Ce livre a été édité en 1913.
Il fait 12,5 x 18 cm . La couverture est souple.
Les coins sont arondis.

C'est un livre de ma bibliothèque que j'ai digitalisé.
Il est disponible pour tous en "Open Library".
La commercialisation n'est pas autorisée.

Pour des raisons de commodité de présentation les folios 1, 2, 71 et 72
sont un ré-arrangement des pages existantes.
Un sommaire a été ajouté sur le folio 3.

Christian Becot

MANUEL
DU
CERF-VOLISTE

Par

J. LECORNU

Ingénieur des Arts et Manufactures

Membre de la Société française de navigation aérienne

LIBRAIRIE AÉRONAUTIQUE

40, RUE DE SEINE, 40

PARIS

AVANT-PROPOS

Lorsque parut, il y a onze ans, la première édition de notre livre, Les Cerfs-Volants, *bien rares étaient ceux qui pressentaient l'avenir réservé à ce merveilleux appareil qui, pour le public, n'était encore qu'un jouet d'enfant !*

Aujourd'hui, dans ce siècle qui, plus tard, prendra le nom d'âge de l'air, *le cerf-volant a conquis sa place à côté de l'aéroplane et on ne compte plus les savants, les professeurs, les officiers, les marins de tous les pays, qui étudient le cerf-volant, en calculent les lois, en propagent les applications.*

A côté d'eux, et plus nombreux encore, une foule de jeunes gens, de chercheurs, d'inventeurs, pratiquent le cerf-volant, soit simplement au point de vue sportif, soit pour ses multiples applications : des sociétés de cerfs-volistes se sont fondées, dont les travaux sont d'une réelle valeur; une noble émulation règne entre leurs membres, et chaque jour voit surgir quelque invention nouvelle, quelque perfectionnement plein d'intérêt.

Le plus grand nombre des cerfs-volistes construisent eux-mêmes leurs appareils et ils le font avec une ingéniosité qui ne veut rien livrer au hasard : les surfaces portantes de la voilure sont soigneusement calculées; les cordes de retenue sont judicieusement choisies d'après la force de traction prévue; les charpentes sont étudiées en tenant compte de la densité désirée; les haubans sont disposés rationnellement en raison des efforts supportés.

Il résulte de là que l'étude d'un projet de cerf-volant demande non seulement de la réflexion, mais encore du calcul, et le plus modeste constructeur est obligé de feuilleter des revues et des livres spéciaux pour se procurer tous les renseignements qui lui sont nécessaires : c'est en vue de faciliter ces recherches que nous avons écrit le petit manuel que nous offrons aujourd'hui au public.

Il ne contient, à proprement parler, rien de nouveau; il n'a pas la prétention de rénover ce qui existe et d'ouvrir une ère nouvelle dans les annales de l'aéronautique. Son but est bien plus modeste et il l'aura atteint s'il parvient à économiser un peu de temps et de peine aux constructeurs de cerfs-volants, et s'il facilite leur travail en leur mettant sous la main tous les documents dont ils ont besoin.

Son ambition ne va pas plus loin et celle de l'auteur sera satisfaite s'il a pu rendre service à ses amis, connus et inconnus, du monde cerf-voliste.

J. L.

SOMMAIRE

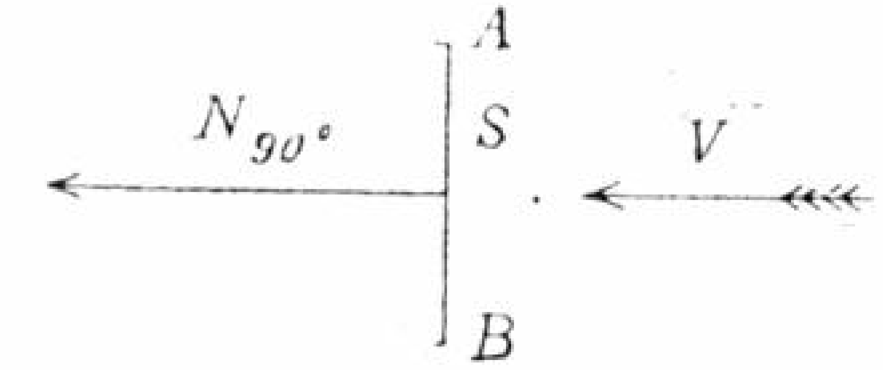
PREMIÈRE PARTIE

AÉRODYNAMIQUE

THÉORIE DU CERF-VOLANT

AÉRODYNAMIQUE

Pression du vent agissant normalement sur un plan mince de surface S :



V étant la vitesse du vent en mètres par seconde,

$$N_{90°} = KSV^2$$

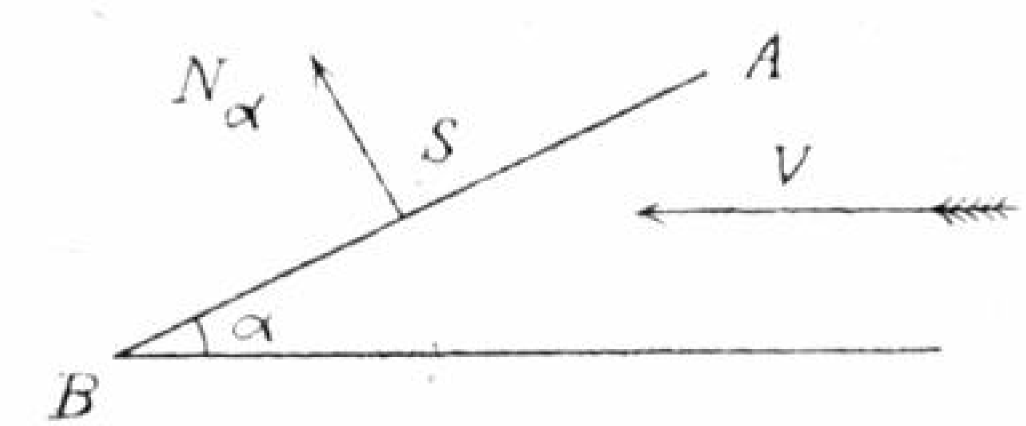
Coefficient K. — Ce coefficient a été déterminé par l'experience ; suivant les expérimentateurs, sa valeur serait comprise entre 0,07 et 0,13.

Le Colonel Renard lui a attribué la valeur 0,085.

Les récentes expériences de M. Eiffel conduisent à lui attribuer la valeur :

$$K = 0{,}08$$

Pression du vent sur un plan mince incliné de l'angle α *sur la direction du vent.*



De nombreuses formules ont été proposées pour exprimer la relation :

$$\frac{N_\alpha}{N_{90}}$$

1°) *Formule de Newton :*

$$\frac{N_\alpha}{N_{90}} = \sin^2 \alpha$$

Cette expression ne concorde pas avec les résultats de l'expérience.

2°) *Formule de von Lœssel :*

$$\frac{N_\alpha}{N_{90}} = \sin \alpha$$

Cette formule ne se vérifie que pour les valeurs de α inférieures à 3°.

3°) *Formule de lord Rayleigh :*

$$\frac{N_\alpha}{N_{90}} = \frac{(4+\pi)\sin\alpha}{4+\pi\sin\alpha}$$

Cette formule est souvent employée en Angleterre et en Allemagne.

4°) ***Formule du colonel Renard*** **(1889) :**

$$\frac{N_\alpha}{N_{90}} = \sin\alpha\,(2 - \sin^2\alpha)$$

5°) ***Formule de Louvrié*** **(1890) :**

$$\frac{N_\alpha}{N_{90}} = \frac{2\sin\alpha\,(1+\cos\alpha)}{1+\sin\alpha+\cos\alpha}$$

6°) ***Formule du colonel Duchemin.*** **(Elle est la plus généralement employée en aérodynamique) :**

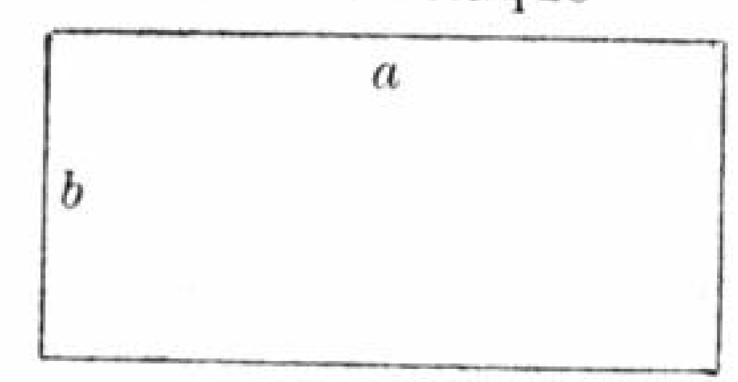
$$\frac{N_\alpha}{N_{90}} = \frac{2\sin\alpha}{1+\sin^2\alpha}$$

Le tableau suivant donne les valeurs de $\frac{N_\alpha}{N_{90}}$ pour les angles de 5° en 5°.

α	$\frac{N_\alpha}{N_{90}}$	α	$\frac{N_\alpha}{N_{90}}$	α	$\frac{N_\alpha}{N_{90}}$
5°	0,172	35°	0,863	65°	0,995
10°	0,337	40°	0,909	70°	0,998
15°	0,485	45°	0,942	75°	0,99939
20°	0,612	50°	0,965	80°	0,99990
25°	0,717	55°	0,980	85°	0,99999
30°	0,800	60°	0,989	90°	1,000

7°) *Formule de Soreau.* — La formule de Duchemin n'est exacte que dans le cas de plans minces carrés ; mais s'il s'agit de plans rectangulaires présentés au vent par le plus grand côté du rectangle *(bord d'attaque)*, il faut employer la formule de Soreau.

Bord d'attaque



On pose :

$$m = \frac{a-b}{a+b}$$

$$\frac{N_\alpha}{N_{90}} = \sin\alpha\left[1 + \frac{1 - m\,\mathrm{tg}\,\alpha}{\frac{1}{(1+m)^2} + \frac{2m}{1+m}\,\mathrm{tg}\,\alpha + 2\,\mathrm{tg}^2\alpha}\right]$$

(Remarque : dans le cas d'un plan carré, $a = b$; alors $m = 0$ et l'on retrouve la formule de Duchemin.)

Centre de pression. — C'est le point d'application de la pression du vent.

Cas d'une surface exposée normalement au vent : Le centre de pression coïncide alors avec le centre de figure (centre de gravité de la surface supposée homogène.)

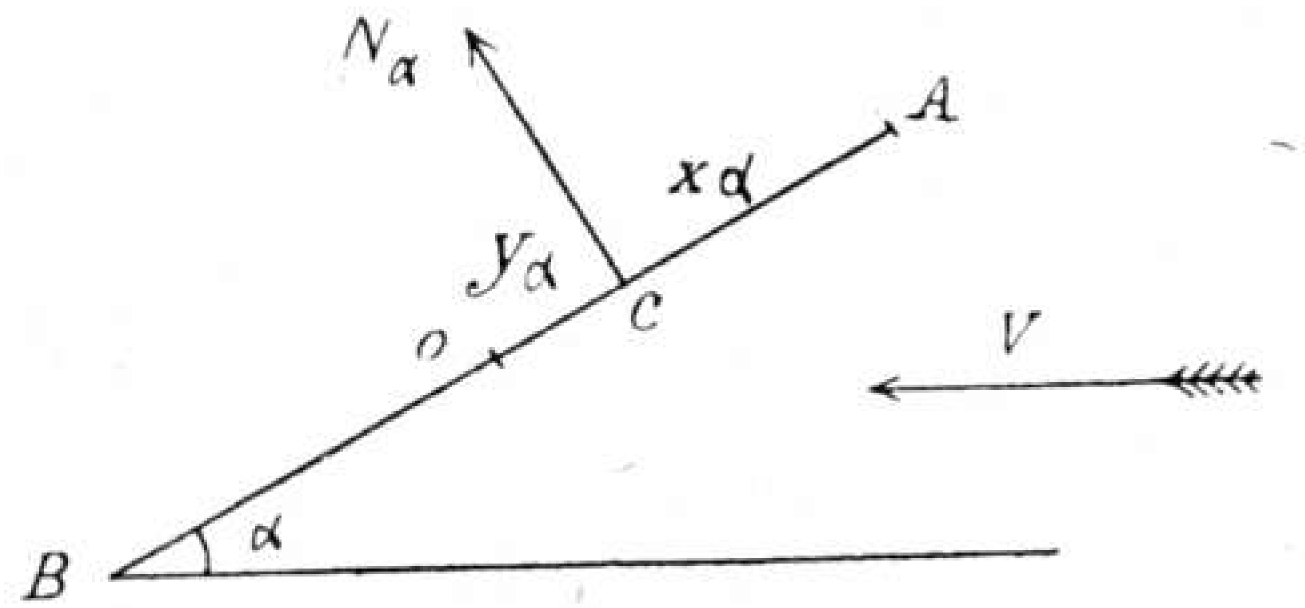
Cas d'une surface exposée obliquement au vent : le centre de pression s'écarte alors du centre de figure et se rapproche d'autant plus du bord d'attaque que l'angle d'inclinaison α est plus petit, c'est-à-dirre que la surfacce est plus couchée sur la direction du vent.

C étant le centre de pression pour l'angle α,

o étant le centre de figure,

x_α désignant la distance du point C au bord d'attaque,

y_α désignant la distance du point C au centre de figure.



Si le plan est normal au vent, $\alpha = 90°$.

$$\begin{cases} x_{90} = \text{OA (distance du centre de figure au bord d'attaque)} \\ y_{90} = 0 \end{cases}$$

Si le plan est incliné de l'angle α, la position du centre de pression est déterminé par le rapport :

$$\frac{y_\alpha}{x_{90}}$$

1°) *Formule de Samuelson :*

$$\frac{y_\alpha}{x_{90}} = \frac{1}{3}$$

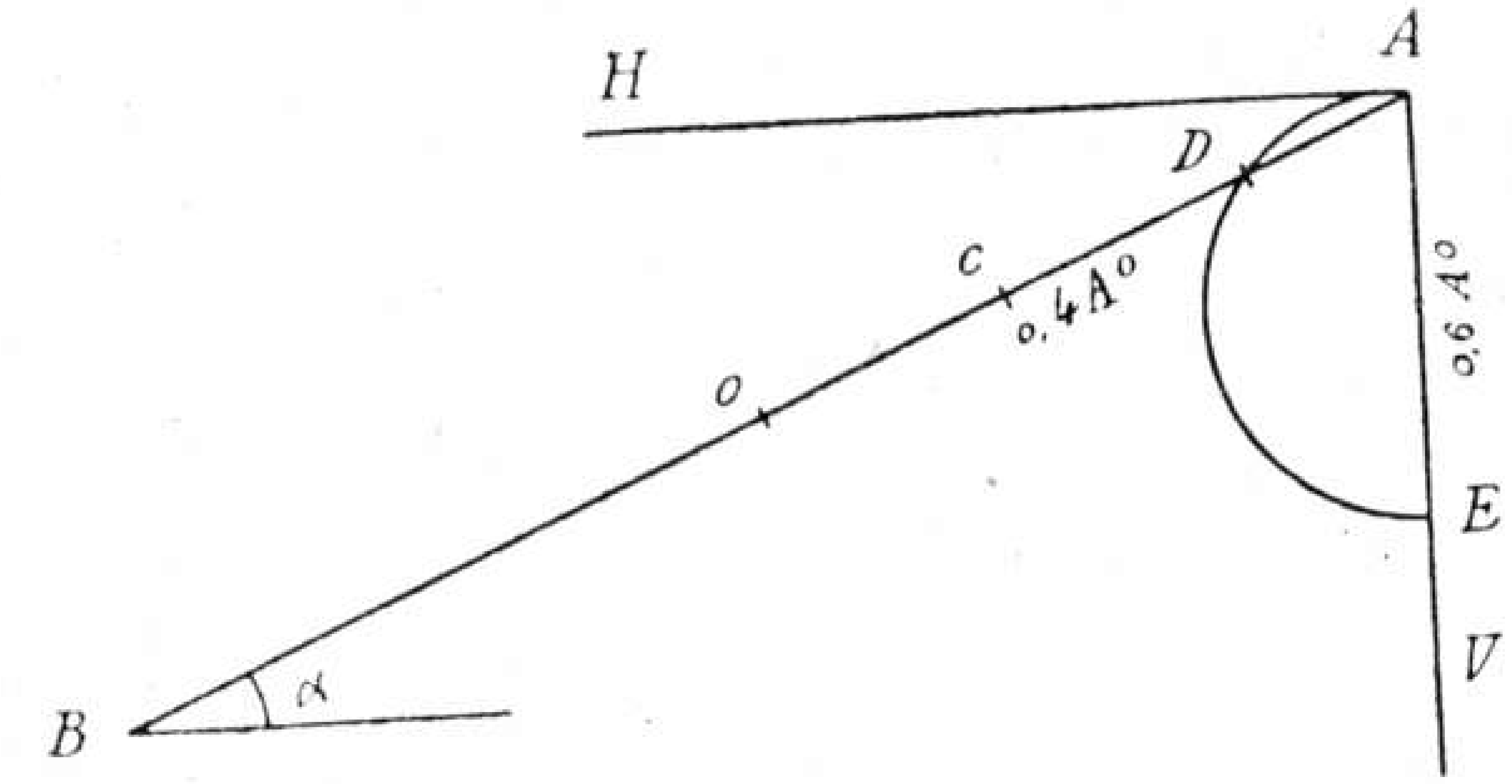
Cette formule ne peut être appliquée que pour les surfaces à contour rectangulaire inclinées d'un angle voisin de 25°.

2°) *Formule de Joessel :*

$$\frac{y_\alpha}{x_{90}} = 0{,}4 + 0{,}6 \sin \alpha$$

Cette formule empirique, qui donne des résultats approchés est susceptible d'une interprétation géométrique, qui en rend l'emploi commode.

AB étant le plan rectangulaire incliné de l'angle α, on trace



l'horizontale AH et la verticale AV. Sur cette dernière droite, on porte

$$AE = 0{,}6 \times x_{90}$$

c'est-à-dire :

$$AE = 0{,}6 \times AO$$

et l'on trace la demi-circonférence ayant AE pour diamètre ; elle coupe AB au point D, à partir duquel on porte :

$$DC = 0{,}4 \times x_{90}$$

c'est-à-dire :

$$DC = 0{,}4 \times AO$$

Le point C ainsi déterminé est le centre de pression correspondant à l'angle α.

3°) *Formule de Rayleigh :*

$$\frac{y_\alpha}{x_{90}} = \frac{3 \cos \alpha}{2\,(4 + \pi \sin \alpha)}$$

4°) *Formule de Soreau.* — C'est la plus employée en aérodynamique.

$$\frac{y_\alpha}{x_{90}} = \frac{1}{2\,(1 + 2 \operatorname{tg} \alpha)}$$

Pour $\alpha = o$

$$y_\alpha = 0{,}5 \,.\, x_{90}.$$

Le tableau suivant donne les valeurs de $\frac{y_\alpha}{x_{90}}$ pour les angles de 5° en 5°.

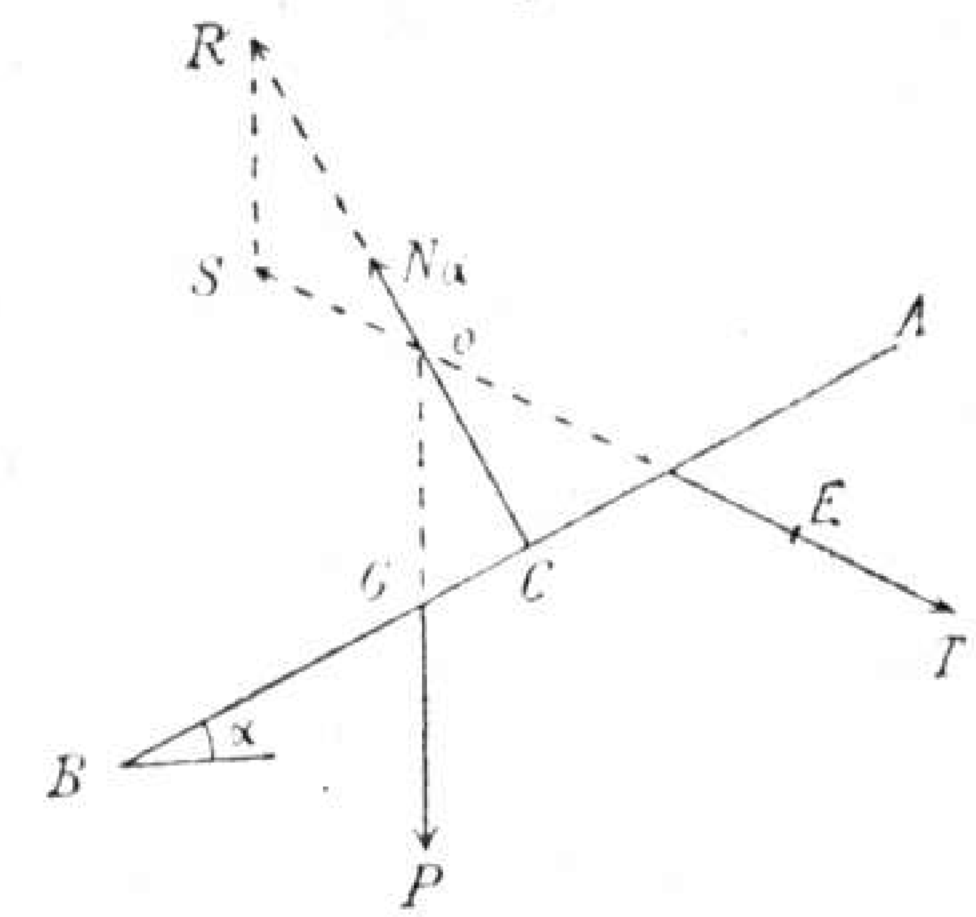
α	$\frac{Y_\alpha}{x_{90}}$	α	$\frac{Y_\alpha}{x_{90}}$	α	$\frac{Y_\alpha}{x_{90}}$
5°	0,426	35°	0,208	65°	0,0945
10°	0,370	40°	0,187	70°	0,0770
15°	0.326	45°	0,167	75°	0,0592
20°	0,290	50°	0,148	80°	0,0405
25°	0,259	55°	0,130	85°	0,0210
30°	0,232	60°	0,112	90°	0

THÉORIE DU CERF-VOLANT

ÉQUILIBRE DU CERF-VOLANT.

Densité du cerf-volant : On appelle P le poids du cerf-volant et S sa surface portante. Sa densité est

$$\delta = \frac{P}{S}$$



Triangle des forces. — Le cerf-volant, étant en équilibre dans l'air, est soumis à l'action de trois forces concourantes dont la résultante est nulle, ou ce qui revient au même, une de ces trois forces est la résultante des deux autres.

Ces trois forces sont : 1° la pesanteur P appliquée au centre de gravité B;

2° la pression normale, N_α appliquée au centre de poussée C;

3° la traction de la ficelle T appliquée en un point F, lié au cerf-volant, et qui est le sommet de la bride d'attache.

Ces trois forces concourent au point O; si l'on construit, à partir de ce point comme premier sommet, le triangle ORS dont les côtés sont en prolongement, ou parallèles aux directions des forces P, N_α et T, les trois côtés du triangle représentent en grandeur, direction et sens les trois forces

$$P, N_\alpha \text{ et } T : OR = N_\alpha ; \; RS = P ; \; SO = T$$

Ce triangle ORS est le *triangle des forces*.

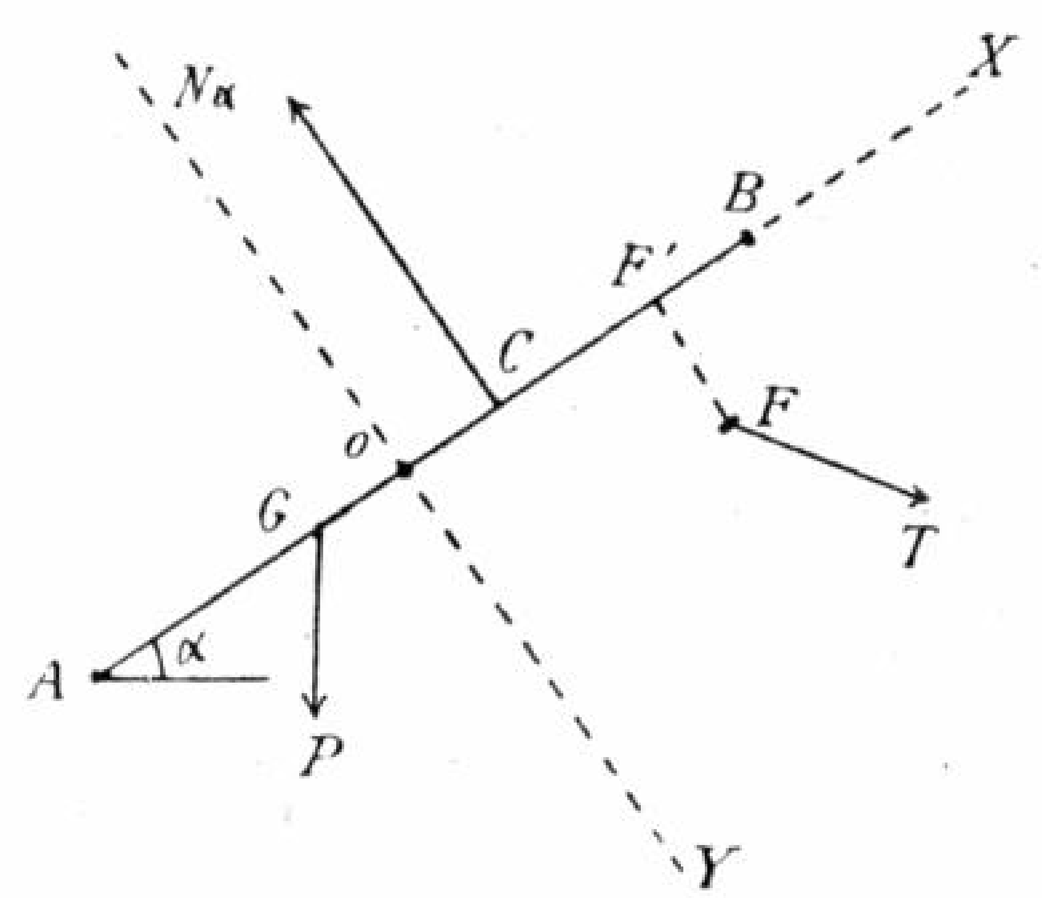
Il permet, connaissant deux des forces, de déterminer la troisième : par exemple, pour un cerf-volant donné, l'angle de planement α étant choisi ; le centre de poussée C étant déterminé par la règle de Joessel ; le poids ainsi que le centre de gravité étant connus ; la valeur de la poussée N_α étant calculée par la formule de Duchemin, le triangle des forces donne la direction de la corde de retenue et la valeur de la traction.

