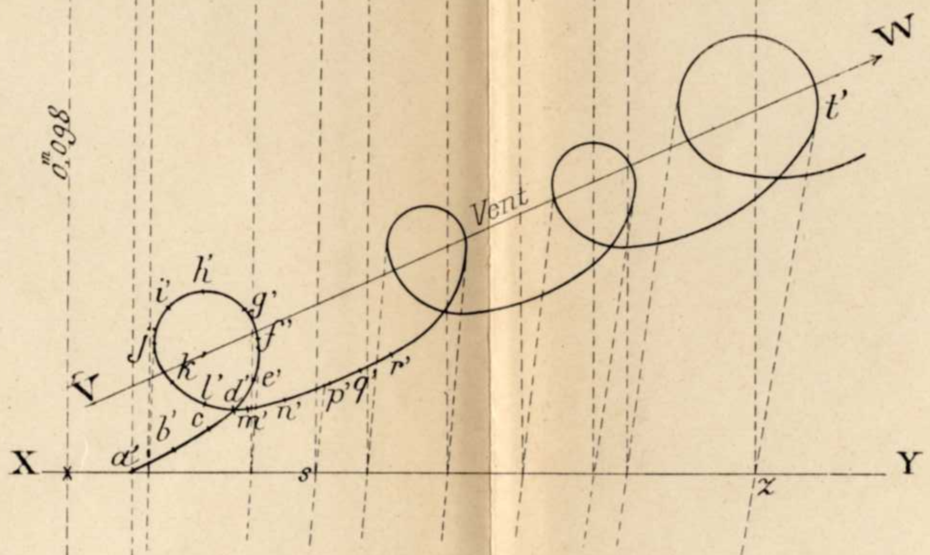


Fig. 7. Plan

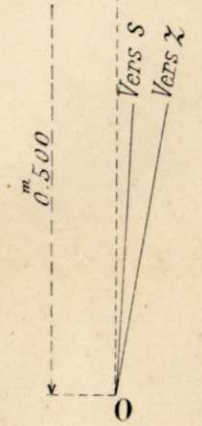
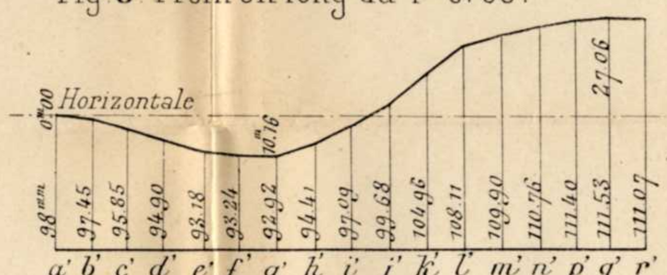


Fig. 8. Profil en long du 1er orbe.



Trajectoire d'un néophron percnoptère par orbes

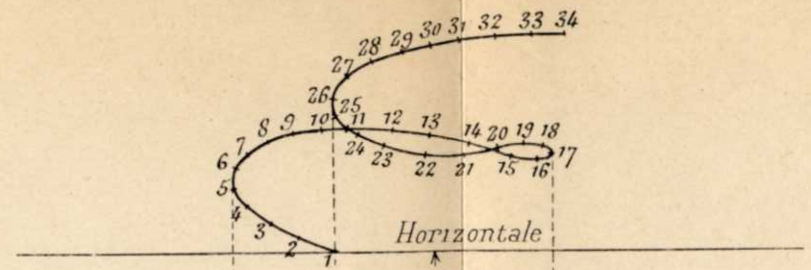


Fig. 9. Projection conique.