Equation d'équilibre d'un cerf-volant plan théorique (Cap^e Th. Bois).

L'équation des moments est :

$$\omega f(\alpha) [m - \varphi(\alpha)] = (m - \rho) \cos\alpha + n \sin\alpha.$$

dans laquelle :



$$\omega = K \frac{SV^2}{P} \quad \text{ou} \quad \omega = K \frac{V^2}{\delta}$$

$$\left.\begin{aligned} f(\alpha) &= \frac{N_\alpha}{N_{90}} \\ \varphi(\alpha) &= \frac{y_\alpha}{x_{90}} \end{aligned}\right\} \text{(formules de Soreau-Duchemin)}$$

m et n sont les ordonnées OF' et FF' du point d'attache F, par rapport au centre de figure O, la distance OB étant prise comme unité et ρ la distance OG du centre de figure au centre de gravité, OB étant pris comme unité.

Résolution numérique de l'équation des moments.

Elle peut s'écrire

$$m - \varphi(\alpha) = \frac{m - \rho}{\omega} \cdot \frac{\cos\alpha}{f(\alpha)} + \frac{n}{\omega} \cdot \frac{\sin\alpha}{f(\alpha)}$$

Elle peut donc se résoudre numériquement si l'on connait les facteurs

$$\varphi(\alpha), \; \frac{\cos\alpha}{f(\alpha)} \text{ et } \frac{\sin\alpha}{f(\alpha)}$$

Les voici, calculés d'après les formules de Soreau :

α	$f(\alpha)$	$\frac{\text{Cos}\,\alpha}{f(\alpha)}$	$\frac{\text{Sin}\,\alpha}{f(\alpha)}$	$\varphi(\alpha)$
0	0,00	∞	0,50	0,50
5	0,17	5,86	0,50	0,42
10	0,34	2,60	0,51	0,36
15	0,48	1,99	0,53	0,32
20	0,61	1,54	0,56	0,29
25	0,72	1,26	0,59	0,26
30	0,80	1,08	0,62	0,23
35	0,86	0,95	0,66	0,21
40	0,91	0,84	0,71	0,19
45	0,94	0,75	0,75	0,17
50	0,96	0,67	0,79	0,15
55	0,98	0,59	0,83	0,13
60	0,98	0,51	0,87	0,11
65	0,99	0,43	0,91	0,09
70	0,99	0,35	0,94	0,08
75	0,99	0,26	0,97	0,06
80	1,00	0,17	0,98	0,04
85	1,00	0,09	0,99	0,02
90	1,00	0,00	1,00	0,00

Voici d'ailleurs les valeurs du facteur $\frac{1}{\omega}$ (pour $K = 0,085$), qui entre dons cette équation :

Densités.	Vitesses du vent.										
	5m.	6m.	7m.	8m.	9m.	10 m.	11 m.	12 m.	13 m.	14 m.	15 m.
0,5	0,23	0,16	0,12	0,09	0,07	0,058	0,05	0,04	0.035	0,03	0,02
0,6	0,28	0,20	0,144	0,11	0,087	0,070	0,058	0,049	0,042	0,036	0,031
0,7	0,33	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,068	0,057	0,0485	0,042	0,0365
0,8	0,375	0,26	0,19	0,148	0,116	0.094	0,078	0.065	0,055	0,048	0,042
0,9	0,42	0,294	0,215	0,165	0,13	0,105	0,087	0,73	0,062	0,054	0,047
1.	0,47	0,325	0,24	0,18	0,144	0,117	0,095	0,081	0,069	0,06	0,052

Force ascentionnelle au départ : C'est la composante verticale des forces agissant au départ sur le cerf-volant

$$F = N\alpha \cos \alpha - P$$

Elle peut s'écrire

$$F = P\,[\omega f(\alpha) \cos \alpha - 1]$$

Condition pour qu'un cerf-volant puisse quitter le sol.

$$f(\alpha) \cos \alpha > \frac{1}{\omega}$$

Angles limites. — Pour un vent donné, un cerf-volant ne peut s'élever que s'il a un angle d'inclinaison α compris entre deux valeurs limites α_1 et α_2 qui sont données par la relation

$$\operatorname{tg} \alpha = \omega \pm \sqrt{\omega^2 - 1}$$

Angle limite absolu. — C'est l'angle d'inclinaison α pour lequel un cerf-volant ne peut quitter le sol quel que soit le vent. Il est donné par

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{2}$$

d'où l'on tire

$$\alpha = 35^\circ\, 15'\, 37''$$

Vent limite. — C'est la vitesse du vent pour laquelle un cerf-volant de densité donnée s'équilibre au ras du sol. Le vent limite est donné par

$$V^2 = \delta \frac{\sqrt{2}}{K}$$

d'où, en prenant pour K la valeur 0,088,

$$V = \sqrt{16,6376 \times \delta}$$

Tableau des vents limites.

Densités	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,
Vents limites	1,29	1,82	2,23	2,58	2,88	3,16	3,41	3,65	3,87	4,08

Densités limites. — On appelle ainsi la densité maximum que doit posséder un cerf-volant pour pouvoir s'équilibrer au ras du sol pour un vent donné.

La densité limite est donnée par

$$\delta = \frac{K}{\sqrt{2}} V^2$$

d'où, en prenant pour K la valeur 0,085,

$$\delta = 0,06\, V^2$$

Tableau des densités limites.

Vitesses du vent	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10 m	11 m	12 m	13m	14m	15m
Densités limites	0,06	0,24	0,54	0,96	1,50	2,16	2,94	3,84	5,66	6	7,26	8,64	10,14	11,76	13,50

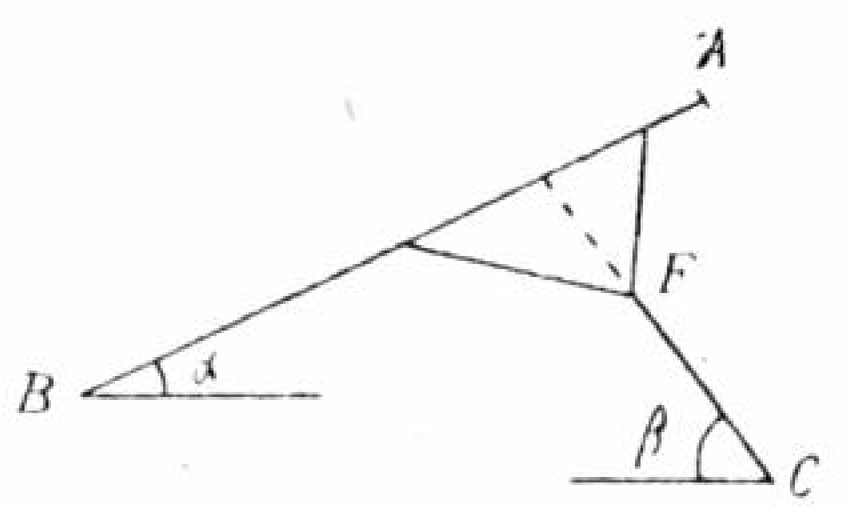
Lois de l'équilibre du cerf-volant. (Cape Bois.)

1°) L'inclinaison d'équilibre d'un cerf-volant ne dépend directement ni de sa surface, ni de son poids, mais seulement de leur rapport, c'est-à-dire de sa densité δ.

2°) L'inclinaison d'équilibre ne dépend pas des valeurs absolues des dimensions du cerf-volant, mais seulement de la densité et des positions relatives du centre de gravité, du centre de figure et du point d'attache, — c'est-à-dire que des cerfs-volants semblables, attachés de la même manière et ayant même densité, planeront sous le même angle.

3°) L'inclinaison d'équilibre ne dépend pas directement de la vitesse du vent ni du poids du cerf-volant, mais seulement du rapport entre la pression normale exercée par le vent par unité de surface et la densité δ.

Corde de retenue. — On désigne par β l'angle que fait, avec l'horizon, la corde de retenue FC, cet angle étant mesuré à une courte distance du point d'attache, de façon que FC soit sensiblement une portion de ligne droite.



Valeur de l'angle de la ficelle avec l'horizon. — La valeur de β est donnée par

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{cotg} \alpha - \frac{1}{\omega f(\alpha) \sin \alpha}$$

ou encore, en fonction de $\operatorname{tg} \alpha$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} - \frac{1}{2 \omega \operatorname{tg}^2 \alpha} - \frac{1}{\omega}$$

1°) *Cas théorique d'une corde non pesante sur laquelle le vent n'agit pas.*

Tension de la corde : en appelant T la tension de la corde, on a les deux expressions

$$T = P \frac{\omega f(\alpha) \sin \alpha}{\cos \beta} \quad \text{et} \quad T = P \frac{f \omega(\alpha) \cos \alpha - 1}{\sin \beta}$$

Maximum de l'angle de la corde. — Il correspond évidemment au *maximum d'élévation* du cerf-volant.

La valeur de l'angle α pour laquelle l'angle β est maximum est

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\omega}$$

La valeur correspondante de l'angle β est alors

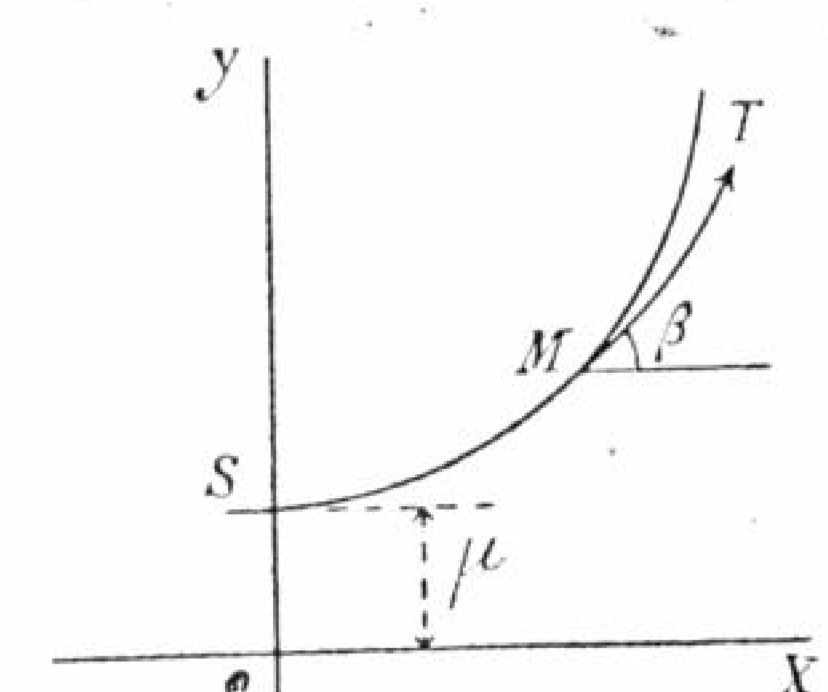
$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\omega^2 - 2}{2\omega} \quad \text{ou} \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{\omega}{2} - \frac{1}{\omega}$$

Si l'on fait K = 0,085, on a respectivement les valeurs de α et de β en fonction de δ et de V par les formules

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \alpha = 11{,}76 \dfrac{\delta}{V^2} \\ \operatorname{tg} \beta = 0.0425 \dfrac{V^2}{\delta} - 11{,}76 \dfrac{\delta}{V^2} \end{cases}$$

2°) *Cas d'une corde pesante, sur laquelle le vent n'agit pas.*

Si l'on tient compte de l'action de la pesanteur (mais non de l'action du vent), la ficelle de retenue prend la forme d'une



chaînette. Rapportée à son axe et à sa *directrice* (droite telle que pour $x = 0$, $y = \mu$ (paramètre) l'équation de cette courbe peut s'écrire

$$y = \frac{\mu}{2}\left(e^{\frac{x}{p}} + e^{-\frac{x}{p}}\right)$$

Tension de la corde. — En un point quelconque M, la tension de la corde est :

$$T = \frac{p\mu}{\cos \beta}$$

Dans cette expression p représente le poids de la corde par unité de longueur.

Maximum de la tension. — Il a lieu pour cos β minimum, c'est-à-dire pour le maximum de l'angle β. Le maximum a donc lieu au point le plus élevé de la corde.

Hauteur atteinte par le cerf-volant. *(Formule de M. Dreux.)*

$$h = \sqrt{\frac{T^2}{p^2} + \frac{2l\,T}{p}\sin\gamma + l^2} - \frac{T}{p}$$

Dans cette formule, qui est déduite de l'équation de la chaînette,

T = traction exercée par la corde à sa partie inférienre ;

p = poids de la ficelle, par mètre courant (la ficelle étant supposée homogène et d'égale section sur toute sa longueur) ;

l = longueur de la corde déployée ;

γ = angle de la corde avec l'horizon, mesuré au sol.

Si on a déployé toute la corde que le cerf-volant peut soulever, l'angle γ au départ est nul, et la formule devient

$$b = \sqrt{l^2 + \frac{T^2}{p^2}} - \frac{T}{p}$$

(Ces formules ne tiennent pas compte de l'action du vent sur la ficelle de retenue).

3°) *Cas d'une corde pesante soumise à l'action du vent.*

Le vent agissant sur un élément de câble incliné de l'angle α sur l'horizon, exerce une pression sur cet élément de câble, dont la valeur est donnée par la *formule de Finzi* (action du vent sur un corps cylindrique).

Notations : l, longueur de l'élément de câble considéré ;

d, diamètre du câble ;

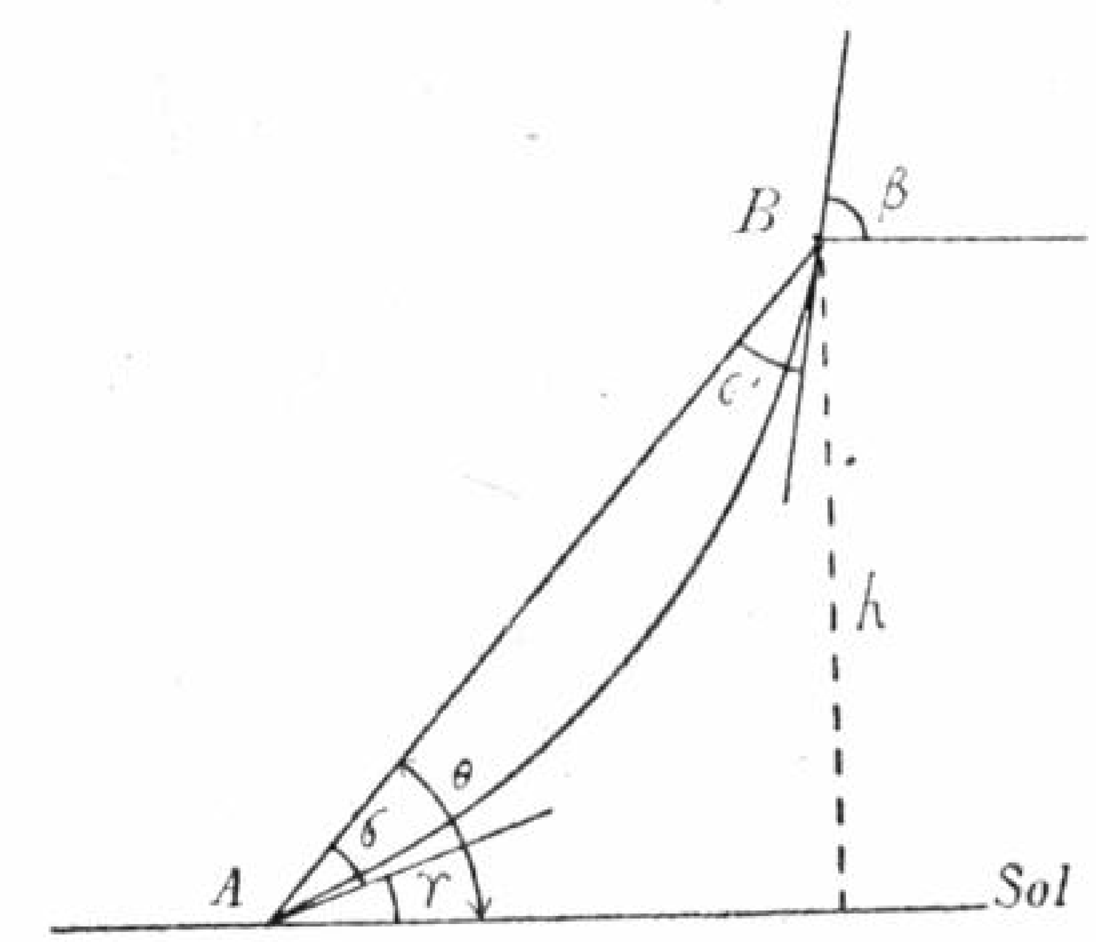
V, vitesse du vent en mètres par seconde ;

A, action du vent.

$$A = K l d V^2 \frac{\sin\alpha}{1 + \sin^2\alpha}$$

Cette formule donne les résultats suivants pour un élément de câble de 100 m. de longueur et de 5 millimètres de diamètre, la traction étant supposée suffisante pour être sensiblement rectiligne et le coefficient K ayant une valeur de 0,085

Vitesse du vent	Inclinaisons du câble sur l'horizon											
	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°
	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k,	k.	k.	k.	k.
8 m	0,65	0,83	0,97	1,08	1,17	1,23	1,28	1.31	1,33	1,34	1,35	1.35
10 m	1,03	1,30	1,52	1,70	1,83	1,93	2,00	2,05	2,08	2,10	2,11	2,12
12 m	1,48	1,87	2,19	2,44	2,64	2,78	2,88	2,95	2,99	3,02	3,04	3,05
14 m	2,02	2,54	2,98	3,33	3,59	3,78	3.92	4,01	4,08	4,11	4,14	4,15
16 m	2,63	3,32	3,90	4,35	4,69	4,94	5,12	5,24	5,33	5,38	5,41	5,42
18 m	3,33	4,21	4,93	5,50	5,94	6.25	6,48	6,64	6,74	6,80	6,85	6,87
20 m	4,12	5,20	6,09	6,80	7,33	7,72	8,00	8,20	8,33	8,40	8,45	8,48



Sous l'action du vent, la corde de retenue prend une forme plus courbée que celle de la chaînette et devient très sensiblement un arc de cercle (Cap. Saconney).

Notations : β, angle de la corde avec l'horizon, près du point d'attache :

γ, angle de la corde avec l'horizon près du sol ;

θ, angle avec l'horizon de la visée AB ;

σ et σ', les angles de la corde avec la droite de visée AB.

On a alors

$$\sigma = \sigma'$$

et

$$\beta = 2\theta - \gamma$$

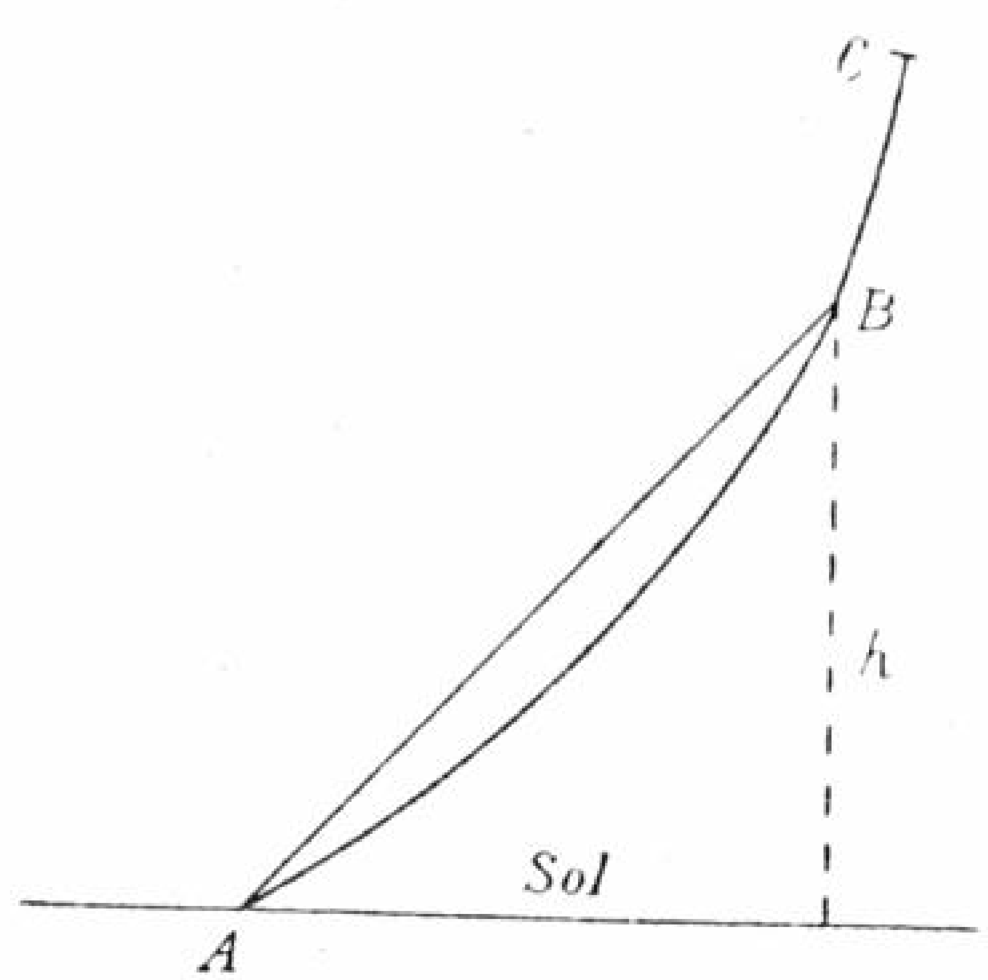
Hauteur atteinte par le cerf-volant. — (Formule de Saconney.)

Notations : l, longueur de la corde déployée;

h, hauteur du cerf-volant

$$h = 57{,}3\, l \sin \theta \, \frac{(\sin \theta - \gamma)}{\theta - \gamma}$$

Dans le cas où une surcharge est fixée sur le câble de retenue, en B, il se produit une brisure en ce point; l'angle de la corde



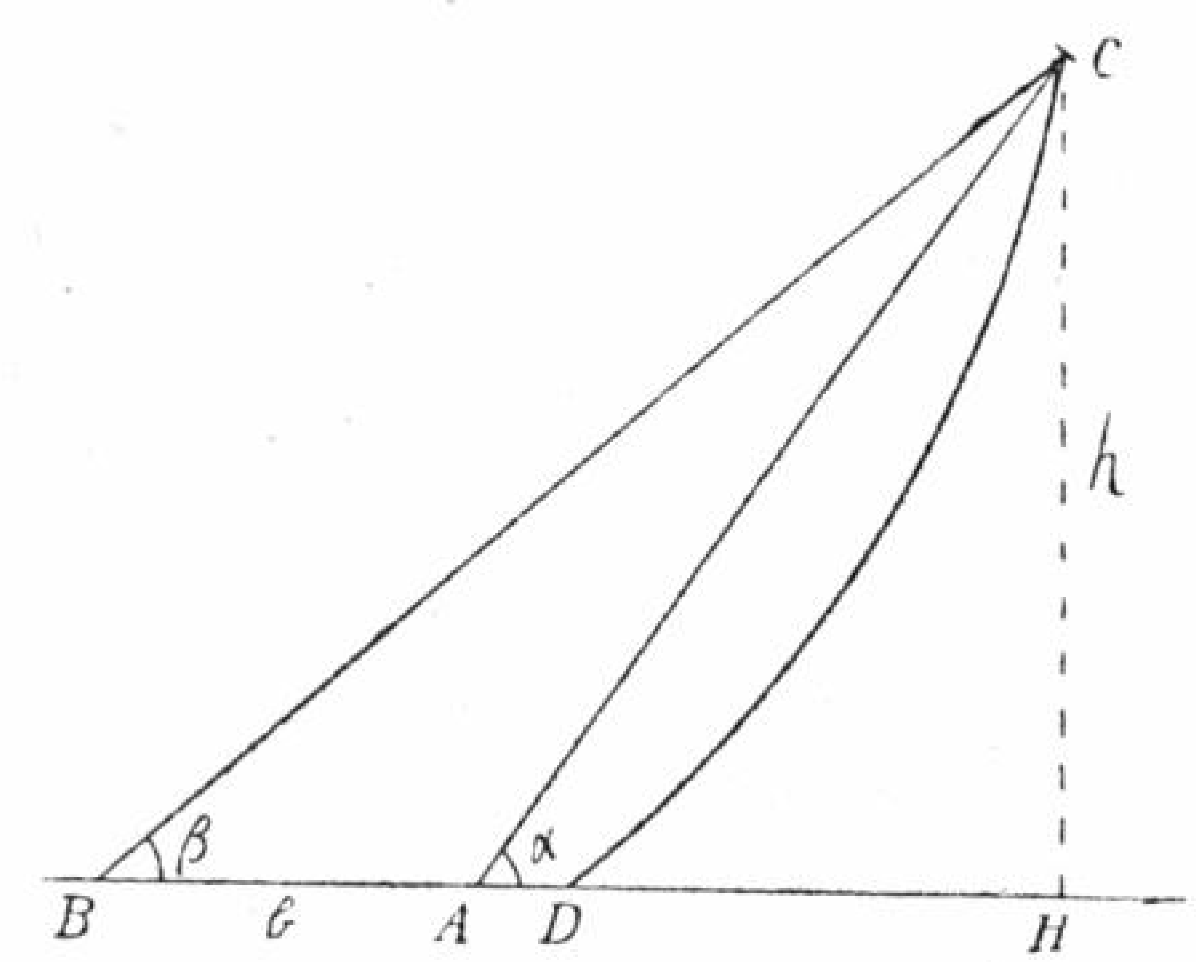
avec l'horizon, entre le point de brisure et le train de cerfs-volants est alors constant, quelle que soit l'altitude atteinte.