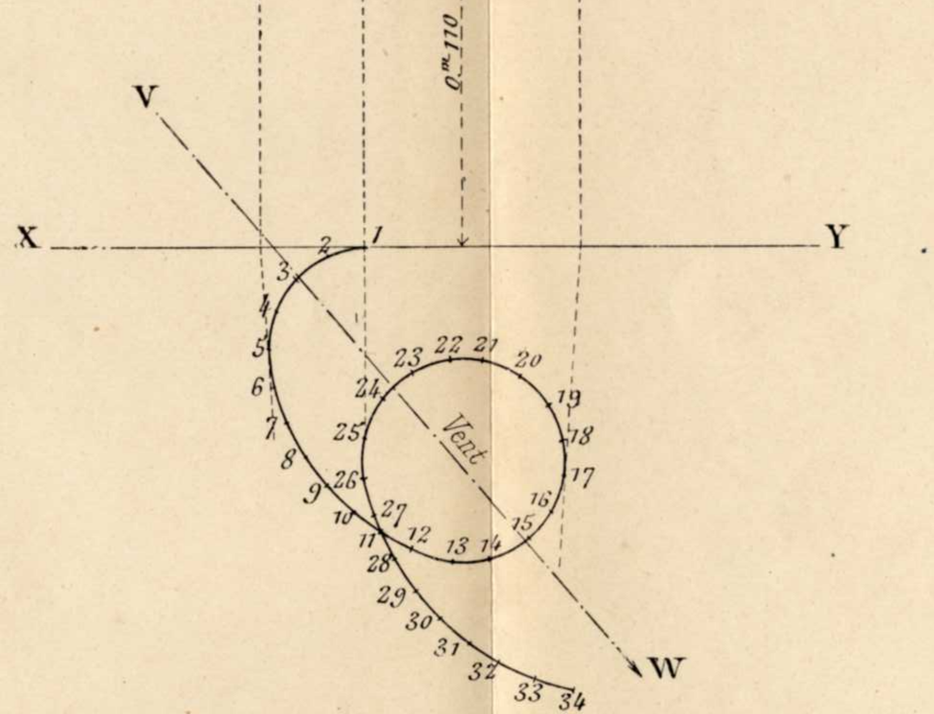


Fig. 10. Plan.

Fig. 11. Profil en long.

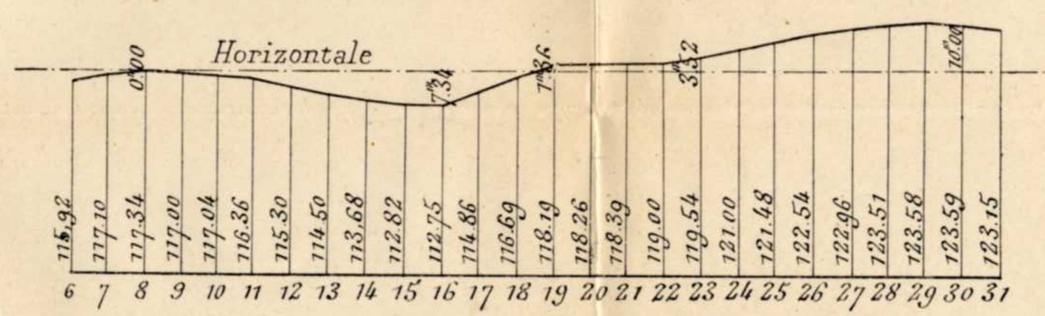


PLANCHE III

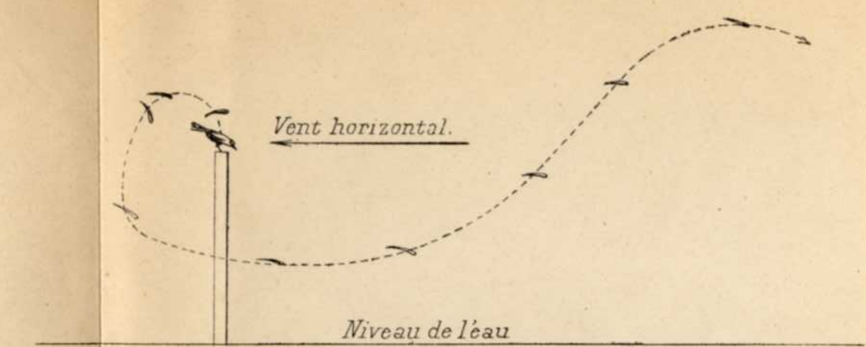


Fig. 12. Trajectoire de goéland dessinée par Mr. O. Chanute.