L'angle de la corde avec l'horizon au dessous du point de brisure est également un angle constant (Cap. Saconney).

Enfin, dans ce cas, la formule de Saconney s'applique, non pas à la hauteur atteinte par le cerf-volant, mais bien à la hauteur atteinte par la surcharge fixée en B.

La visée AB se fait alors sur le point B, où est la surcharge, et la longueur l est celle du câble déroulé jusqu'en ce point seulement.

Mesure trigonométrique directe de l'altitude d'un cerf-volant. — Le cerf-volant étant en C à l'altitude h, CD étant la corde de retenue, on mesure sur le terrain une base AB de longueur b,



dans le plan vertical où se trouve le cerf-volant.

En A et B, deux observateurs notent simultanément les angles α et β sous lesquels on vise le cerf-volant au dessus de l'horizon.

La hauteur cherchée est alors donnée par

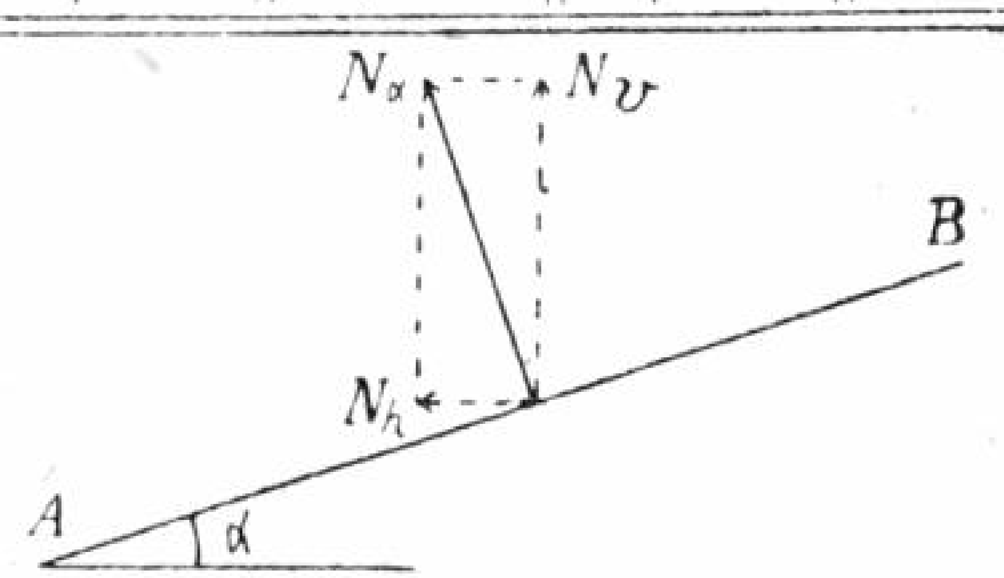
$$h = b\,\frac{\operatorname{tg}\alpha \, . \, \operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}$$

Formule de Lelong. — Elle donne une première approximation de la hauteur atteinte par un cerf-volant, en fonction de la longueur l de câble déroulé, et d'un coefficient K_β qui dépend de l'angle β que fait, au ras du sol, la corde avec l'horizon

$$h = K_\beta \times l$$

Les valeurs du coefficient K_β sont données dans le tableau suivant :

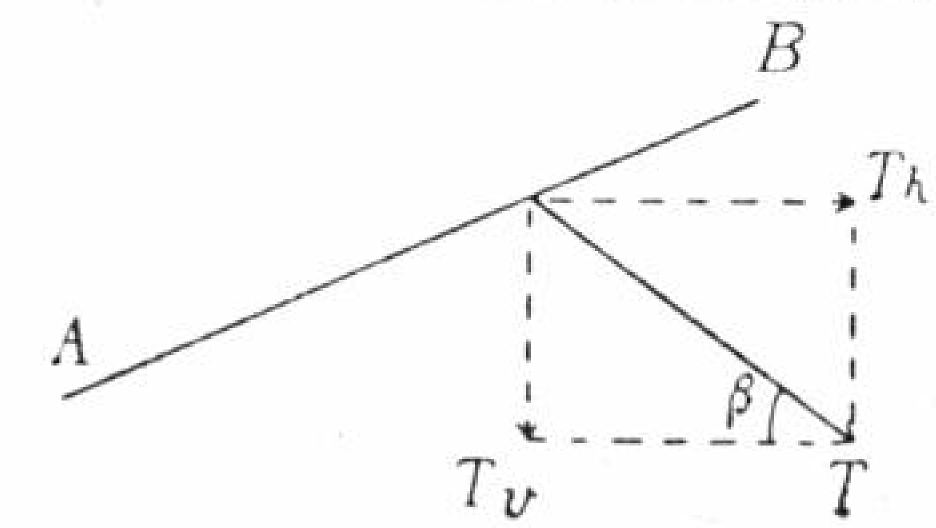
β	K_β	β	K_β	β	K_β	β	K_β	β	K_β	β	K_β
1°	0,01745	16°	0,27556	31°	0,51504	46°	0,71934	61°	0,87462	76°	0,97030
2	0,03490	17	0,29237	32	0,52982	47	0,73135	62	0,88295	77	0,97437
3	0,05234	18	0,30902	33	0,54464	48	0,74614	63	0,89101	78	0,97815
4	0,06976	19	0,32557	34	0,55919	49	0,75471	64	0,89879	79	0,98163
5	0,08716	20	0,34202	35	0,57358	50	0,76604	65	0,90631	80	0,98481
6	0,10453	21	0,35837	36	0,58779	51	0,77715	66	0,91355	81	0,98769
7	0,12187	22	0,37461	37	0,60182	52	0,78801	67	0,92050	82	0,99027
8	0,13917	23	0,39073	38	0,61566	53	0,79864	68	0,92718	83	0,99255
9	0,15643	24	0,40674	39	0,62932	54	0,80902	69	0,93358	84	0,99452
10	0,17365	25	0,42263	40	0,64279	55	0,81915	70	0,93369	85	0,99619
11	0,19081	26	0,43837	41	0,65606	56	0,82904	71	0,94552	86	0,99756
12	0,20791	27	0,45399	42	0,66913	57	0,83867	72	0,95106	87	0,99863
13	0,22494	28	0,46947	43	0,68200	58	0,84805	73	0,95620	88	0,99939
14	0,24192	29	0,48481	44	0,69466	59	0,85717	74	0,96126	89	0,99985
15	0,25882	30	0,5000	45	0,70711	60	0,86603	75	0,96593	90	1,00000



Rendement d'un cerf-volant. — On appelle ainsi le rapport de la force de soulèvement disponible (composante verticale de la pression du vent, diminuée du poids du cerf-volant) à la force d'entraînement (composante horizontale de la pression du vent).

$$r = \frac{N_v - P}{N_h}$$

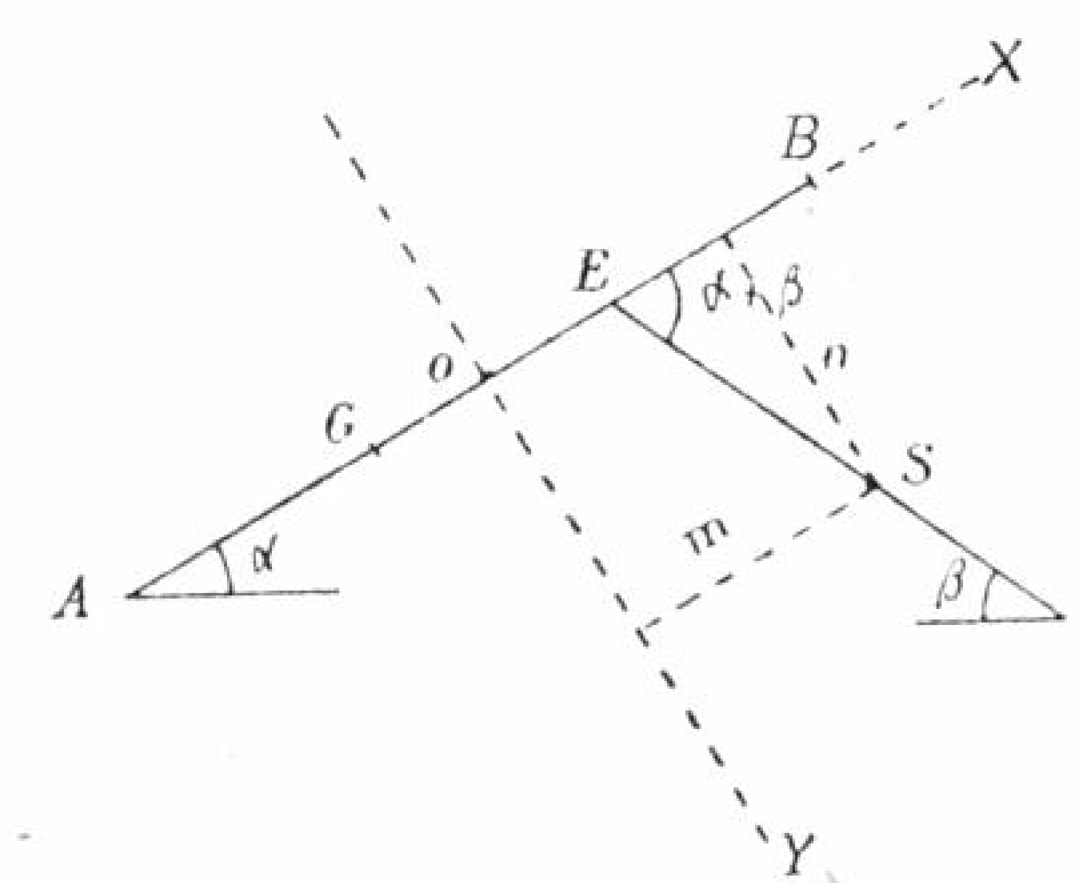
Le rendement est égal au rapport des composantes verticale et horizontale de la traction de la corde de retenue, rapport qui est



égal lui-même à la tangente de l'angle que fait avec l'horizon la direction de la traction

$$r = \frac{T_v}{T_h} = \text{tg}\,\beta$$

Le rendement d'un cerf-volant est donc maximum lorsque l'angle que fait la traction avec l'horizon est lui-même maximum.



Bridage du cerf-volant. — Le sommet de la bride a pour coordonnées m et n par rapport aux axes OX et OY, le centre de figure O étant pris comme origine, et la longueur OB étant prise pour unité de longueur.

Si l'on cherche à réaliser les conditions de maximum d'élévation, les coordonnées m et n du sommet S sont reliées par la relation.

$$\omega^3(\omega+2)m-(\omega+2)(\omega^2+2)n+\omega[(\omega+2)(\omega^2+2)\rho-\omega(\omega^2+1)]=0$$

qui est l'équation d'une droite.

Cette droite n'est autre que la direction de la ficelle de retenue, dans les conditions de rendement maximum.

Cette droite est complètement déterminée par la valeur de l'angle BES $= \alpha + \beta$ et par la longueur OE qui est la valeur de m pour $n = o$.

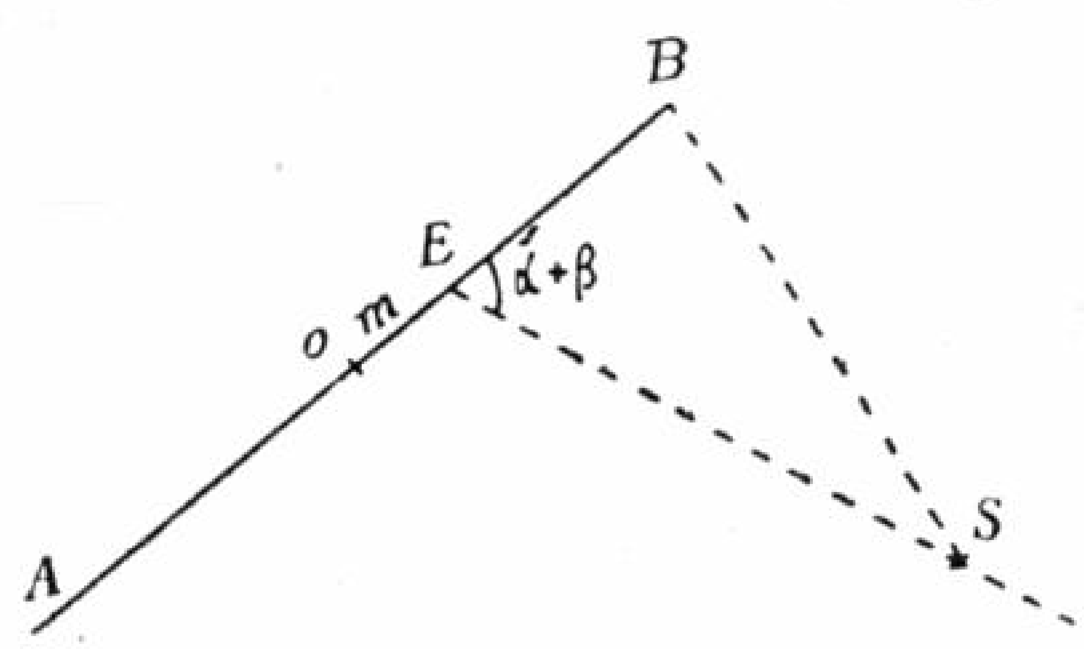
Les angles α et β sont donnés par les relations précédemment établies pour le maximum d'élévation. Quant à OE, il est donné (en faisant $n = o$) par

$$m = \frac{\omega^2+1}{\omega(\omega+2)} - \rho\frac{\omega^2+1}{\omega^2}$$

Dans le cas où le centre de gravité coïncide avec le centre de figure, $\rho = o$ et on a simplement

$$m = \frac{\omega^2+1}{\omega(\omega+2)}$$

La droite ES étant ainsi déterminée, on prendra le sommet de



la bride en un point quelconque de cette droite ; pratiquement, on prendra le sommet S sur la droite ES, tel que

$$BS = \frac{2}{3}BA$$

Remarque. — La détermination du sommet de la bride dépendant essentiellement de la valeur de ω, c'est-à-dire de $\frac{KV^2}{\delta}$, on voit que, pour un cerf-volant donné, de densité δ, le bridage varie avec la vitesse du vent. On ne peut donc réaliser les conditions de rendement maximum qu'en règlant la bride suivant la vitesse du vent au moment de l'expérience.

DEUXIÈME PARTIE

RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

CONSTRUCTION — MANŒUVRES

APPLICATIONS DU CERF-VOLANT

CLASSIFICATION
DES CERFS-VOLANTS

Une première classification des cerfs-volants est basée sur l'état de la voilure :

1re *classe :* **Cerfs-volants rigides.** — La charpente est indéformable et la voilure est absolument tendue sur la charpente.

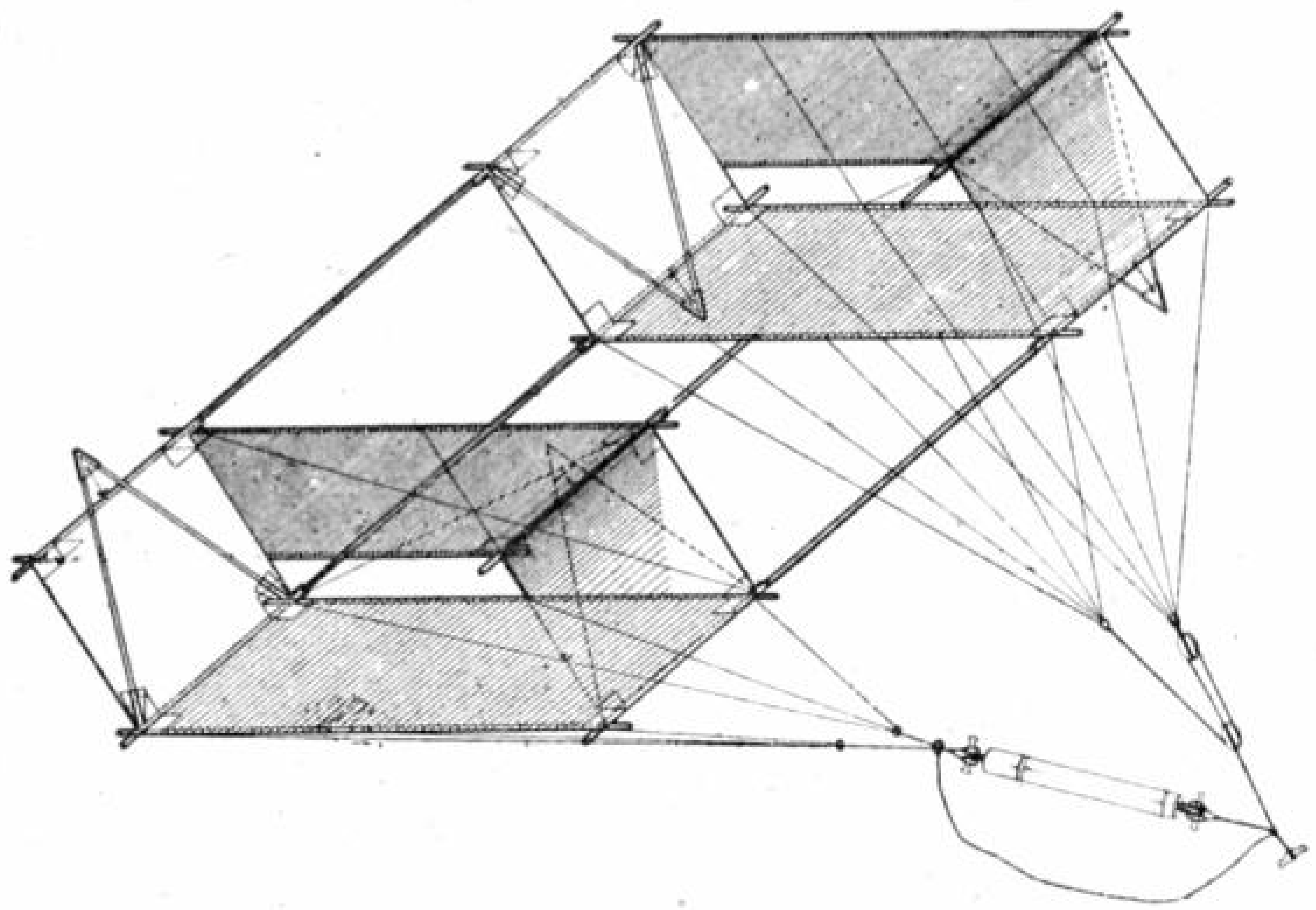
2e *classe :* **Cerfs-volants souples.** — A) Certaines parties de la charpente peuvent s'infléchir sous l'action du vent, de façon à assurer un certain équilibre automatique.

B) La voilure n'est pas tendue complètement sur la charpente ; elle se creuse, sous l'action du vent et prend une forme concave favorable à l'ascension.

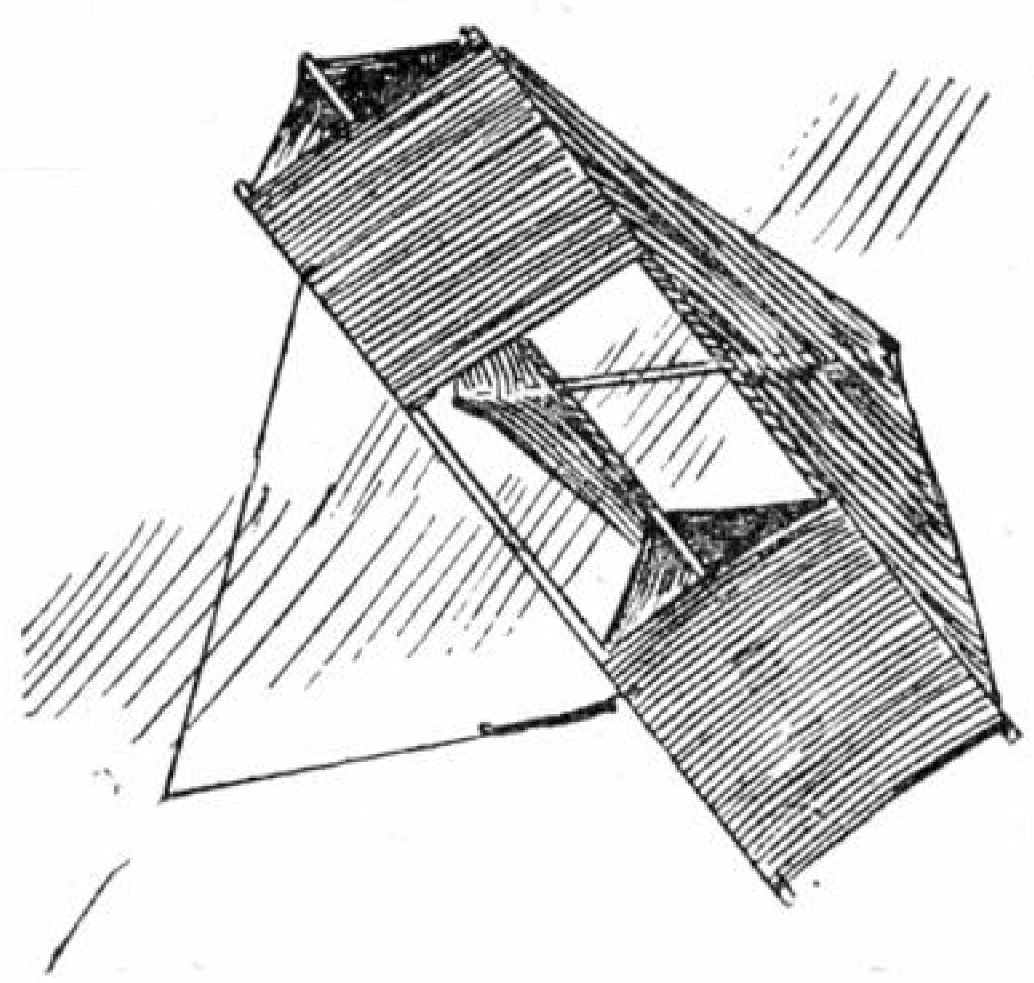
Une seconde classification des cerfs-volants est basée sur le nombre et la disposition des plans qui le forment.

1re *classe :* **Cerfs-volants monoplans.** — A) *Simples.* — Le cerf-volant est formé d'un seul plan sustenteur à contour régulier, le plus souvent polygonal (carré, losange, hexagone, etc.). Ils ne volent bien que munis d'une queue, destinée à assurer l'équilibre longitudinal.

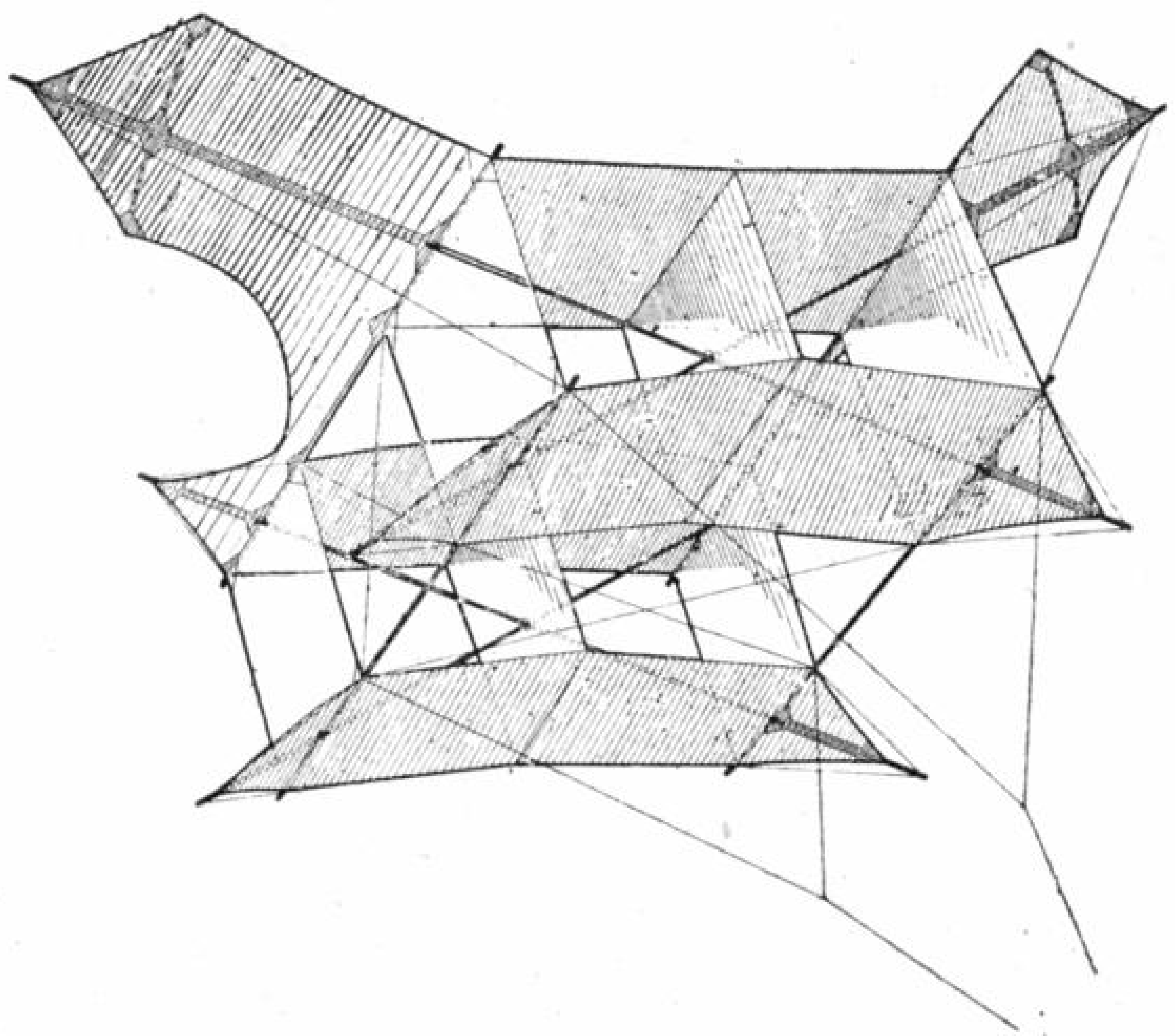
B) *A plan directeur.* — Le cerf-volant monoplan comprend, outre le plan sustenteur, un ou plusieurs plans appelés *directeurs*, perpendiculaires au plan sustenteur; ces plans directeurs se maintiennent dans le lit du vent, jouent le rôle de quille, et assurent l'équilibre latéral.



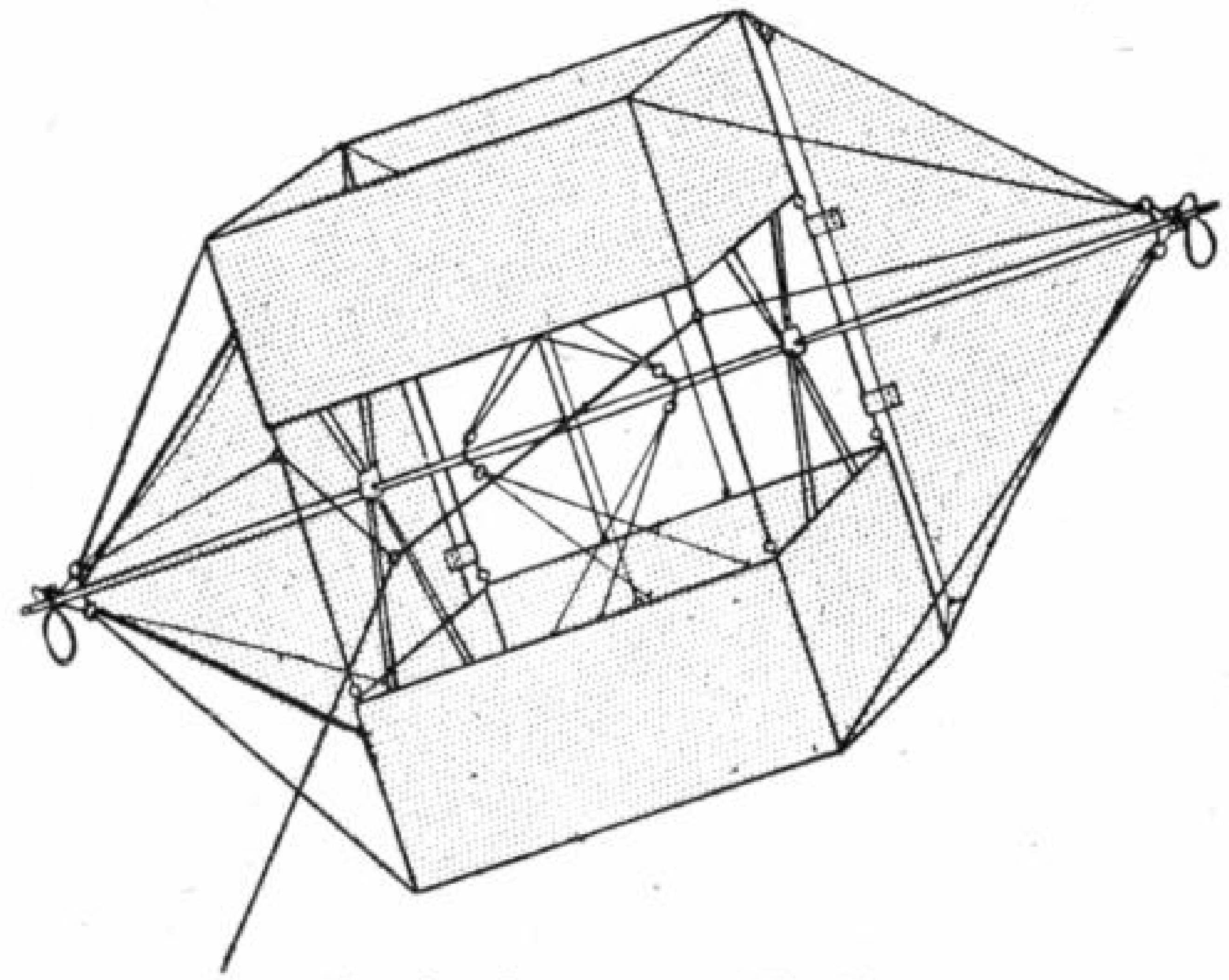
Cerf-volant cellulaire



Cerf-volant dièdre



Cerf-volant type Saconney



Cerf-volant type Madiot

CERFS-VOLANTS POUR TRAINS MONTÉS

2ᵉ *classe :* **Cerfs-volants dièdres.** — Les cerfs-volants de cette classe sont formés de deux plans inclinés du même angle de part et d'autre de l'épine dorsale de façon à former un V largement ouvert. Les deux plans jouent à la fois le rôle de plans sustenteurs et de plans directeurs.

3ᵉ *classe :* **Cerfs-volants cellulaires.** — Les cerfs-volants de cette classe sont formés d'une série de plans se coupant les uns des autres, de façon à présenter l'aspect de boîtes dont on aurait supprimé les fonds antérieurs et postérieurs. Les cellules ainsi constituées sont disposées soit l'une derrière l'autre, soit l'une au dessus de l'autre et leur nombre varie suivant les appareils,

Les plans qui composent les cellules sont les uns sustenteurs, les autres directeurs, ou bien à la fois sustenteurs et directeurs.

Dans un grand nombre de cerfs-volants, on rencontre des combinaisons de ces différentes classes (exemple : cerfs-volants cellulaires à ailerons latéraux, etc.).

CONSTRUCTION DES CERFS-VOLANTS

Un cerf-volant, quel que soit son type, comprend un certain nombre d'organes et, en y adjoignant le matériel de lancement, on est amené à distinguer

1° La charpente ou carcasse ;
2° La voilure ;
3° La bride ;
4° La corde de retenue ;
5° Le treuil ou dévidoir.

1°) **Charpente ou carcasse du cerf-volant.** — La charpente du cerf-volant est ce qui constitue son squelette, son ossature ; les matériaux employés pour la constituer sont le bois ou les tiges d'acier pour les parties rigides, et le chanvre, le coton ou les fils d'acier, pour les tirants et les haubans.

Les bois les plus employés sont le bambou, le sapin, le frêne, le peuplier, le poirier, le châtaignier, etc... L'osier s'emploie pour les parties courbes.

Les tiges d'acier ne s'emploient guère que sous la forme de baleines de parapluie creuses, c'est-à-dire présentant en section la forme d'un U. Ces petites tiges d'acier peuvent servir à armer certaines parties de la charpente en bois.

Il est très important de n'employer que des bois sans nœuds et de droit fil. Lorsque l'on veut avoir des tiges de bois bien équilibrées, il est avantageux de les fendre en deux sur toute leur longueur et de réunir les deux demi-baguettes ainsi obtenues en plaçant l'une en sens contraire de l'autre : l'assemblage des deux demi-baguettes se fait à la colle forte et on donne une grande solidité en enroulant une bande de papier collée à la colle forte sur toute la longueur.

Recette de colle forte. — Il est important que la colle employée résiste à l'humidité, un cerf-volant étant souvent exposé à être mouillé.

Voici une recette pour obtenir ce résultat :

Faire fondre dans de l'eau tiède de la colle de poisson ; avant complète dissolution, ajouter un peu d'huile de lin et placer alors sur un feu doux jusqu'à dissolution complète de la colle. Bien mélanger pendant la fusion. Cette colle s'emploit chaude ; elle durcit en se refroidissant et devient tout-à-fait insoluble dans l'eau ; elle résiste également bien à une humidité persistante.

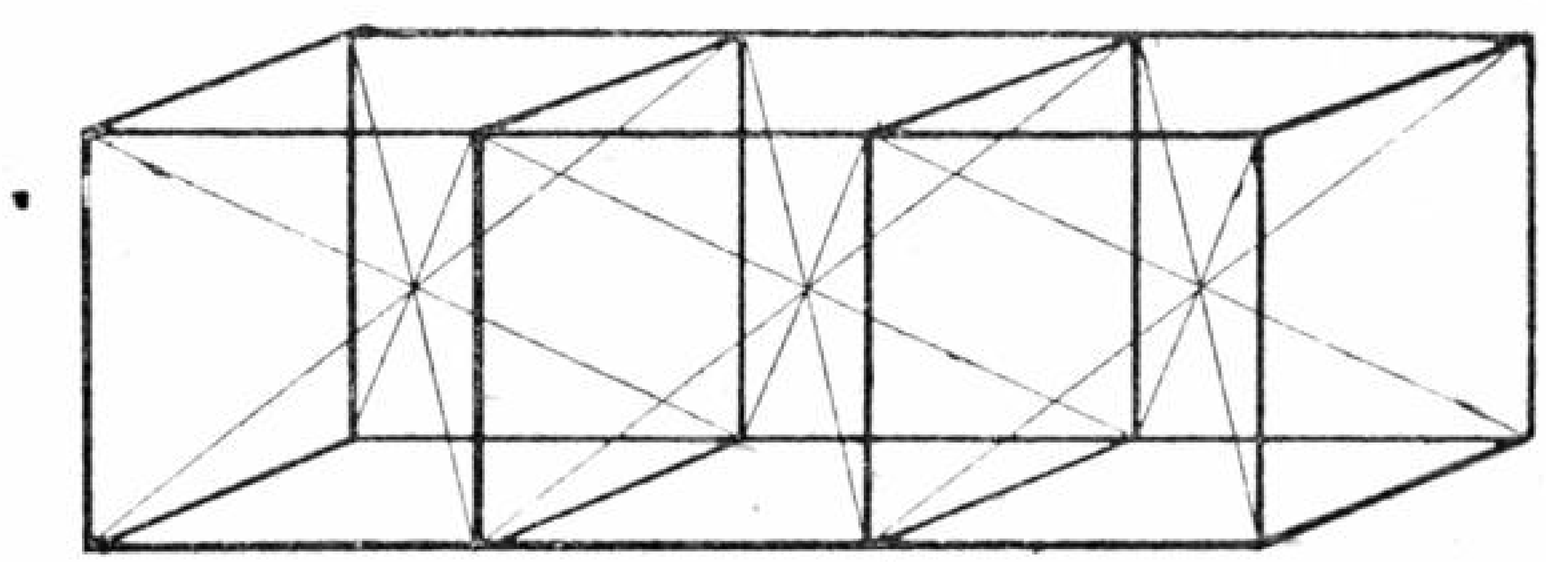
Raccords des pièces de charpente. — Aux points de croisement des baguettes constituant la charpente, celles-ci sont maintenues en place par des ligatures en ficelle de fouet ; lorsque l'on construit un cerf-volant démontable, il est préférable d'employer des pièces de raccords en cuivre que l'on trouve dans le commerce. Ces pièces ont généralement 3 millimètres d'épaisseur.

Les modèles les plus courants sont les raccords en T, en V, en croix, en sommet de tétraèdre, en X, en U, etc.

Tirants ou haubans. — Pour assurer la rigidité de la charpente, on se sert de tirants ou haubans qui ne travaillent qu'à la traction. On les constitue donc par de simples cordes de chanvre ou de coton, ou par du fil d'acier.

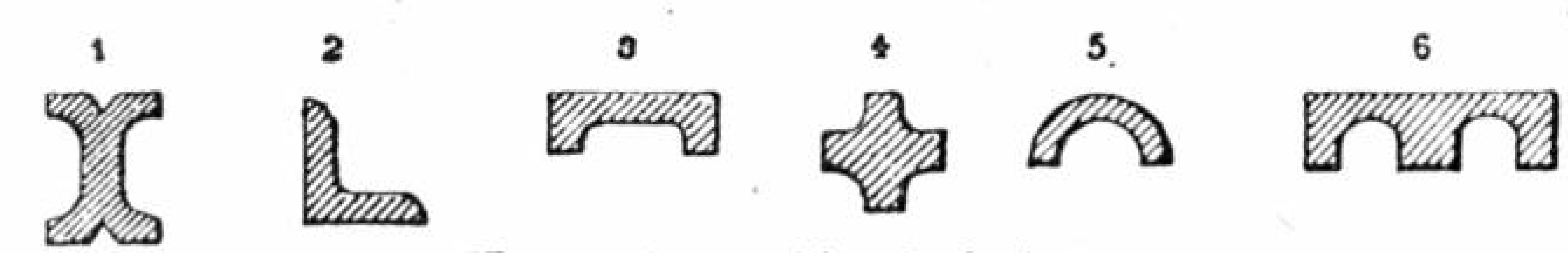
A propos des cordes de retenue, nous donnons des renseignements sur les cordes et fils d'acier.

Exemple d'une charpente. — (Charpente d'un Hargrave à deux cellules). — Les traits forts indiquent les pièces de bois (travail-



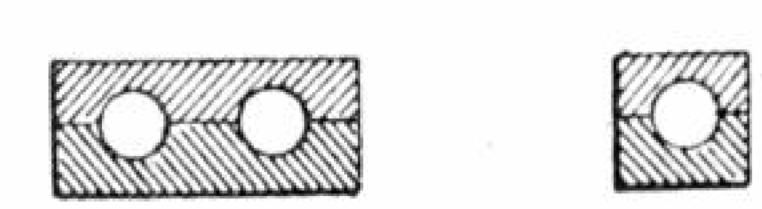
lant à la flexion). Les traits fins indiquent les haubans (travaillant à la traction).

Bois profilés. — On obtient le maximum de résistance des pièces de bois, avec le minimum de poids, en employant des bois profilés, qui se trouvent dans le commerce.



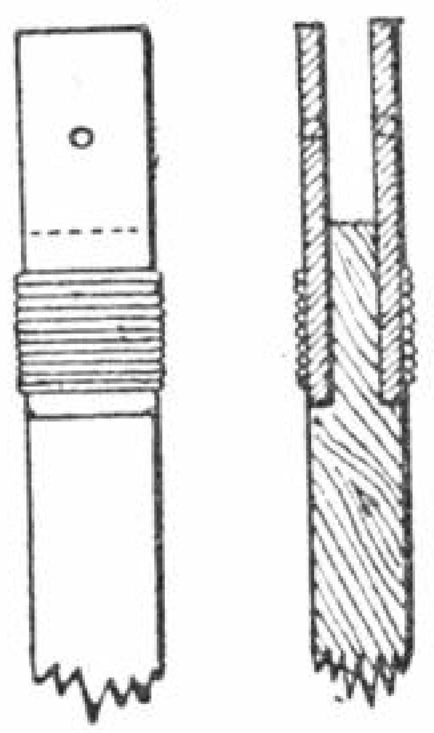
Types de profils de bois

En réunissant deux à deux certains de ces bois (tels que 2, 3, 5 et 6) qu'on assemble à la colle forte, on obtient des bois creux très légers et très résistants. Le profil 6 en particulier, qui se vend partout comme moulure de canalisation électrique, donne d'excellents résultats, soit qu'on réunisse deux moulures telles qu'on les achète, soit qu'on les scie en deux suivant le milieu de la cloison médiane, de façon à obtenir ensuite une baguette à un seul creux.



bois creux obtenus avec le profil 6

Têtes à emmanchements. — Dans les charpentes démontables, on est souvent conduit à munir les extrémités des pièces de bois de fourches qui constituent des têtes à emmanchements. Pour cela, on enlève une certaine épaisseur du bois pour y loger de petites planchettes en *bois dur* qui forment les joues de la fourche : ces planchettes, qui dépassent l'extrémité de la pièce principale, sont collées à la colle forte et ligaturées avec du fil ciré (fil de bourrelier enduit de poix).



Des trous sont percés dans les planchettes pour recevoir de petites goupilles de cuivre qui fixent en place les pièces ainsi emmanchées.

2°) **Voilure.** — La voilure du cerf-volant est la partie de l'appareil qui est destinée à recevoir la pression du vent pour obtenir l'ascension du cerf-volant.

Elle est généralement constituée par de l'étoffe; cependant, pour des cerfs-volants non démontables et destinés uniquement au sport, on peut employer le papier; dans ce cas, on le fixe sur la carcasse au moyen de bandes de papier embrassant les pièces de la charpente (bois et haubans) et collées à la colle de pâte.

Le papier japonais ou *gambie* forme une excellente voilure pour les petits appareils; de même, la *baudruche*.

En général, on emploie une étoffe quelconque.

Les meilleures étoffes sont le ponghée de soie (qui sert à confectionner les ballons), le shirting, le calicot, l'andrinople, etc.

Le tissu employé doit être régulier et sans apprêt; s'il est nécessaire de le couper à la largeur voulue, on doit ourler les bords.

Pour des cerfs-volants démontables, il est bon de placer une cordelette à l'intérieur de l'ourlet : c'est sur cette cordelette, et non sur la voilure, que s'exerceront les efforts de traction lorsque l'on mettra la voilure en place sur la charpente.

Aux points de jonction avec les pièces de la charpente, la

voilure doit être renforcée et munie de goussets où s'engagent les extrémités des pièces de bois de la carcasse.

Partout où la voilure doit être trouée (pour le passage d'une partie de la charpente, pour le passage de la bride, etc.) le trou doit être délimité par un point de boutonnière, afin d'éviter la déchirure de l'étoffe.

Queue des cerfs-volants monoplans. — Généralement, les cerfs-volants monoplans ne volent bien que munis d'une queue, qui fait, en quelque sorte, partie de la voilure.

La queue se compose d'une longue corde ayant au moins 8 ou 10 fois la longueur du cerf-volant, et munie de 10 en 10 centimètres à peu près d'un bout de papier ou d'étoffe.

La longueur de la queue dépend de la force du vent : plus le vent est fort, plus la queue doit être longue; il est donc avantageux de la faire en plusieurs tronçons que l'on ajoute les uns au bout des autres suivant le vent.

Voici, à titre d'exemple, comment est constituée une queue de cerf-volant hexagonal de $0^{m}80$ de long.

1r tronçon	long. 6 m.	poids 95 gr.	pour	vent faible.
1r et 2e tronçon	„ 7 m.	„ 115 gr.	„	vent moyen.
1r, 2e et 3e tronçon	„ 8 m.	„ 137 gr.	„	vent assez fort.
1r, 2e, 3e et 4e tronçon	„ 9 m.	„ 165 gr.	„	vent très fort.

(F. Pottier, ingénieur E. C. P.)

3°) **Bride.** — La bride sert à fixer la corde de retenue sur le cerf-volant; elle reporte en avant du cerf-volant le point d'appication de la traction de la ficelle.

Elle est constituée par des cordelettes partant de différents points de la charpente du cerf-volant judicieusement choisis autour du centre d'effort, et se réunissant en un point unique, qui est le *sommet de la bride*, point où s'attache la corde de retenue.

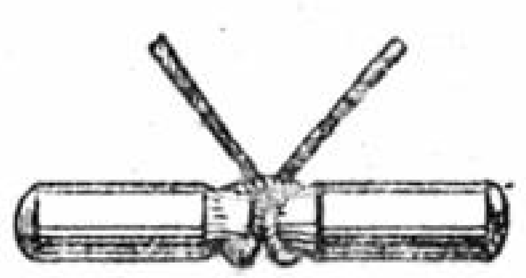
En choisissant convenablement les points d'attache de la bride sur la charpente, on répartit dans de bonnes conditions sur les parties les plus robustes les efforts de la tension du câble.

En principe, pour assurer l'équilibre latéral du cerf-volant, la bride devrait avoir au moins trois brins; cependant, si l'appareil est bien construit, deux brins suffiront, et ils devront aboutir en deux points de la pièce de la charpente formant l'épine dorsale du cerf-volant.

Il est toujours plus avantageux d'avoir une bride longue, qu'une bride trop courte; cependant dans les cerfs-volants dièdres et les cerfs-volants cellulaires volant sur un angle (type Potter) on peut fixer directement la corde de retenue sur la pièce antérieure de la charpente.

La bride est terminee, en son sommet, par une boucle ou *estrope*, dans laquelle se loge le *gabillot* fixé à l'extrémité de la corde de retenue.

On peut, au contraire terminer la corde de retenue par une boucle et fixer le gabillot au sommet de la bride; cette dernière disposition présente l'avantage, par la facilité de déplacer le gabillot, de modifier rapidement les longueurs respectives des brins de la bride. Il suffit, pour cela, de fixer le gabillot au sommet de la bride, au moyen d'un nœud coulant comme celui indiqué sur la figure.

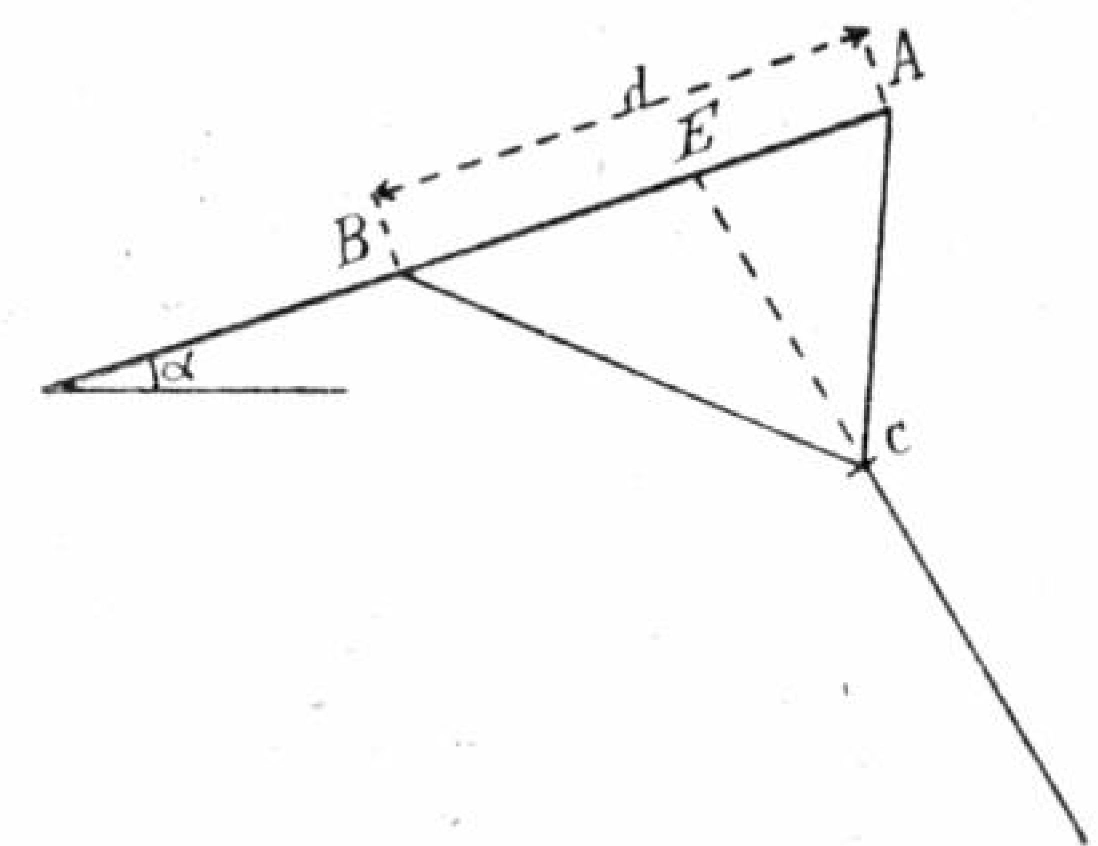


Procédé empirique pour brider un cerf-volant. — Un cerf-volant peut être bridé d'une infinité de manières. Voici un procédé tout empirique, qui conduit à de bons résultats. On choisit tout d'abord les points d'attache de façon à répartir judicieusement sur la charpente les efforts de traction, un des points d'attache au moins étant proche du bord d'attaque, et un second point d'attache étant au dessous du centre de figure, soit A et B.

On fixe en ces points les extrémités de la bride dont la longueur totale (somme des longueurs des deux brins) est choisie

arbitrairement, en se rappelant que mieux vaut une bride longue qu'une bride trop courte : on prendra par exemple pour longueur totale une fois et demie la distance *d* des deux points d'attache.

Ceci fait, on présente le cerf-volant dans la position de vol que l'on se propose de réaliser, par exemple sous un angle de plane-



ment α voisin de 15°, et l'on tend la bride avec le doigt, de façon à amener le sommet C en un point tel que la direction supposée de la traction de la corde de retenue vienne en un point E compris entre A et B, à une distance du bord d'attaque que l'on aura déterminée approximativement par la construction du *triangle des forces* (voir : aérodynamique). On fait une boucle en ce point C et on y fixe un gabillot.