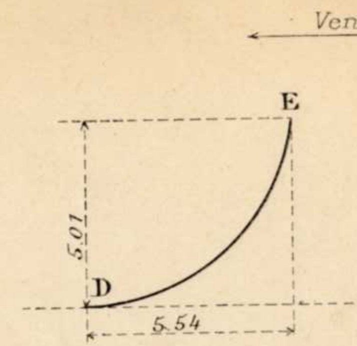


Fig. 15. Hauteur maximum dans le vol en avant

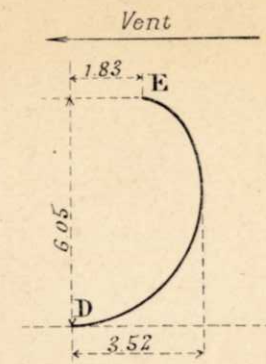


Fig. 16. Hautr maximum possible

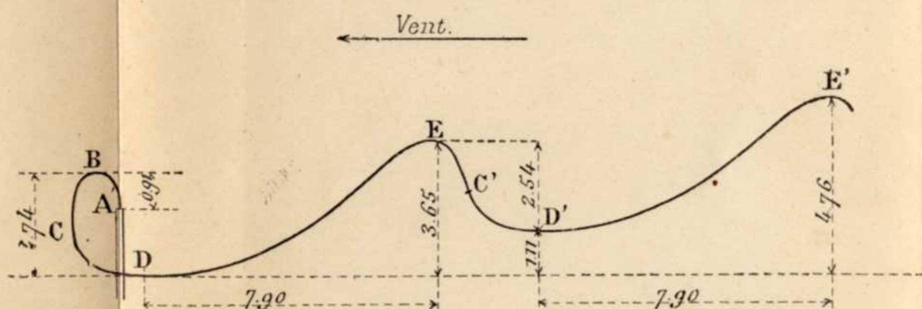


Fig. 13. Cas observé par Mr O. Chanute, dessiné après calculs.
Echelle de 0.005 p.m.

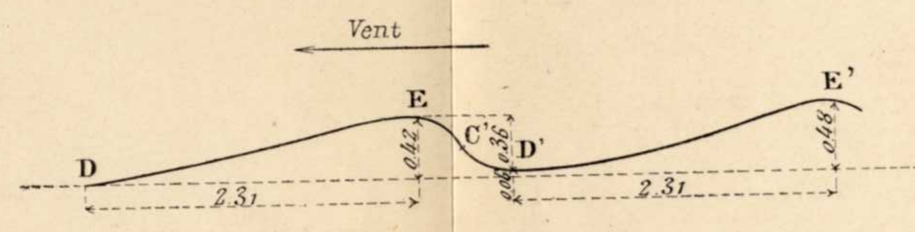


Fig. 18. Vitesse initiale de $2^{m}88$.
Echelle de 0.02 p.m.

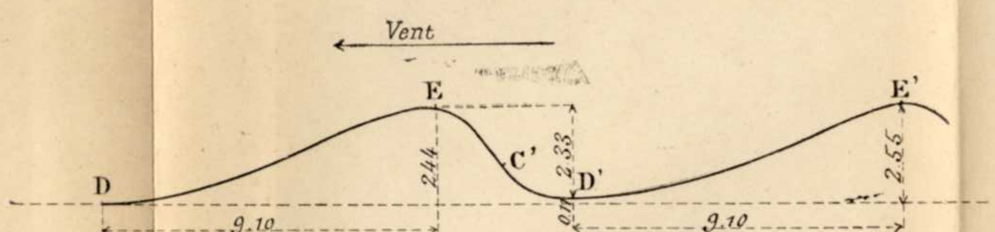


Fig. 14. Vagues d'une mer invisible.

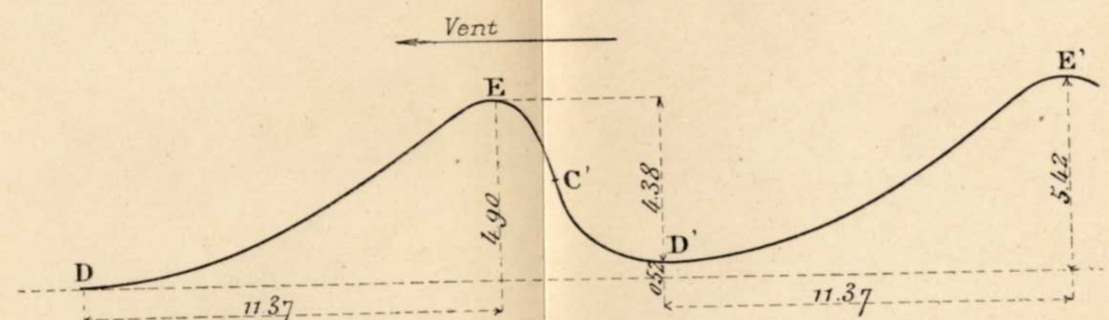


Fig. 17. Vitesse initiale de $9^{m}36$.
Echelle de 0.005 p.m

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.