On essaye le lancement dans ces conditions; si l'angle obtenu n'est pas satisfaisant, on modifie légèrement la position de C en déplaçant le gabillot soit vers A, soit vers B.

On se rappellera, en opérant ainsi, que *si l'on allonge le brin arrière, c'est-à-dire si l'on rapproche* C *de* A, *on tend à coucher le cerf-volant davantage; si, au contraire, on raccourcit le brin arrière, en rapprochant* C *de* B, *on tend à redresser le cerf-volant.*

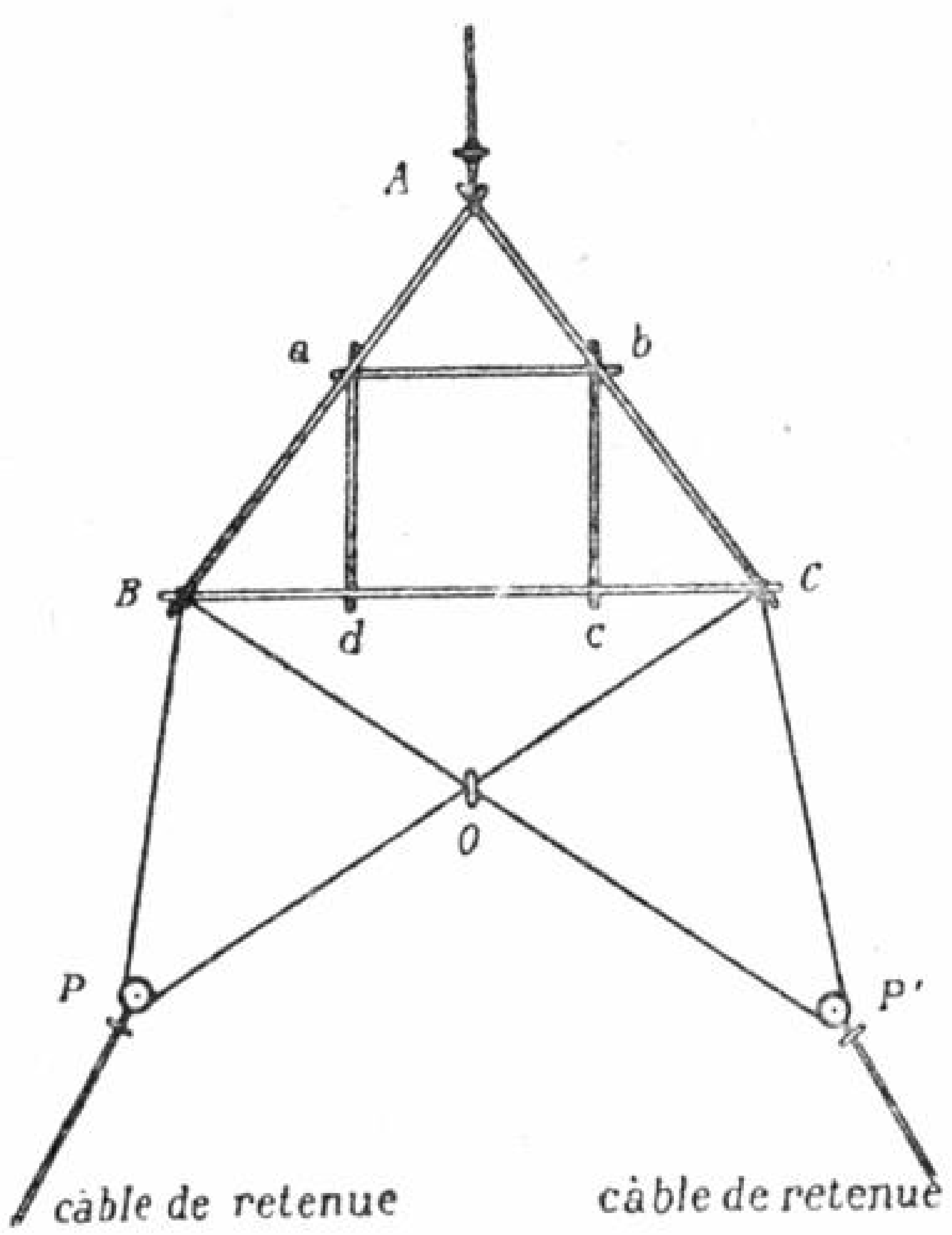
On se rappellera également que *si la bride reste fixe, plus le vent est fort, plus l'angle de planement sera faible; autrement dit, pour obtenir le même angle de planement, plus le vent est fort, plus il faut rapprocher le sommet* C *du point d'attache inférieur* B.

On arrive avec un peu d'habitude, à trouver assez rapidement, par tâtonnements, la position convenable du point C correspondant au vent règnant.

4°) **Câbles de retenue.** — Les câbles de retenue sont constitués, suivant les dimensions des cerfs-volants, par des ficelles, cordes, câbles ou fils d'acier.

Lorsqu'on emploie des fils d'acier ou des câbles rendus conducteurs électriques au moyen d'un fil métallique tressé avec le câble, il faut prendre des précautions spéciales pour éviter les coups de foudre. La partie métallique du câble doit être reliée électriquement avec la terre, de préférence avec une nappe d'eau, comme pour les terres de paratonnerre.

Le câble de retenue est terminé par un gabillot qui sert à le fixer à la bride, ou, si celle-ci porte elle-même un gabillot, le câble de retenue est terminé par une boucle ou estrope. Si l'on doit faire glisser des postillons sur le câble, celui-ci ne doit avoir aucun nœud sur toute sa longueur.



Retenue par deux câbles. — Lorsque l'on veut éviter des dépla

cements latéraux d'un point du câble de retenue, — par exemple pour la photographie aérienne, — il y a avantage à se servir d'un double câble de retenue, et l'on fait usage du *palonnier triangulaire de Lecornu et Magron*, qui se compose d'un triangle en bambous ABC, renforcé en son milieu par un cadre en bambous *abcd* à l'intérieur duquel on peut placer l'appareil photographique. Des sommets B et C partent deux pattes d'oie BPC et BP'C passant sur deux poulies P et P', dont les axes sont fixés aux extrémités des deux cordes de retenue. En A se fixe le câble unique de retenue, de courte longueur, reliant le palonnier au cerf-volant ou au train de cerfs-volants.

En O est un anneau, à l'intérieur duquel passent les brins BP' et CP des pattes d'oie.

Charges de rupture. — On appelle *charge de rupture* la charge ou la traction qui provoque la rupture du câble.

Nature des cordages	Charge de rupture			
	fil pesant 1 gr. le mètre courant.	cordelette pesant 5 gr. le m. courant	cordeau pesant 20 gr. le m. courant	corde pesant 100 gr. le m. courant.
Soie	35 k.	"	"	"
Acier	25	125 k	250 k.	2.200 k.
Chanvre 1[re] qualité.	28	125	185	1.450
Chanvre 2[e] qualité.	15	60	120	1.000
Ramie	23	105	180	"
Coton	11	54	90	800

Remarques. — Seul le prix élevé de la soie en prescrit l'usage.

Jusqu'à 5 gr. le mètre courant, l'avantage est au *chanvre de 1[re] qualité*

Au delà de 5 gr. le mètre courant, l'avantage est à l'acier.

Au point de vue de la *souplesse*, les cordages à *âme* sont plus souples que les cordages ordinaires ; les câbles d'acier à 6 torons avec âme en chanvre ont une souplesse suffisante, mais, à résistance égale, ils sont un peu plus lourds que les câbles à 3 ou 4 torons non munis d'âme.

Au point de vue de *l'inaltérabilité*, la soie et le coton sont les meilleurs.

Pour le chanvre, il faut y suppléer par le *goudronnage* ou le *suiffage*, ou mieux, le *caoutchoutage* : ces opérations augmentent le poids du câble.

Pour les câbles d'acier, ils doivent être soigneusement *galvanisés*, puis légèrement graissés à l'huile de lin.

Les câbles de chanvre doivent toujours être séchés, entièrement allongés, avant d'être enroulés ; ils se conservent dans un local frais, non humide. (Cap^e J.-Th. Saconney.)

Coefficient de sécurité. — On appelle ainsi le coefficient par lequel on doit multiplier la charge imposée au câble avant d'atteindre la charge de rupture : ainsi un câble devant porter 25 kilos avec un coefficient de sécurité de 6 devra être choisi de façon à admettre comme charge de rupture $25 \times 6 = 150$ k^os.

Utilisation du cordage.	Coefficient de sécurité.
1) Agrès portant une nacelle pour aviateur	10
2) Agrès susceptible d'usure par frottement	6
3) Agrès ordinaire (haubans, etc.)	3

Cordages en chanvre.

Poids par mètre courant		Diam. en m/m	Charge de rupture en klg. 1^e qualité	2^e qualité
ficelles	1 gr. 25	m/m 1,2	37 k. 5	18 k. 7
	2 gr.	1,5	56	30
	3 gr. 2	1,9	90	48
	5 gr.	2,4	125	60
cordeaux	8	3	200	96
	12,5	3,8	231	137
	20	4,8	370	220
	32	6	544	352
	50	7,6	850	550
	80	9,5	1200	880
cordes	125	12	1810	1250
	300	15	2700	2000
	820	20	3900	3200

Câbles d'acier. (Série de la Corderie centrale de Paris.) Établie d'après les données du Cap^e J.-Th. Saconney et étudiée pour les cerfs-volants.

Poids par mètre courant.	Diamètre en m/m	Charge de rupture.	Nombre de fils.	Prix des 1000 m.
15 gr.	2 m/m	225 k.	42	150 fr.
20	2,5	300	42	200
30	3	600	49	350
50	3,5	1000	72	400
60	4	1300	114	450
80	4,5	1600	114	500
85	5	2000	114	550
160	6	2500	114	700
200	7	3500	114	850

Câbles d'acier.

poids par mètre courant.	Diamètre en millimètre	Résistance à la rupture en klg	NOMBRE de torons	de fils par toron	de fils en tout	âme
gr.	m/m	klgr.				
5,8	1 3	145	3	7	21	»
7	1,4	175	3	7	21	»
8,4	1,55	200	3	7	21	»
9,8	1,65	225	3	7	21	»
11,2	1,7	265	4	7	28	»
13,1	1,85	295	4	7	28	»
15 2	2	350	6	7	42	chanvre.
19,5	2,3	430	6	7	42	chanvre.
22,8	2,5	480	6	7	42	chanvre.
28,2	2 75	595	6	7	42	chanvre.
34	3	720	6	7	42	chanvre.
40	3.3	855	6	7	42	chanvre.
42	3.5	885	6	7	42	chanvre.
48,5	3.75	1,015	6	12	72	chanvre.
55	4	1,115	6	12	72	chanvre.
62	4,25	1,305	6	12	72	chanvre.
69,5	4,5	1,465	6	12	72	chanvre.
76,5	4,6	1,610	6	19	114	chanvre.
87	4,9	1,830	6	19	114	chanvre.
98,5	5,2	2,070	6	19	114	chanvre.
110,5	5,5	2,320	6	19	114	chanvre.
123	5,8	2,580	6	19	114	chanvre.
129	6	2,710	6	30	180	chanvre
155	6,5	3,270	6	30	180	chanvre.
174	7	3,660	6	30	180	chanvre.
204	7,5	4,300	6	30	180	chanvre.
237	8	5,000	6	30	180	chanvre.

Remarques. — Le métal employé doit présenter une résistance à la rupture d'environ 230 kgr. au millimètre carré.

Le câble doit être parfaitement galvanisé et ne présenter aucune discontinuité d'une extrémité à l'autre : tout câble présentant un raccord, une épissure, etc. *ne présente plus aucune sécurité*

Coefficient de sécurité : Le coefficient à adopter est de 6 et, *en aucun cas*, il ne doit être inférieur à 3.

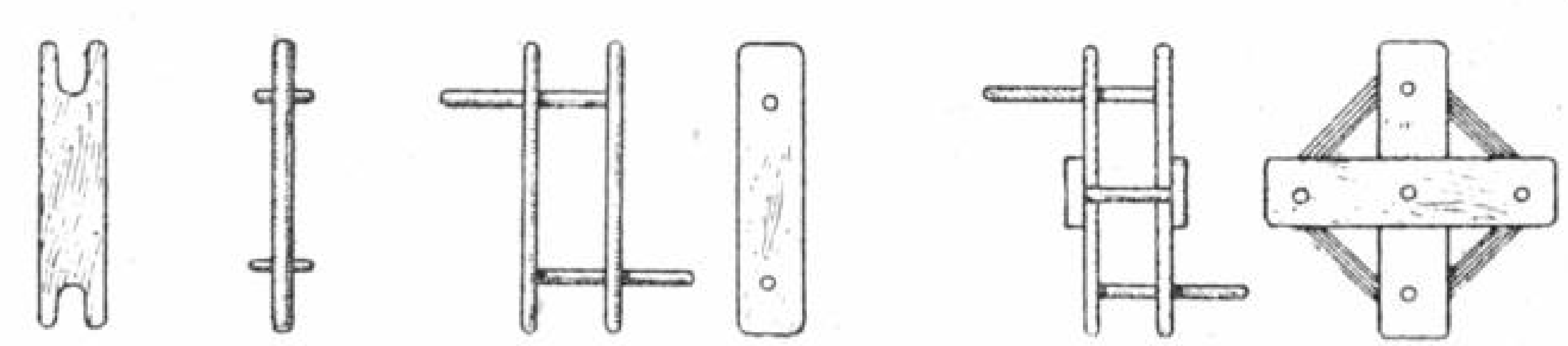
Pratiquement, il ne faut pas descendre au dessous de 1600 k^os de résistance pour les câbles destinés aux ascensions en cerf-volant.

Il faut toujours, dans la manœuvre d'un câble d'acier, éviter les *boucles* qui amèneraient le pliement du câble : *un câble plié n'a plus de résistance.*

Pour l'enrouler sur le tambour du treuil, le câble doit être toujours tendu par son extrémité libre. (Cap^e J.-Th. Saconney).

5°) **Treuils ou dévidoirs.** — Les treuils et dévidoirs servent à emmagasiner les cordes de retenue.

Pour les applications simplement sportives, ils sont constitués de la façon la plus élémentaire : une planchette évidée aux extrémités (1) ; un bâton muni d'ergots (2) ; deux planchettes



parallèles munies de poignées (3) ; ou encore quatre planchettes disposées en croix deux à deux, avec poignées (4) ; etc.

Pour les applications nécessitant des tractions considérables, ou demandant de très grandes longueurs de câble, on fait usage de treuils mécaniques comportant des tambours, des engrenages, des freins, etc., et actionnés soit à la main, à l'aide de manivelles, soit au moyen de moteurs.

Postillons. — Les *postillons* sont des appareils qui, sous l'action du vent, s'élèvent en glissant le long de la corde de retenue; ils complètent donc le matériel des cerfs-volants, et leurs applications sont nombreuses.

En principe, les postillons permettent d'obtenir un système de va et vient le long de la corde de retenue, et on les emploie notamment :

pour les ascensions en cerfs-volants : — le postillon, remorqué par un cerf-volant auxiliaire ou un train secondaire de cerfs-volants, enlève l'observateur assis dans une nacelle suspendue à un chariot ou trolley roulant sur la corde principale de retenue tendue par le train principal;

pour la photographie aérienne : — le postillon emporte l'appareil photographique jusqu'à la hauteur où le cliché doit être pris, et le ramène ensuite à terre;

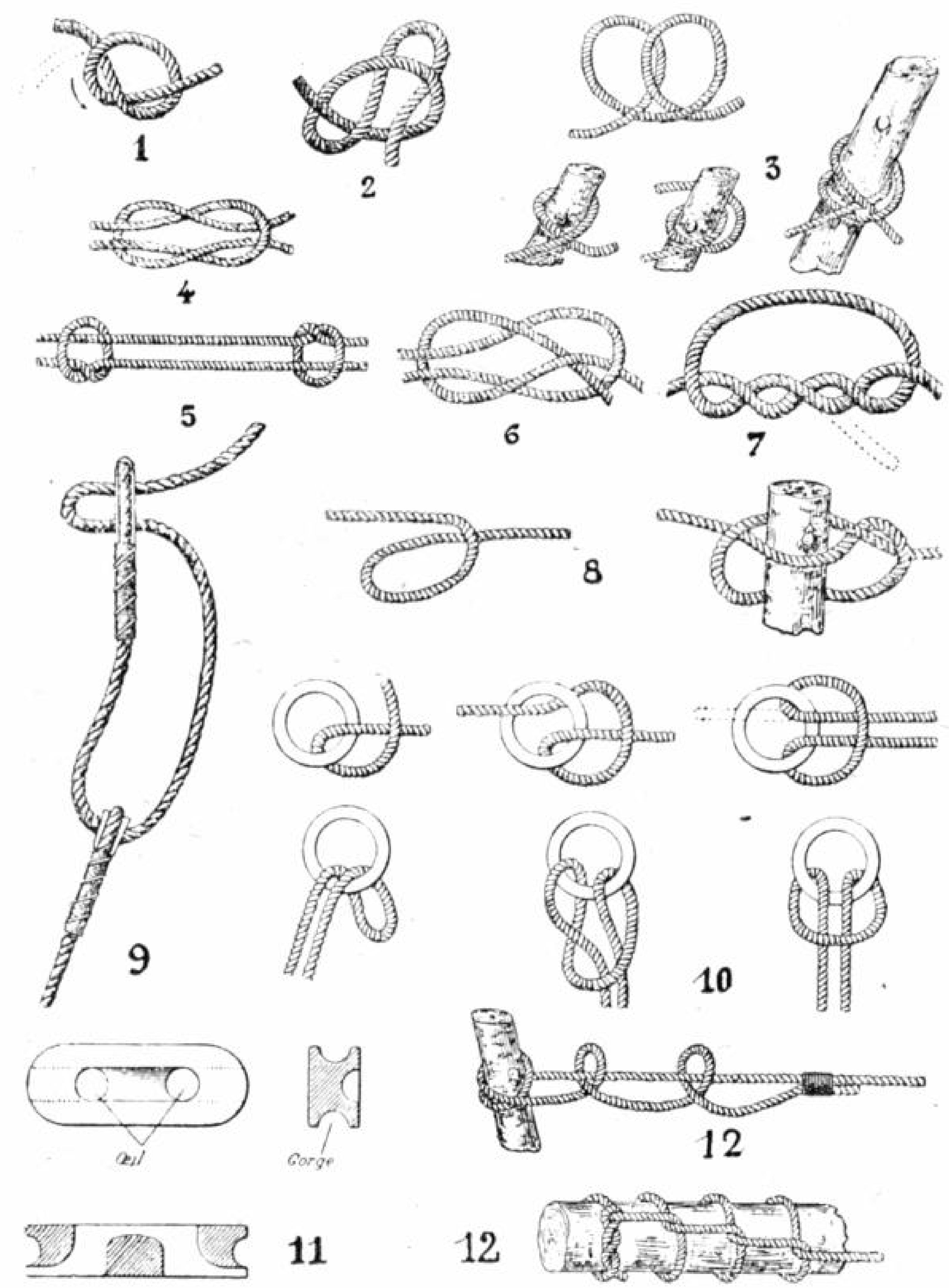
pour la publicité aérienne : — le postillon emporte les prospectus à distribuer qui sont abandonnés automatiquement à une certaine hauteur; le postillon revient ensuite à terre pour être rechargé d'une nouvelle provision de prospectus;

pour les illuminations aériennes : — le postillon fait courir le long de la corde des lanternes allumées, etc., etc.

Les postillons sont simples ou automatiques, ces derniers les plus employés.

Les postillons simples consistent en un anneau ou un petit tube glissant sur la corde de retenue, et sur lequel est fixée une voilure quelconque recevant la pression du vent qui assure l'ascension du postillon. Un butoir attaché sur la corde de retenue à quelque distance du cerf-volant arrête le postillon avant qu'il ne le rencontre.

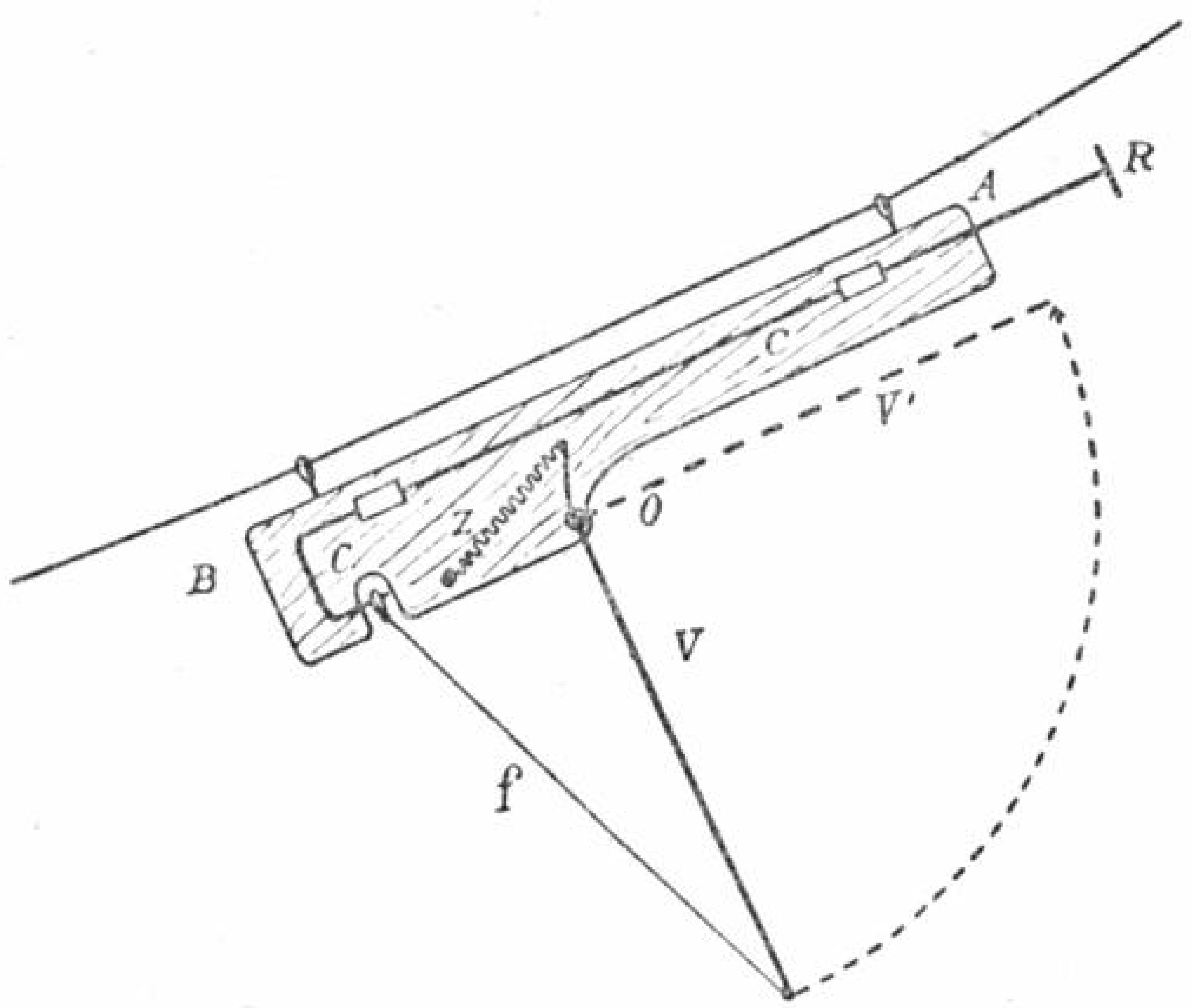
Les postillons automatiques ont ceci de particulier qu'après



1. Nœud simple. — 2. Nœud simple gansé. — 3. Nœud de batelier. — 4. Nœud droit. — 5. Joint anglais. — 6. Nœud de tisserand. — 7. Nœud double. — 8. Nœud de galère. — 9. Usage d'une cosse de réglage. — 10. Amarrage en tête d'alouette. — 11. Cosse de réglage et sa coupe. — 12. Amarrages par demi-clefs.

avoir accompli leur ascension, leur voilure se replie et ils redescendent jusqu'à terre.

Il en existe un grand nombre, basés tous sur le même principe : une légère armature AB peut glisser sur la corde, poussée



qu'elle est par le vent qui presse une voilure V : celle-ci est maintenue normale au vent par une ficelle *f* dont l'extrémité porte un anneau *a*, retenu par un crochet *cc* terminé par une rondelle R.

Lorsque le postillon arrive en haut de la corde, il rencontre un butoir fixé sur celle-ci, contre lequel frappe la rondelle R ; le crochet recule, dégage l'anneau *a*, et la voilure, rappelée par le ressort *z*, pivote autour de l'axe *o* et se couche suivant V'. Le postillon n'étant plus soutenu, redescend jusqu'à terre.

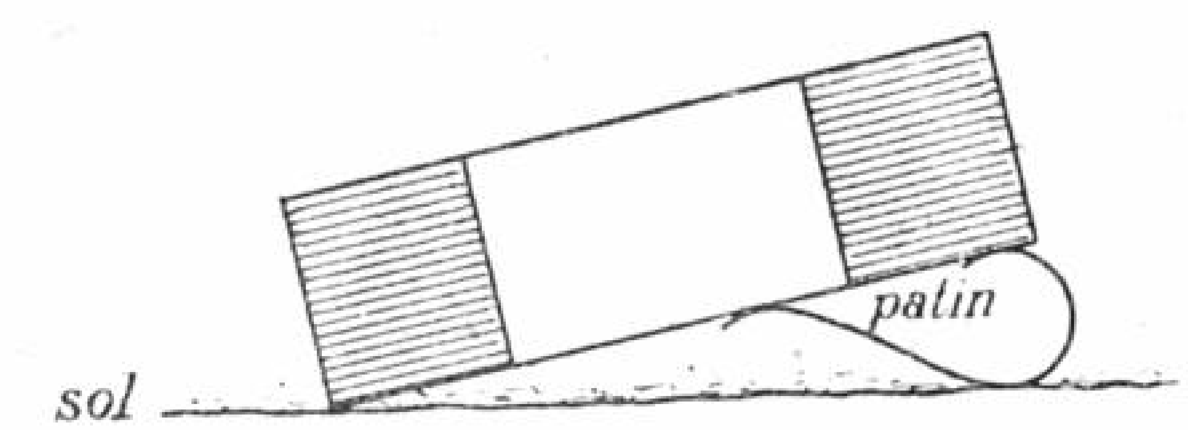
Lancement.

Le lancement d'un cerf-volant se fait généralement à deux personnes : l'une tient le câble de retenue, l'autre le cerf-volant. Après avoir déroulé une vingtaine de mètres de corde (une plus

grande longueur est nécessaire si le terrain se trouve abrité du vent ou si le vent à terre est insignifiant). Celui qui tient le câble fait signe à l'autre qu'il est prêt : celui-ci présente alors le cerf-volant au vent, incliné dans sa position de vol et le lève en l'air. Le premier tend la corde de retenue, fait signe de lâcher le cerf-volant, et l'appareil monte en l'air.

Si on est seul pour faire le lancement, il faut fixer le câble de retenue au sol et présenter soi-même le cerf-volant au vent.

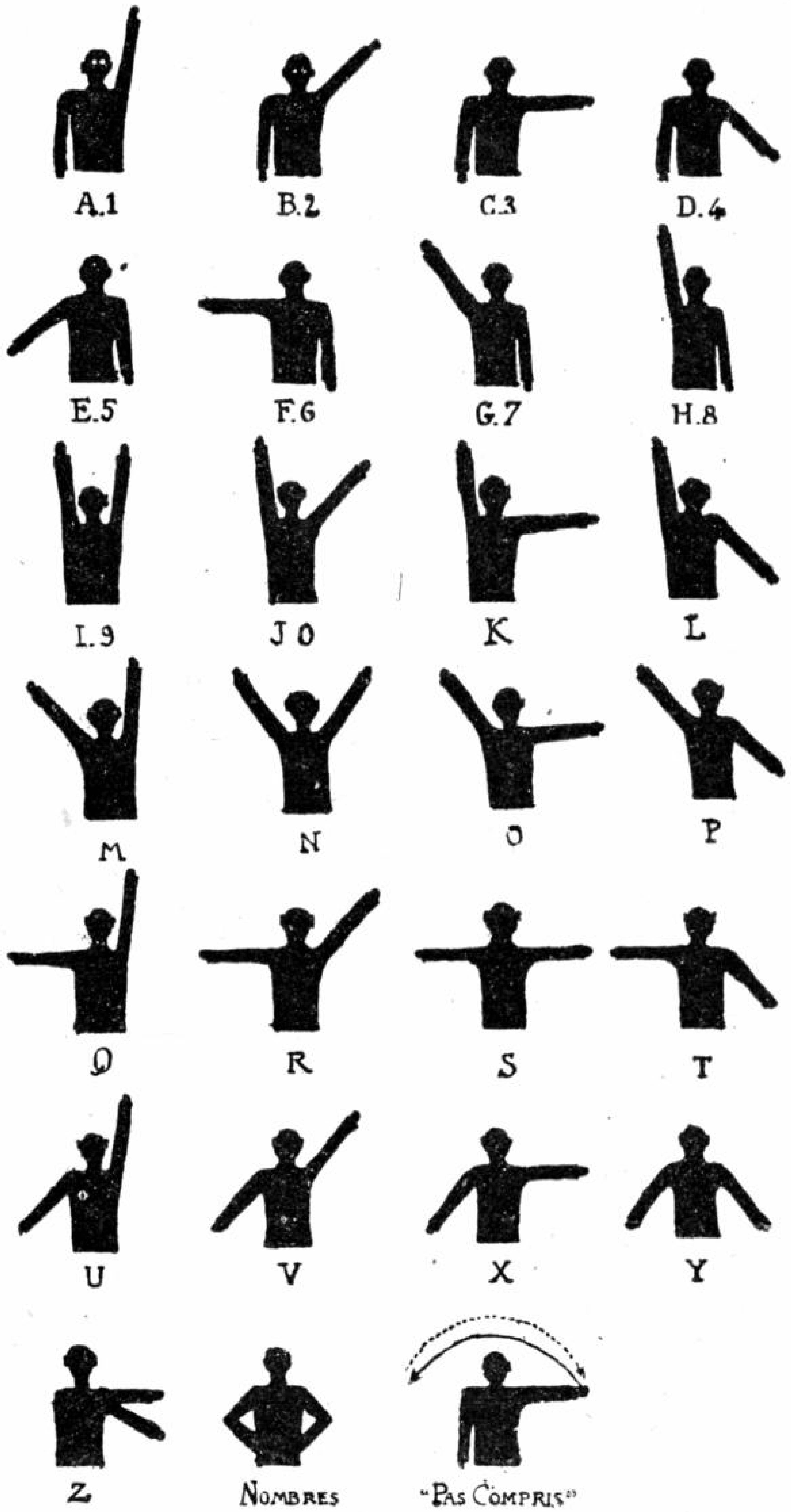
Patins de lancement. — Lorsque le cerf-volant est assez grand pour qu'une légère augmentation de poids n'amoindrisse pas ses qualités d'ascension, il est avantageux de le munir de patins de



lancement : ceux-ci se composent d'un simple jonc recourbé, fixé sur la charpente au moyen d'une ligature ou de colliers de serrage.

Les patins donnent une certaine incidence au cerf-volant abattu, et une simple traction sur la corde de retenue suffit alors pour le faire partir sans aide. (M. André Frachet).

Signaux. — Lorsque l'on est plusieurs à opérer les manœuvres des cerfs-volants, il est nécessaire, en raison des distances où se trouvent les cerfs-volistes les uns des autres, d'employer un code de signaux. A titre d'exemple, voici le tableau des signaux alphabétiques employés dans la marine.



APPLICATIONS DES CERFS-VOLANTS

1° **Applications scientifiques.** — *Météorologie.* — Les observatoires météorologiques emploient les cerfs-volants à enlever dans les hautes régions de l'atmosphère des appareils enregistreurs dits *météorographes* (baromètres, thermomètres, psychromètres, etc.) Les sondages aériens sont ainsi exécutés par les observatoires de Trappes, de Clermont-Ferrand, de Blue-Hill, de Koutchino, de Tegel, de Lindenberg, etc.

Physique. — Les cerfs-volants sont employés pour élever dans l'atmosphère des conducteurs électriques constitués par la corde de retenue elle-même, qui est alors métallique, ou doublée d'un fil métallique. Ils servent alors à l'étude de l'électricité atmosphérique (expériences de Romas et de Franklin).

Les cerfs-volants paragrêles ont pour but de décharger les nuages orageux et d'empêcher la formation de la grêle.

2° **Applications industrielles.** — *Télégraphie sans fil.* — Les cerfs-volants permettent l'installation rapide d'un poste de télégraphie sans fil. L'antenne est alors constituée par le câble de retenue.

Photographie aérienne. — Les cerfs-volants enlèvent dans les airs des appareils photographiques à déclanchement de l'obturateur automatique, qui prennent des vues du terrain en perspective cavalière (A. Batut et E. Wenz).

La photographie aérienne a été appliquée avec succès à la topo-photographie dans des régions inaccessibles.

3° **Applications commerciales.** - *Publicité aérienne.*

— Les cerfs-volants sont utilisés pour cette application en leur faisant enlever dans les airs des banderoles portant des réclames et des annonces commerciales.

Au moyen de postillons automatiques, les cerfs-volants permettent encore de projeter à grande hauteur des prospectus que le vent éparpille en l'air et entraîne à des distances considérables.

4° **Applications militaires.** — *Ascensions en cerfs-volants.* — Les trains de cerfs-volants permettent d'enlever un observateur dans les airs et remplacent efficacement les ballons captifs lorsque la violence du vent rend ceux ci inutilisables. (Expériences de Maillot, de Wyse, de Baden-Powell, du lieutenant Schreiber, du capitaine Cody, du capitaine Madiot, du capitaine Saconney.)

A bord des navires de guerre, les ascensions en cerfs-volants sont rendues particulièrement pratiques par suite du vent relatif que crée la vitesse du navire.

Signaux militaires. — Les cerfs-volants sont employés à élever à grande hauteur des étendards ou tous autres signaux visibles de loin, dans le but de transmettre, par un langage conventionnel, des ordres tels que commencement ou fin de manœuvre, marcher en avant, battre en retraite, etc.

Tirs sur buts aériens. — Les cerfs-volants figurent des silhouettes de ballons dirigeables, aéroplanes, etc., sur lesquels s'exécutent des exercices de tir.

5° **Applications maritimes.** — *Cerfs-volants de sauvetage.* — Au moyen de cerfs-volants on établit un va-et-vient entre un navire naufragé et la côte voisine L'adjonction au cerf-volant d'un déviateur (système Hervé) rend le cerf-volant de sauvetage applicable quelle que soit la direction du vent.

Remorquage d'embarcations. — Les cerfs volants sont employés comme tracteurs de petites embarcations.

6° **Applications sportives.** — *Concours de cerfs-volants.* — Les concours de cerfs-volants sont régis par des règlements très variés, mais visant principalement le meilleur angle de la corde pour une longueur déterminée, la plus grande stabilité dans l'air, la facilité d'ascension, le plus grand poids soulevé, etc.

Cerfs-volants de sport. — Les cerfs volants, au point de vue hygiénique, constituent le meilleur exercice de plein air ; ils mettent en jeu tous les muscles du corps. Leurs dimensions doivent être proportionnées aux forces de celui qui s'en sert.

Feux d'artifice aériens. — Pendant la nuit, les cerfs-volants servent à élever dans les airs, soit directement, soit au moyen de postillons, des lanternes, des bombes, des pièces d'artifice, etc.

Chasse — Les cerfs-volants employés pour la chasse affectent la forme d'oiseaux de proie ; ils effrayent le gibier et servent de rabatteurs ; ils ne doivent pas être élevés à trop grande hauteur.

Pêche. — Pour la pêche, les cerfs-volants permettent de tendre au-dessus de la mer un câble servant de support à un va-et-vient portant des lignes à une certaine distance des côtes

Trains de cerfs-volants. — Pour les applications demandant une traction considérable sur le câble de retenue (enlèvement d'un observateur, par exemple), il est avantageux de réunir un certain nombre de cerfs-volants sur le même câble de retenue ; l'ensemble des cerfs-volants ainsi attelés sur le même câble s'appelle un *train de cerfs volants.*

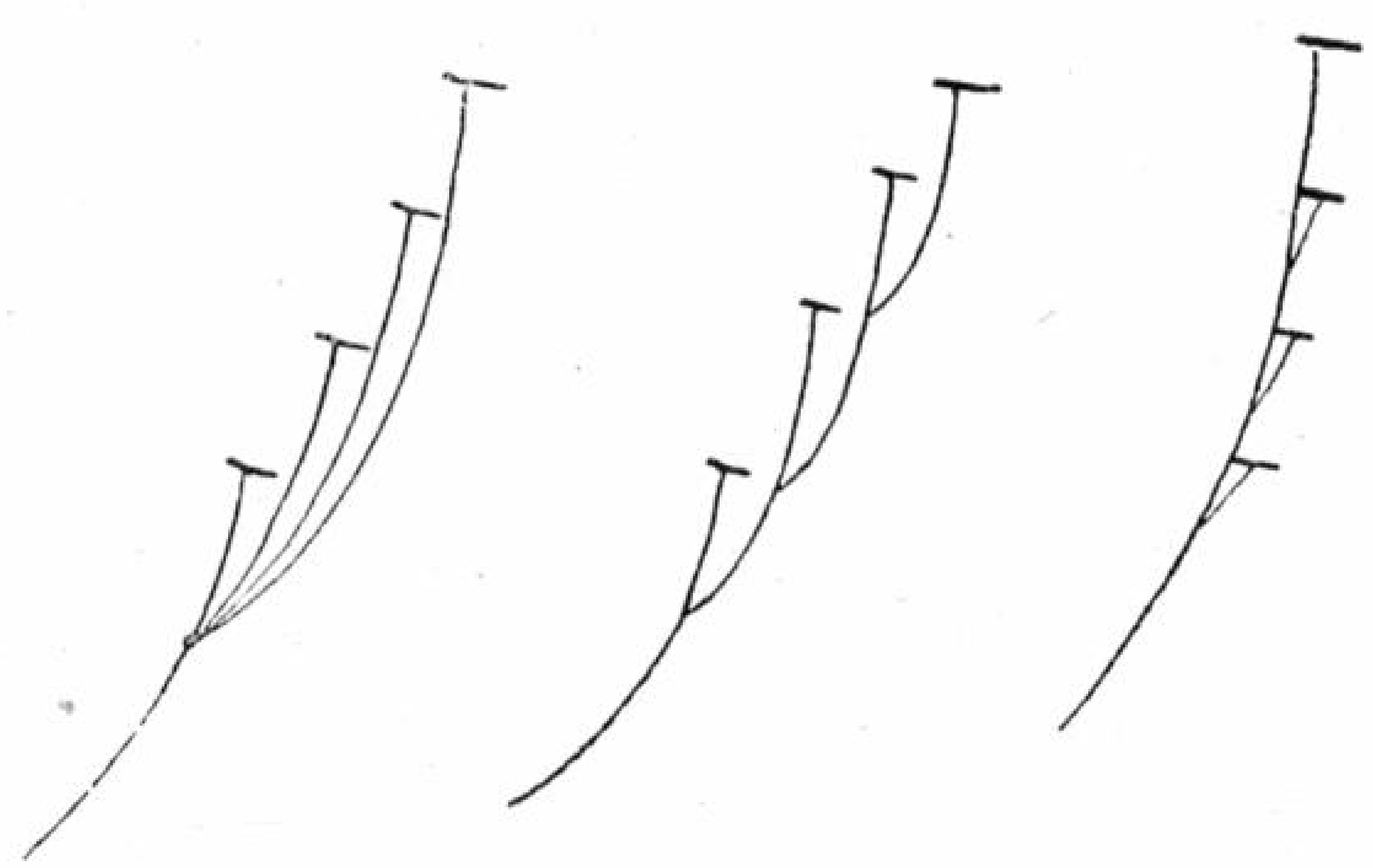
Il y a différentes manières de former un train de cerfs-volants.

1° Les cerfs-volants sont bridés séparément sur les cordes de retenue de longueurs différentes, puis les extrémités de toutes ces cordes sont fixées au bout du même câble principal de retenue (fig 1).

Inconvénient : Les cerfs-volants tendent à se placer tous dans le même plan vertical, qui est celui de la direction du vent, et ils viennent alors buter les uns dans les cordes des autres, ce qui entraîne des ruptures d'équilibre et peut occasionner la chute de tout le système.

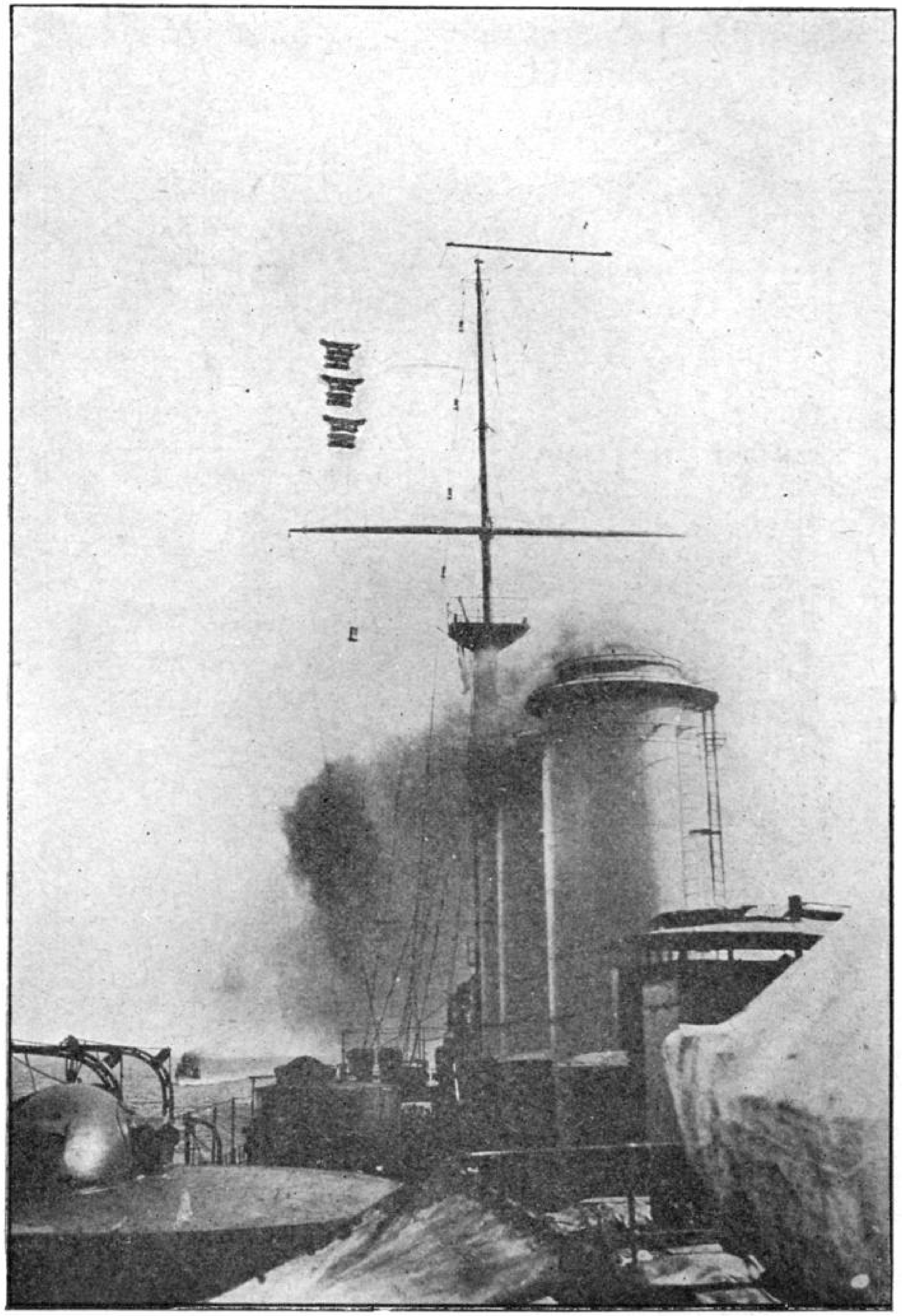
2° Les cerfs-volants sont lancés isolément avec des cordes de retenue égales, dont les extrémités inférieures sont fixées séparément en divers points d'un câble principal de retenue (fig. 2).

Inconvénient : Pour éviter que les cerfs-volants successifs ne viennent buter dans le câble principal de

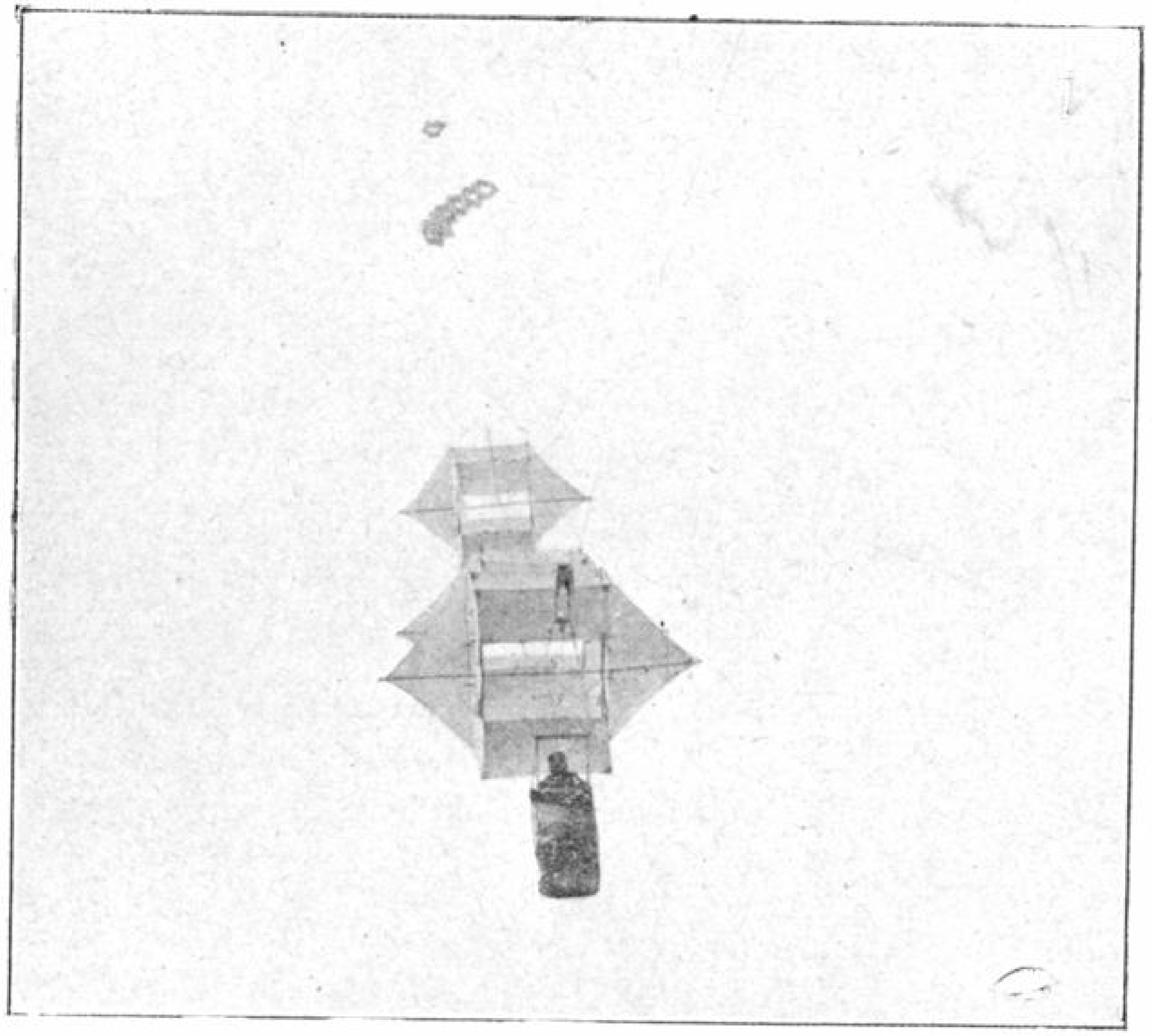


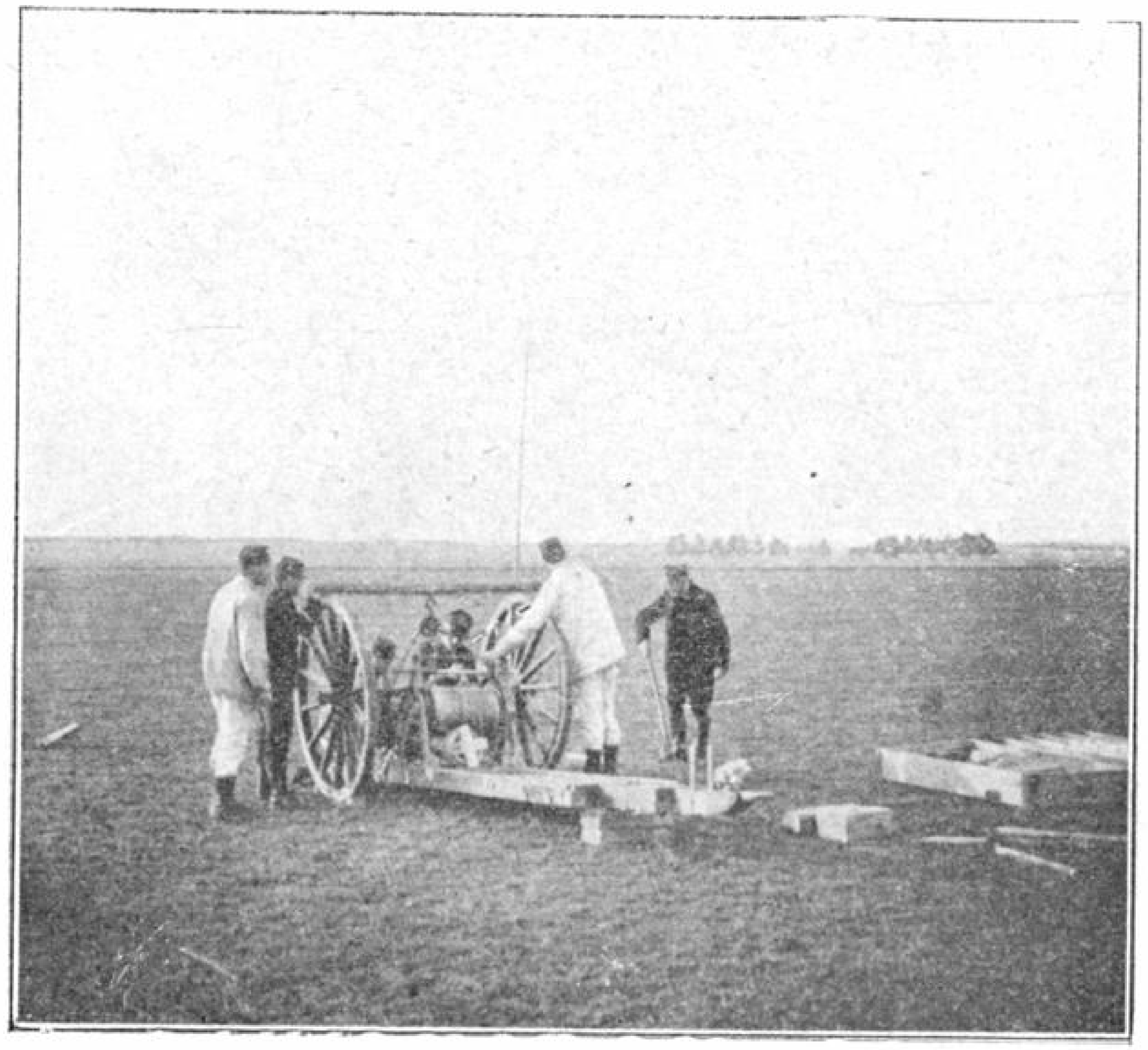
retenue, il faut que celui-ci présente une courbure prononcée ; donc, mauvais rendement du système.

3° Un premier cerf-volant, dit *cerf-volant pilote*, est lancé tout d'abord et fixé au câble principal ; puis, sur ce câble on fixe une série de cerfs-volants constituant l'*attelage*, soit en les faisant traverser par le câble principal (système russe), soit en les saisissant par la cellule antérieure (systèmes anglais et français) (fig. 3).



Lancement d'un train de cerfs-volants Saconney à bord de l'*Edgar Quinet*





Inconvénient : L'équilibre de tout le train repose sur le cerf-volant pilote ; celui-ci doit donc être étudié et construit avec un soin tout particulier. Par contre, ce système présente l'avantage de donner le rendement maximum.

Remarque. — Pour que le système soit stable, il est essentiel que les cerfs-volants d'attelage n'aient aucune tendance à venir s'appuyer sur le câble qui passe devant eux.

(Cap^{e} J.-Th. Saconney.)

ASCENSIONS PAR CERFS-VOLANTS

Différents systèmes sont employés pour la nacelle :

1° La nacelle est fixée en un point fixe du câble de retenue.

2° La nacelle est suspendue à un câble secondaire indépendant du câble principal et passant sur une poulie fixée en un point de ce dernier câble.

3° La nacelle est suspendue à un chariot ou trolley à galets, roulant sur le câble principal, et tiré par un second train de cerfs-volants, dit *train remorqueur*, le train principal étant appelé *train porteur*.

C'est ce dernier système qui est le plus employé et qui offre le maximum de sécurité (Saconney, Madiot, etc).

Le train porteur comprend généralement 3 à 8 cerfs-volants de 10 mètres carrés, ou 6 à 15 cerfs-volants de $2^{mq}50$ chacun, le nombre variant suivant la force du vent.

Le train remorqueur ne comprend que 2 ou 3 cerfs-volants du même type.

Cerfs-volants. — Les cerfs-volants employés sont presque toujours des cellulaires à ailerons (types Saconney, Madiot, Cody, etc.), c'est-à-dire constitués par un corps de Hargrave munis d'ailes et ailerons latéraux.

La rigidité doit être absolue et est assurée par des tendeurs et des croisillons. Tous ces appareils doivent être calculés avec un coefficient de résistance en rapport avec les plus grands vents auxquels ils sont exposés.

Pour la facilité de la manœuvre, ils doivent être démontables.

(*Nota :* Voir, pour ce qui concerne les cordes de retenue, les renseignements donnés ci dessus, pages 44 à 49; voir également les articles concernant les trains de cerfs-volants, les efforts de traction et de soutènement, etc., pages 57 et suivantes.)

Treuils. — Les cordes de retenue des trains, tant porteur que remorqueur, doivent être manœuvrées au moyen de treuils mécaniques robustes et assez solidement fixés au sol pour ne pas avoir à craindre un dérapage, même en cas de brusque coup de vent.

Nacelle. — L'observateur doit être placé dans une légère nacelle en osier assez souple pour amortir un choc à l'atterrissage ; il n'est pas prudent d'ascensionner sur un siège d'escarpolette ou dans un simple sac de toile à voile, car, à la descente, il peut toujours se produire un contact brutal avec le sol.

Trolley. — La nacelle est suspendue à un trolley muni de galets à gorge roulant sur le câble principal du train porteur. Le câble du train remorqueur est fixé à ce trolley, qui est lui-même rattaché, d'autre part, par un câble au second treuil au moyen duquel on commande les déplacements de la nacelle.

Lancement et manœuvre. — On lance tout d'abord un cerf-volant de tête, dit *cerf-volant pilote*, rattaché à l'extrémité du câble principal; puis, sur ce câble, on fixe successivement tous les cerfs-volants constituant *l'attelage*.

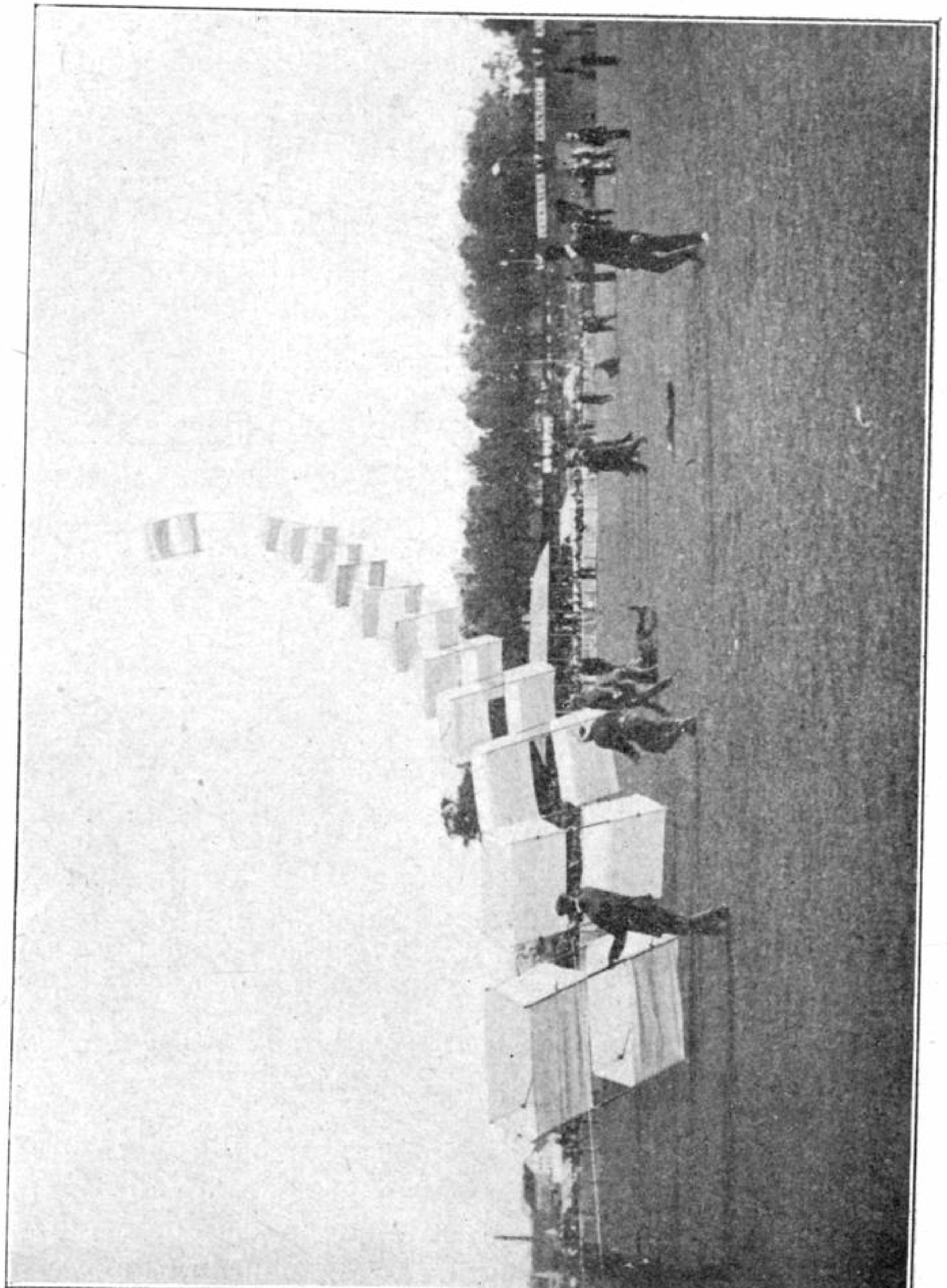
Dans le système Saconney, le cerf-volant pilote étant enlevé à 200 ou 300 mètres de hauteur et le câble principal étant tendu sous un angle voisin de 65 degrés, on adapte sur celui-ci un premier cerf volant d'attelage au moyen d'un anneau placé à la partie antérieure de la cellule supérieure et d'un second anneau terminant la bride : on lâche alors le cerf-volant qui monte de lui-même en postillon et s'arrête à un taquet placé à distance convenable, sur lequel vient buter l'anneau de la bride.

Tous les cerfs volants d'attelage sont ainsi envoyés successivement sur le câble.

On place alors le trolley avec la nacelle tout amarrée ; on lance les cerfs-volants du train remorqueur, et on en fixe la corde au trolley. On déroule alors lentement le câble secondaire et la nacelle s'élève doucement.

Pour ramener la nacelle, au signal donné par l'observateur, on enroule le câble secondaire sur son treuil et, lorsque la nacelle est près de terre, on doit arrêter les oscillations qui feraient heurter le sol : pour cela, une corde pendant verticalement de la nacelle est saisie par les aides qui l'amènent doucement à eux et soutiennent la nacelle avant qu'elle n'ait touché le sol.

Sécurité. – Le danger réside dans la rupture de l'un des câbles : or, celle-ci ne peut se produire qu'au-dessus de la nacelle, puisque c'est là que la traction est la plus forte. Si on a pris soin de choisir, pour le train remorqueur, entre le trolley et les cerfs-volants tracteurs, un câble identique au câble principal du train porteur, c'est toujours ce dernier qui rompra, puisque le train



Lancement d'un train de cellulaires

porteur comporte plus de cerfs-volants que le remorqueur.

La nacelle ne sera donc plus soutenue que par le train remorqueur et tombera d'abord assez rapidement; mais comme l'effort de traction (150 kilos minimum) des cerfs-volants remorqueurs est tel que, avec 900 mètres de câble, la ligne a encore une inclinaison supérieure à 20 degrés, la chute se ralentira rapidement et la nacelle s'arrêtera à une centaine de mètres au-dessus du sol.

La sécurité est donc complète.

Forces de traction et de soulèvement. — Il résulte des expériences faites par M. le capitaine J.-Th. Saconney, en 1905 et 1908 à bord de l'escadre de la Méditerranée, et en 1909 et 1910 à Boulogne-sur-Mer, en employant des cerfs-volants de différents types, que pour des cerfs-volants de densité 1 on a, en moyenne :

force de traction, en kilogrammes $T = 4 \times \frac{V^2}{100} S$

force de soulèvement en kilogrammes $\Sigma = 3 \times \frac{V^2}{100} S$

Si le cerf-volant est parfaitement bridé et se trouve dans les conditions de rendement maximum, on a :

$$T = 3{,}3 \frac{V^2}{100} S$$

$$\Sigma = 3 \frac{V^2}{100} S$$

Conclusions pratiques pour élever un observateur avec un vent inférieur à 20 mètres par seconde.

Altitude atteinte	Longr de câble déroulé	Traction nécessaire
300 m.	500 m.	400 k.
500	850	500
700	1300	600

Rayons de vision.

Lorsque l'atmosphère est parfaitement limpide, le rayon de vision, suivant la hauteur de l'observateur au dessus du sol, est donné par le tableau suivant.

Hautenr en mètres	Rayon de vision en kilomètres	Hauteur en mètres	Rayon de vision en kilomètres
1	3,570	60	27,650
2	5,048	70	29,866
3	6,183	80	31,928
4	7,139	90	33,865
5	7,982	100	35,696
6	8,744	200	50,482
7	9,444	300	61,828
8	10,096	400	71,394
9	10,709	500	79,821
10	11,288	600	87,440
20	15,964	700	94,446
30	19,552	800	100,967
40	22,576	900	107,092
50	25,241	1000	112,886

Poids enlevés par les cerfs-volants.

Dates	Expérimentateurs	Surface portante	Poids utile enlevé	Hauteur atteinte
1804	Dansett	5m²	60 kgr.	
1856	Le Bois	20	75	100m
1886	Maillot	72	68	"
1894	Baden-Powell	46	60	"
1894	Hargrave	21,5	77	"
1896	Lamson	"	68	180
1897	Wise	28,68	70	13
1899	Schreiber	55	80	"
1903	Cody	70	"	1000
1909	Madiot	60	70	100
1910	Saconney	"	210	100

Sondages de l'atmosphère.

Dates	Lieu de l'ascension	Expérimentateur	Longr de câble déroulé	Altitude atteinte
Août 1894	Observatoire de Blue-Hill (Amér.)	Lawrence Rotche	"	430m
19 sept. 1897	de Blue-Hill	Lawr. Rotche	6 300m	2 821
15 oct. 1897	de Blue-Hill	Lawr. Rotche	6 300	3 379
28 févr. 1898	de Blue-Hill	Lawr. Rotche	"	3 802
21 juill. 1898	de Blue-Hill	Lawr. Rotche	6 800	4 815
26 août 1898	de Blue-Hill	Lawr. Rotche	"	3 685
Déc. 1899	de Trappes (France)	Teisserenc de Bort	"	3 500
Juin 1900	de Blue-Hill	Lawr. Rotche	"	4 800
Janv. 1901	de Trappes	Teisserenc de Bort	"	5 250
6 déc. 1902	de Tegel (Allem.)	Asmann	"	5 475
1903	de Crinau (Ecosse)	Dines	"	4 000
Nov. 1906	de Lindenberg	"	"	6 250

Altitude que l'on peut atteindre pratiquement avec un train de cerfs-volants suivant la force du vent et la traction exercée par le train sur le câble de retenue (capne J.-Th. Saconney)

Traction.	Vitesse du vent.	Déroulement avantageux.		Déroulement normal.		Altitude maxima.	
		longueur de câble	altitude.	longueur de câble.	altitude.	longueur de câble.	altitude.
400 k.	10m	445m	300m	900m	500m	1350m	550m
	15	470	300	690	400	1100	450
	20	520	300	»	»	850	325
500 k.	10m	885m	600m	1400m	800m	2000m	850m
	15	745	500	1145	650	1620	700
	20	505	350	875	500	1290	550
600 k.	10m	1230m	900m	2000m	1100m	2500m	1122m
	15	1115	750	1625	900	2080	922
	20	820	550	1325	700	1390	712

AÉROPHOTOGRAPHIE PAR CERFS-VOLANTS

Applications. — La photographie aérienne, ou *aérophotographie* par cerfs-volants, a pris une importance considérable ; les cerfs-volants donnent, en effet, un moyen simple et pratique d'obtenir des vues panoramiques avec un matériel peu coûteux et facilement transportable.

Elle trouve son application :

Dans les voyages d'exploration (possibilité de reconnaître le terrain dans un rayon de plusieurs kilomètres, même en régions inaccessibles) ;

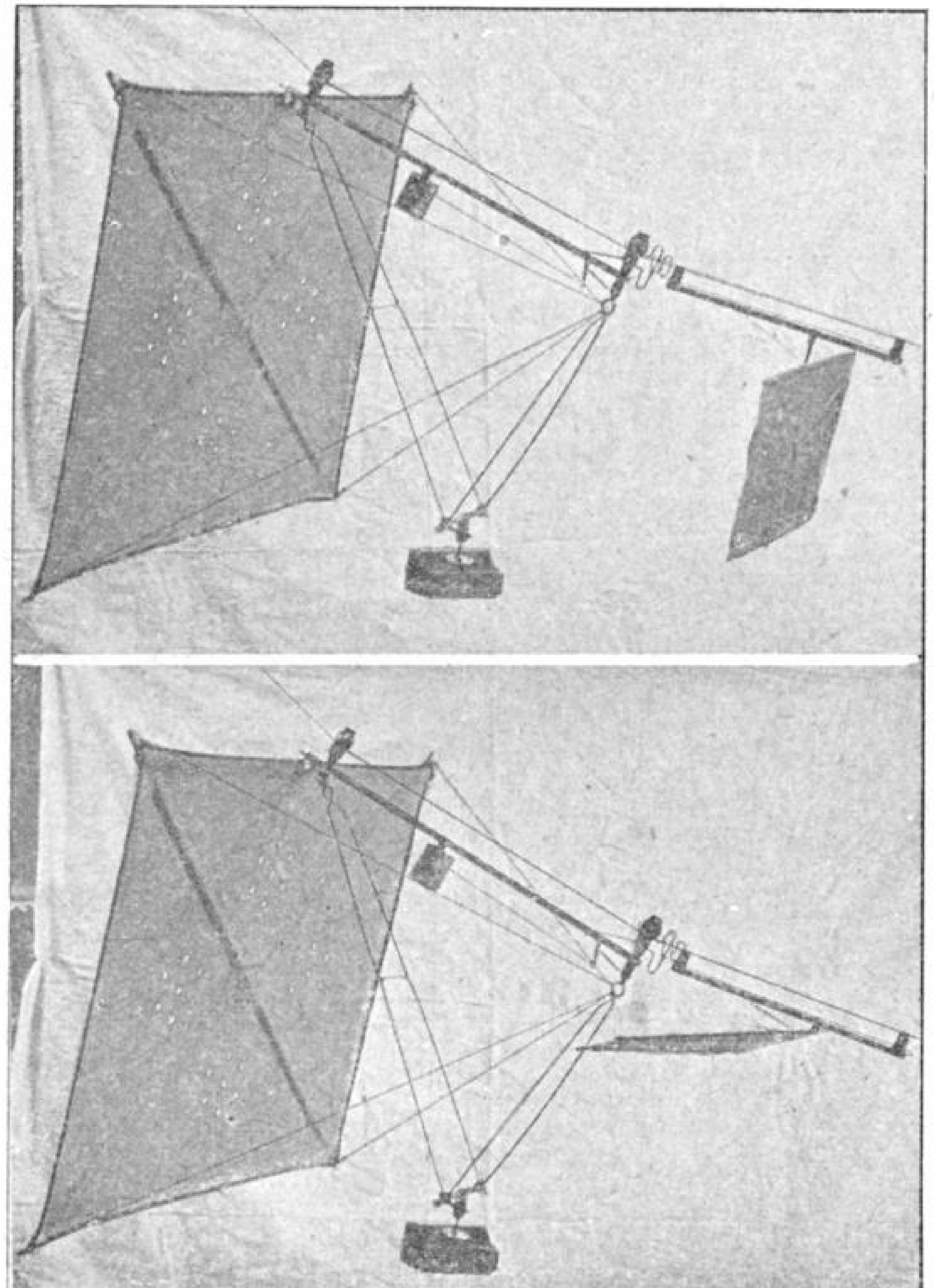
Dans l'art militaire (reconnaissance des positions ennemies, des fortifications permanentes ou passagères, des mouvements de troupes, etc., et cela sans exposer la vie d'un observateur) ;

Dans les travaux géodésiques (levers de plans, cadastre, études topographiques, etc.) ;

Dans l'art architectural (vues perspectives de palais, châteaux, parcs, jardins, etc.).

Conditions à remplir. — L'obtention de bons clichés aérophotographiques par cerfs-volants est soumise à plusieurs conditions, dont les principales sont : stabilité parfaite du cerf-volant, au moins dans le sens latéral ; — immobilité complète de l'appareil photographique au moment du déclanchement de l'obturateur ; — extrême sensibilité des plaques employées, surtout pour les couleurs jaunes, rouges et vertes (à mesure que l'on s'élève dans l'atmosphère, la couche d'air, qui sépare l'appareil photographique du sol, est de plus en plus

APPLICATION DU POSTILLON A L'AÉROPHOTOGRAPHIE



Trolley et postillon déclancheur

riche en rayons bleus et violets, et des plaques ordinaires donneraient des clichés absolument insignifiants et même voilés) ; — emploi d'objectifs à grand angle et à grande longueur focale.

Choix du cerf-volant. — Le cerf-volant doit réunir les qualités suivantes : grande stabilité latérale, solidité, rendement élevé, facilité de montage et de démontage, facilité de manœuvre.

Les cerfs-volants plans à queue doivent être écartés, la queue entraînant une complication et une cause de difficulté dans la manœuvre.

On prendra donc de préférence un des nombreux types cellulaires avec ou sans empennage, dérivés des cerfs-volants Hargrave, Lecornu, Madiot, Saconney, etc.

On trouve dans le commerce d'excellents cerfs-volants étudiés en vue de l'aérophotographie.

Pour avoir un appareil robuste, ne pas prendre de cerf-volant dont la densité soit inférieure à 0,5 et proportionner autant que possible la densité à la force du vent par lequel on opère.

Cordes de retenue. — Pour éviter la rupture des cordes et la perte des appareils photographiques, prendre comme coefficient de sécurité 4 ou 5 fois la valeur de la traction du cerf-volant.

Exemple : pour un cerf-volant exerçant une traction de 15 kilos, prendre une corde résistant à 70 kilos

On trouve dans le commerce des cordes bien calibrées, fabriquées spécialement pour ces applications.

Ces cordes doivent être enroulées sur un treuil simple et robuste, tant pour la facilité des manœuvres que pour la conservation des cordes : celles-ci seront fréquemment frottées à la cire sèche.

Altitude à laquelle il faut opérer. — La meilleure altitude pour opérer est celle de 250 à 300 mètres : à cette hauteur, on a plus de chance d'avoir un vent régulier échappant aux remous de la surface du sol ; le champ de vision est suffisamment étendu, la luminosité très bonne.

On peut toutefois opérer à des altitudes bien supérieures, de 1,000, 1,500 et 2,000 mètres. Mais il faut se rappeler que la masse d'air s'enrichit de rayons bleus-violets à mesure que croît l'altitude.

Appareils photographiques. — Il doit être robuste, léger, et réduit au strict nécessaire : un objectif, un obturateur fonctionnant à une seule vitesse (instantané rapide), une chambre rigide, un châssis pour plaque sensible.

La maison Hermagis construit, sur les données de M. E. Wenz, un appareil spécialement étudié pour l'aérophotographie par cerf-volant. Ses caractéristiques sont : corps de chambre en aluminium ; objectif aplanastigmat Hermagis n° 7 de 21 centimètres de foyer, monture en aluminium ; diaphragme iris ; obturateur guillotine ; châssis en nickel ; poids tout chargé : 1 kilo 460.

Le *glyphoscope* Richard, en aluminium, très léger et bon marché, donne de bons résultats pour la stéréoscopie aérienne.

On peut construire soi-même une chambre en carton ondulé, vernis noir mat à l'intérieur.

Objectifs. — Choisir de préférence un anastigmat d'une netteté parfaite jusqu'à ses bords extrêmes ; l'ouverture ne doit pas être inférieure à 1 : 8 et même 1 : 7, pour les travaux soignés, aller jusqu'à 1 : 4.5.

Les objectifs les plus recommandables sont les *Tessar, Heliar, Celor, Primoplane Cook,* anastigmat extra-rapide *Hermagis,* permettant l'emploi d'écrans jaunes.

Les objectifs doivent être à grande longueur focale, au moins 135 $^{m}/_{m}$, mais plutôt 18 centimètres et au-dessus, — et à grand angle, 45° ou 50°.

Des objectifs de 21 centimètres donnent des résultats remarquables avec des plaques 13 × 18.

Diaphragme. — Pour obtenir de très bonnes épreuves, il est bon de diaphragmer pour tenir compte de l'influence des nuages sur la luminosité, consignée dans le tableau suivant.

ÉTAT DU CIEL	ÉCLAIREMENT NÉCESSAIRE
Ciel serein	1
Beaucoup de nuages blancs .	1/2 à 3/4
Ciel légèrement couvert. . .	2 à 3
Ciel fortement couvert . . .	4 à 8
Ciel nuageux et menaçant . .	10 à 20

Se rappeler que l'éclairement obtenu sur la plaque est proportionnel au carré de l'ouverture du diaphragme.

Obturateur. — Il doit être très rapide, par exemple $\frac{1}{100}$ de seconde (obturateurs *Compound, Koïlos,* etc.) et être actionné par un déclancheur automatique (*Bowden, Bob Ernemann,* etc.) commandé soit par une mèche d'amadou devant brûler pendant le temps nécessaire à élever l'appareil photographique, soit par un dispositif mécanique tel que le *Cunctator Richard.*

Le déclancheur doit en même temps libérer un signal facilement visible du sol (banderole qui se déploie, parachute, etc.) indiquant que l'opération est terminée.

S'assurer par une opération préalable à blanc que le déclanchement ne fonctionne que lorsque l'appareil photographique, après s'être élevé jusqu'au point où il doit opérer, a amorti ses oscillations et est devenu immobile.

On peut encore déclancher électriquement l'obturateur au moyen du courant d'une pile agissant sur un électro-aimant, et d'un conducteur double en fil de cuivre fin isolé, tressé avec le câble de manœuvre.

Plaques. — N'employer que les plaques orthochromatiques à grain très fin, d'une extrême sensibilité aux rayons jaunes verts et à impressionnabilité réduite aux rayons violets bleus.

Les meilleures plaques sont les orthochromatiques Guilleminot, Lumière, Jougla, Color, Pérorto-vertes, chromo-Isolar, Integrum, Flavin, Véridine, Anti-Screen, Non-Filter, etc.

On atténue encore l'effet funeste des rayons violets-bleus par l'emploi d'un écran jaune ; employer alors des écrans faibles (K I de Wratten, O O de Monpillard).

Pour de petits clichés (maximum 9×12) on peut utiliser des films coupés à plat (proscrire les films roulés) à cause de leur légèreté. La marque *Agfa* convient bien, à cause de sa bonne sensibilité aux couleurs.

Suspension et manœuvre de la chambre. — La chambre doit être fixée sur un chariot mobile, sorte de trolley roulant sur le câble de retenue. (Celui-ci ne doit présenter aucun nœud, mais un taquet est fixé à une distance convenable du cerf-volant pour arrêter le chariot.)

Le chariot est remorqué soit par une voilure fixée au trolley, soit, de préférence, par un cerf-volant auxiliaire qui, outre la facilité de manœuvre, offre l'avantage, en cas de rupture du câble principal, de soutenir l'appareil photographique dans sa chute.

Une corde auxiliaire fixée au chariot permet de le faire redescendre après l'opération, sans être obligé de ramener le cerf-volant principal.

Suspension A. Batut (à cardan).

Suspension triangulaire Lecornu (permet de diriger l'objectif dans une direction quelconque).

Suspension Vinès-Devals (A. Gomès) ; *Suspension Ch. Rouaud* (se trouvent dans le commerce).

Aérophotographie stéréoscopique à grande base. — S'obtient par l'emploi de deux appareils écartés l'un de l'autre, dont les axes optiques des objectifs sont

ALPHABET

· —	A	— — —	O
— · · ·	B	· — — ·	P
— · — ·	C	— — · —	Q
— · ·	D	· — ·	R
·	E	· · ·	S
· · — ·	F	—	T
— — ·	G	· · —	U
· · · ·	H	· · · —	V
· ·	I	— · · —	X
· — — —	J	— · — —	Y
— · —	K	— — · ·	Z
· — · ·	L	· · — · ·	É
— —	M	· — —	W
— ·	N	— — — —	CH

CHIFFRES

· — — — —	1	— · · · ·	6
· · — — —	2	— — · · ·	7
· · · — —	3	— — — · ·	8
· · · · —	4	— — — — ·	9
· · · · ·	5	— — — — —	0

— — — — — — Barre de fraction

PRINCIPAUX SIGNAUX CONVENTIONNELS

Appel — · — · —
Signal de séparation — · · · —
Signal d'attente · — · · ·
Invitation à transmettre — · —
Fin de télégramme · — · — ·
Fin de travail · · · — · —
Compris · · · — ·
Erreur · · · · · · · · ·
Souligné · · — — · — (avant et après les mots)
Point · · · · · ·
Point d'interrogation ou demande de répétition
· · — — · ·
Signal de détresse · · · — — — · · · (pour les navires)

rigoureusement parallèles et dont les obturateurs sont déclanchés simultanément.

Les vues stéréoscopiques ne doivent pas être prises à une altitude trop grande, si l'on veut obtenir un relief appréciable.

Détermination de l'altitude. — M. E. Wenz a donné la formule

$$h = F \times \frac{O}{I}$$

dans laquelle h est la hauteur où la photographie a été prise, F la longueur focale de l'objectif employé, O la dimension réelle d'un objet photographié (maison, arbre, chemin, etc.) et I la dimension de l'image de cet objet mesurée sur le cliché.

Cette formule donne, en réalité, la distance de l'objet à l'objectif; elle ne donne donc la hauteur que si la vue est prise verticalement.

M. Batut photographie, en même temps que le terrain, l'index d'un petit baromètre anéroïde très sensible.

On se contente en général d'une mesure approximative calculée d'après la longueur de la corde déroulée et l'angle que fait, avec l'horizontale, la ligne de visée du treuil à l'objectif.

Développement. — Tous les procédés ordinaires sont bons ; en raison des insuccès fréquents (voile des plaques, oscillations de l'appareil, mauvaise orientation de l'objectif, etc.), on a avantage à développer sur le terrain, pour constater immédiatement le résultat. Il existe de nombreux systèmes de laboratoires portatifs permettant le développement en plein air.

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

En maintes circonstances le cerf-volant rendra de grands services pour l'établissement rapide d'une antenne de télégraphie sans fil. Nous donnons plus haut, à titre de mémento, la liste des signes de l'alphabet Morse.

TROISIÈME PARTIE

PHYSIQUE

MÉTÉOROLOGIE

PHYSIQUE

Unités C. G. S. (centimètre-gramme-seconde).

Unités fondamentales : *Unité de longueur : centimètre* (c.m.) ou centième partie du mètre étalon déposé au Conservatoire des Arts et Métiers à Paris.

Unité de masse : gramme-masse, masse d'un centimètre-cube d'eau distillée prise à 4° centigrade.

Unité de temps : seconde, 86,400e partie du jour solaire moyen.

Unités dérivées : *Unité de surface : centimètre carré.*

Unité de volume : centimètre cube.

Unité de vitesse : centimètre par seconde.

Unité d'accélération : accélération d'un mobile animé d'un mouvement uniformément varié, dont la vitesse varie de 1 centim. par seconde. A Paris, l'accélération due à la pesanteur est

$$g = 9^{m}81.$$

Unité de force : dyne, force qui communique une accélération de 1 cm. par seconde à un corps de masse 1 gramme; la dyne vaut, à Paris $\frac{1}{981}$ et le poids du gramme vaut, en conséquence, 981 dynes.

Unité de travail ou *d'énergie : erg,* c'est le travail accompli par 1 dyne déplaçant son point d'application de 1 centimètre : 1 erg $=$ 1 dyne $\times$ 1 centim. (en pratique, on emploie le *kilogrammètre* qui vaut (981×10^5) ergs.

Unité de puissance : erg par seconde. En pratique, on emploie le *kilogrammètre par seconde* ou le *Poncelet* qui vaut 100 kgm. seconde.

Équivalent mécanique de la chaleur :

L'unité de chaleur est la *calorie*, quantité de chaleur nécessaire pour élever la température de 1 kilogr. d'eau de 1° centigrade.

1 calorie peut fournir 424 kilogrammètres.

Poids spécifiques, par rapport à l'eau à 4°.

Métaux.

Aluminium laminé	2,67	Fonte	7,20
Antimoine	6,72	Magnésium	1,743
Argent fondu	10,47	Manganèse	8,01
Cuivre	8,85	Mercure solide à —40°	14,39
Cuivre laminé ou forgé	8,95	Plomb	11,35
Étain	7,291	Zinc	7,19
Fer	7,788		

Bois.

Acajou	0,56 à 0,85	Mélèze	0,543
Charme (20 °/o d'humidité)	0,756	Noyer brun	0,685 à 0,92
Chêne	0,610 à 1,17	Orme	0,553
Ebène	1,125 à 1,21	Peuplier	0,387 à 0,51
Erable	0,645	Platane	0,648
Frêne	0,845	Poirier	0,732
Hêtre	0,75 à 0,852	Pommier	0,734
Liége	0,240	Sapin	0,490 à 0,66
		Tilleul	0,604

Altitudes.

Décroissance de la température d'après l'altitude.

La température de l'air décroît environ de 1° par 180 mètres.

Mesure de la différence de niveau entre deux stations par la méthode barométrique.

Appelons Z la différence de niveau cherchée et A et A' les hauteurs des deux stations au dessus du niveau de la mer.

$$Z = A' - A$$

Notations :

B et B'	hauteurs de la colonne barométrique à la station inférieure et à la station supérieure.
t et t'	températures des baromètres aux stations inférieure et supérieure.
B_0 et B'_0	hauteurs barométriques ramenées à 0°.
T et T'	températures de l'air aux deux stations inférieure et supérieure.
L	latitude du lieu où sont les deux stations.

1°) On réduit d'abord à 0° les observations barométriques B et B' à l'aide de la table de correction suivante :

(Voir Table I)

2°) A l'aide de la table suivante, on déduit les altitudes A et A' des deux stations, des hauteurs barométriques corrigées B_0 et B'_0.

(Voir Table II)

Table I

Réduction du baromètre à zéro (centièmes de millimètre)

B mm	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	20°	30°	40°
380	06	12	19	25	31	37	43	50	56	62	124	186	248
390	06	13	19	25	32	38	45	51	57	64	127	191	255
400	07	13	20	26	33	39	46	52	59	65	131	196	261
410	07	13	20	27	33	40	47	54	60	67	134	201	268
420	07	14	21	27	34	41	48	55	62	69	137	206	275
430	07	14	21	28	35	42	49	56	63	70	141	211	281
440	07	14	22	29	36	43	50	58	65	72	144	216	288
450	07	15	22	29	37	44	51	59	66	74	147	221	294
460	08	15	23	30	38	45	53	60	68	75	150	225	301
470	08	15	23	31	38	46	54	61	69	77	154	230	307
480	08	16	24	31	39	47	55	63	71	78	157	235	314
490	08	16	24	32	40	48	56	64	72	80	160	240	320
500	08	16	25	33	41	49	57	65	74	82	163	245	327
510	08	17	25	33	42	50	58	67	75	83	167	250	333
520	08	17	25	34	42	51	59	68	76	85	170	255	340
530	09	17	26	35	43	52	61	69	78	87	173	260	346
540	09	18	26	35	44	53	62	71	79	88	176	265	353
550	09	18	27	36	45	54	63	72	81	90	180	270	359
560	09	18	27	37	46	55	64	73	82	92	183	275	366
570	09	19	28	37	47	56	65	75	84	93	186	279	373
580	09	19	28	38	47	57	66	76	85	95	190	284	379
590	10	19	29	39	48	58	67	77	87	96	193	289	386
600	10	20	29	39	49	59	69	78	88	98	196	294	392
610	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	199	299	399
620	10	20	30	41	51	61	71	81	91	101	203	304	405
630	10	21	31	41	51	62	72	82	93	103	206	309	412
640	10	21	31	42	52	63	73	84	94	105	209	314	418
650	11	21	32	42	53	64	74	85	96	106	212	319	425
660	11	22	32	43	54	65	75	86	97	108	216	324	431
670	11	22	33	44	55	66	77	88	99	109	219	328	438
680	11	22	33	44	56	67	78	89	100	111	222	333	444
690	11	23	34	45	56	68	79	90	101	113	225	338	451
700	11	23	34	46	57	69	80	92	103	114	229	343	458
710	12	23	35	46	58	70	81	93	104	116	232	348	464
720	12	24	35	47	59	71	82	94	106	118	235	353	471
730	12	24	36	48	60	72	83	95	107	119	239	358	477
740	12	24	36	48	60	73	85	97	109	121	242	363	484
750	12	25	37	49	61	74	86	98	110	123	245	368	490
760	12	25	37	50	62	75	87	99	112	124	248	373	497
770	13	25	38	50	63	75	88	101	113	126	252	377	503
780	13	25	38	51	64	76	80	102	115	127	255	382	510

Table II

B	A	B	A	B	A	B	A
245	9050,3	276	8096,5	307	7244,7	338	6475,1
246	9017,7	277	8067,6	308	7218,7	339	6451,5
247	8985,2	278	8038,8	309	7192,8	340	6427,9
248	8952,9	279	8010,0	310	7166,9	341	6404,4
249	8920,7	280	7981,4	311	7141,1	342	6381,0
250	8888,6	281	7952,9	312	7115,4	343	6357,7
251	8856,6	282	7924,4	313	7089,8	344	6334,4
252	8824,8	283	7896,1	314	7064,3	345	6311,2
253	8793,1	284	7867,9	315	7038,9	346	6288,1
254	8761,5	285	7839,7	316	7013,5	347	6265,0
255	8730,0	286	7811,7	317	6988,2	348	6242,0
256	8698,7	287	7783,8	318	6963,0	349	6219,0
257	8667,5	288	7755,9	319	6937,9	350	6196,1
258	8636,4	289	7728,2	320	6912,9	351	6173,3
259	8605,4	290	7700,6	321	6887,9	352	6150,5
260	8574,6	291	7673,0	322	6863,0	353	6127,8
261	8543,9	292	7645,6	323	6838,2	354	6105,2
262	8513,3	293	7618,2	324	6813,5	355	6082,6
263	8482,8	294	7590,9	325	6788,8	356	6060,1
264	8452,4	295	7563,8	326	6764,3	357	6037,6
265	8422,1	296	7536,7	327	6739,8	358	6015,3
266	8391,9	297	7509,7	328	6715,4	359	5993,0
267	8361,9	298	7482,8	329	6691,1	360	5970,7
268	8332,0	299	7456,0	330	6666,8	361	5948,5
269	8302,2	300	7429,3	331	6642,6	362	5926,4
270	8272,5	301	7402,7	332	6618,5	363	5904,3
271	8242,9	302	7376,1	333	6594,4	364	5882,3
272	8213,4	303	7349,7	334	6570,4	365	5860,4
273	8184,0	304	7323,3	335	6546,5	366	5838,5
274	8154,7	305	7297,0	336	6522,6	367	5816,7
275	8125,6	306	7270,8	337	6498,8	368	5794,9
276	8096,5	307	7244,7	338	6475,1	369	5773,2

Table II (*suite*)

B	A	B	A	B	A	B	A
369	5773,2	405	5028,8	441	4348,0	477	3720,8
370	5751,6	406	5009,1	442	4329,9	478	3704,1
371	5730,0	407	4989,4	443	4311,8	479	3687,4
372	5708,5	408	4969,8	444	4293,8	480	3670,7
373	5687,0	409	4950,2	445	4275,8	481	3654,1
374	5665,6	410	4930,7	446	4257,8	482	3637,5
375	5644,2	411	4911,2	447	4239,9	483	3620,9
376	5622,9	412	4891,8	448	4222,1	484	3604.4
377	5601,7	413	4872,4	449	4204,3	485	3587,9
378	5580,6	414	4853,1	450	4186,5	486	3571,4
379	5559,5	415	4833,8	451	4168,7	487	3555,0
380	5538,4	416	4814,6	452	4151,0	488	3538,6
381	5517,4	417	4795,4	453	4133,4	489	3522,3
382	5496,4	418	4776.3	454	4115,8	490	3505,9
383	5475,5	419	4757,2	455	4098,2	491	3489,6
384	5454,6	420	4738,1	456	4080,6	492	3473,3
385	5433,8	421	4719,1	457	4063,1	493	3457,1
386	5413,0	422	4700,1	458	4045,6	494	3440.9
387	5392,3	423	4681,2	459	4028,2	495	3424,7
388	5371,7	424	4662,3	460	4010,8	496	3408,6
389	5351,1	425	4643,5	461	3993,4	497	3392,5
390	5330,6	426	4624.7	462	3976,1	498	3376,4
391	5310,1	427	4606,0	463	3958,8	499	3360,4
392	5289,7	428	4587.3	464	3941,6	500	3344.4
393	5269,3	429	4568,6	465	3924,4	501	3328,4
394	5249,0	430	4550,0	466	3907,2	502	3312,5
395	5228,7	431	4531,4	467	3890,1	503	3296,6
396	5208,5	432	4512,9	468	3873,0	504	3280,7
397	5188,4	433	4494,4	469	3855,9	505	3264,9
398	5168,3	434	4476,0	470	3838,9	506	3249,1
399	5148,2	435	4457,6	471	3821,9	507	3233,3
400	5128,2	436	4439,2	472	3805,0	508	3217,5
401	5108,2	437	4420,9	473	3788,1	509	3201,8
402	5088,3	438	4402,6	474	3771,2	510	3186,1
403	5068,4	439	4384.4	475	3754.4	511	3170.5
404	5048,6	440	4366,2	476	3737.6	512	3154,9
405	5028,8	441	4348.0	477	3720.8	513	3139,3

Table II (*suite*)

B	A	B	A	B	A	B	A
513	3139,3	549	2597,3	585	2089.9	621	1612,9
514	3123,7	550	2582,8	586	2076,3	622	1600,0
515	3108,2	551	2568,3	587	2062,7	623	1587,2
516	3092,7	552	2553,8	588	2049,1	624	1574,4
517	3077,2	553	2539,3	589	2035,5	625	1561,6
518	3061,8	554	2524,9	590	2021,9	626	1548.8
519	3046,4	555	2510,5	591	2008,4	627	1536,1
520	3031,0	556	2496,1	592	1994,9	628	1523,4
521	3015,6	557	2481,7	593	1981,4	629	1510,7
522	3000,3	558	2467,4	594	1968,0	630	1498,0
523	2985,0	559	2453,1	595	1954,6	631	1485,3
524	2969,7	560	2438,8	596	1941,2	632	1472,7
525	2954,5	561	2424,6	597	1927,8	633	1460,0
526	2939,3	562	2410,4	598	1914,4	634	1447,4
527	2924,1	563	2396,2	599	1901,0	635	1434,8
528	2909,0	564	2382,0	600	1887,7	636	1422,3
529	2893,9	565	2367,8	601	1874,4	637	1409,7
530	2878,8	566	2353,7	602	1861,1	638	1397,2
531	2863,7	567	2339,6	603	1847,8	639	1384,7
532	2848,7	568	2325,5	604	1834,6	640	1372,2
533	2833,7	569	2311,5	605	1821,4	641	1359,7
534	2818,7	570	2297,4	606	1808,2	642	1347,3
535	2803,7	571	2283,4	607	1795,0	643	1334,8
536	2788,8	572	2269,4	608	1781,9	644	1322.4
537	2773,9	573	2255,5	609	1768,8	645	1310,0
538	2759,0	574	2241,6	610	1755,7	646	1297,7
539	2744,2	575	2227,7	611	1742,6	647	1285,3
540	2729,4	576	2213,8	612	1729,5	648	1273,0
541	2714,6	577	2199,9	613	1716,5	649	1260,7
542	2699,9	578	2186,1	614	1703,5	650	1248,4
543	2685,1	579	2172,3	615	1690,5	651	1236,1
544	2670,4	580	2158,5	616	1677,5	652	1223,8
545	2655,8	581	2144,7	617	1664,5	653	1211.6
546	2641,1	582	2131,0	618	1651,6	654	1199,4
547	2626,5	583	2117,3	619	1638,7	655	1187,2
548	2611,9	584	2103,6	620	1625,8	656	1175,0
549	2597,3	585	2089,9	621	1612,9	657	1162,8

Table II (*suite*)

B	A	B	A	B	A	B	A
657	1162,8	694	725,3	731	310,6	768	— 83,6
658	1150,7	695	713,8	732	299,7	769	— 94,0
659	1138,5	696	702,3	733	288,8	770	—104,4
660	1126,4	697	690,9	734	277,9	771	—114,7
661	1114,3	698	679,4	735	267,0	772	—125,1
662	1102,2	699	668,0	736	256,2	773	—135,4
663	1090,2	700	656,6	737	245,3	774	—145,7
664	1078,2	701	645,2	738	234,5	775	—156,0
665	1066,2	702	633,8	739	223,7	776	—166,3
666	1054,2	703	622,4	740	212,9	777	—176,6
667	1042,2	704	611,1	741	202,1	778	—186,9
668	1030,2	705	599,7	742	191,3	779	—197,1
669	1018,3	706	588,4	743	180,6	780	—207,4
670	1006,3	707	577,1	744	169,8	781	—217,6
671	994,4	708	565,8	745	159,1	782	—227,8
672	982,5	709	554,6	746	148,4	783	—238,0
673	970,7	710	543,3	747	137,7	784	—248,2
674	958,8	711	532,1	748	127,0	785	—258,4
675	947,0	712	520,8	749	116,4	786	—268,6
676	935,1	713	509,6	750	105,7	787	—278,7
677	923,3	714	498,4	751	95,1	788	—288,8
678	911,6	715	487,3	752	84,5	789	—299,0
679	899,8	716	476,1	753	73,9	790	—309,1
680	888,0	717	465,0	754	63,3	791	—319,2
681	876,3	718	453,8	755	52,7	792	—329,3
682	864,6	719	442,7	756	42,1	793	—339,4
683	852,9	720	431,6	757	31,6	794	—349,4
684	841,2	721	420,6	758	21,0	795	—359,5
685	829,5	722	409,5	759	10,5	796	—369,5
686	817,9	723	398,4	760	0,0	797	—379,5
687	806,3	724	387,4	761	—10,5	798	—389,5
688	794,6	725	376,4	762	—21,0	799	—399,5
689	783,0	726	365,4	763	—31,5	800	—409,5
690	771,5	727	354,4	764	—41,9	801	—419,5
691	759,9	728	343,4	765	—52,4	802	—429,4
692	748,3	729	332,5	766	—62,8	803	—439,4
693	736,8	730	321,5	767	—73,2	804	—449,3
694	725,3	731	310,6	768	—83,6	805	—459,2

Appelons a la différence de niveau obtenue

$$a = A' - A$$

Il faut, pour avoir Z introduire une nouvelle correction due aux températures de l'air T et T' et à la latitude L. Cette correction est

$$\frac{a}{1000}\, 2\,(T + T' + \lambda)$$

dans laquelle

$$\lambda = 1{,}32 \cos 2\,L$$

Cette correction λ, positive de 0° à 45° et négative de 45° à 90° est donnée par la table suivante :

TABLE II

Correction relative à la latitude L

(Positive du 0° à 45°, négative de 45° à 90°)

L	λ	L	L	λ	L
°	°	°	°	°	°
0	+ 1,32 —	90	30	+ 0,66 —	60
2	1,32	88	31	0,62	59
4	1,31	86	32	0,58	58
6	1,29	84	33	0,54	57
8	1,27	82	34	0,49	56
10	+ 1,24 —	80	35	+ 0,45 —	55
12	1,21	78	36	0,41	54
14	1,17	76	37	0,36	53
16	1,12	74	38	0,32	52
18	1, 7	72	39	0,27	51
20	+ 1,01 —	70	40	+ 0,23 —	50
22	0,95	68	41	0,18	49
24	0,88	66	42	0,14	48
26	0,81	64	43	0,09	47
28	0,74	62	44	0,05	46
30	+ 0,66 —	60	45	+ 0,00 —	45

Exemple de calcul :

à la station A on a :	à la station A'
$B = 729^{mm}65$	$B' = 424^{mm}05$
$t = 18^{\circ}6$	$t' = -4^{\circ}2$
$T = 19^{\circ}3$	$T' = -7^{\circ}6.$

Latitude du lieu

$$L = 46^{\circ}$$

1°) Réduction à 0° :

$$B = 729^{mm}65 \quad \text{et} \quad t = 18^{\circ}6.$$

Cherchons dans la table la valeur de R la plus rapprochee, soit 730^{mm}.

pour 10°	correction =	$1^{mm}19$
8°	. . . . .	$0^{mm}95$
0°6	. . . . .	$0^{mm}07$
pour 18°6	. . . . .	$2^{mm}21$

$$B_o = 729^{mm}65 - 2^{mm}21 = 727^{mm}44.$$

De même, on trouverait

$$B'_o = 424^{mm}05 + 0^{mm}29 = 424^{mm}34$$

2°) Altitudes approchées correspondantes.

La table nous donne :

pour 424mm	. . . .	4662,3
0mm34	. . . .	6,4
pour 424mm34	. . . .	4655,9
de même, pour 727mm44	. . . .	349,6
différence a =	. . . .	4306,4

3°) Correction de température et de latitude

$$T + T' = 11^{\circ}7$$

et la table donne pour $L = 46^{\circ}$ $\lambda = -0^{\circ}05$

la correction est alors $\frac{a}{1000} 2 (T + T' + \lambda) = 4.306,4 \times 23,30 = 100,3$

et $$Z = 4.306,4 + 100,3 = 4.406^{m}7$$

Vitesses.

Vitesses d'un fantassin :

au pas accéléré	115 pas de 0m75	par min.	86 mèt. par min.
au pas de route	120 pas de 0m65	»	90 »
au pas gymnastique	170 pas de 0m80	»	136 »

Vitesses du cheval :

au pas	100 m. par minute	6 kil. à l'heure
au trot	230 »	13,8 »
au galop	300 »	18 »

Vitesse du son, en mètres par seconde :

dans l'air à 0°	. . . .	830,9
» 10°	. . . .	337,2
dans l'eau à 8°	. . . .	1435
dans la fonte	. . . .	3486

Vitesses de la terre : 1°) Mouvement de rotation ; vitesse d'un point de la surface du globe

à l'Equateur	465 m. par seconde	à 50°	300 m. par seconde
à 10°	458 »	à 60°	234 »
à 20°	437 »	à 70°	160 »
à 30°	403 »	à 80°	81 »
à 40°	357 »	à 90° (pôle)	0 »

2°) Mouvement de translation autour du soleil

936.000.000	kilom.	par an
2 562.000	»	par jour
106.700	»	à l'heure
1.778	»	à la minute
29k60		à la seconde

Vitesse de la lumière :

299.860 kilom. par seconde (Newcombe)

Kilomètres à l'heure et mètres par seconde.

K-H	M-S	K-H	M-S	K-H	M-S	K-H	M-S	K-H	M S
1	0,3	21	5,8	41	11,4	61	16,9	81	22,5
2	0,6	22	6,1	42	11,7	62	17,2	82	22,8
3	0,8	23	6,4	43	11,9	63	17,5	83	23,1
4	1,1	24	6,7	44	12,2	64	17,8	84	23,3
5	1,4	25	6,9	45	12,5	65	18,1	85	23,6
6	1,7	26	7,2	46	12,8	66	18,3	86	23,9
7	1,9	27	7,5	47	13,1	67	18,5	87	24,2
8	2,2	28	5,8	48	13,3	68	18,9	88	24,4
9	2,5	29	8,1	49	13,6	69	19,2	89	24,7
10	2,8	30	8,3	50	13,9	70	19,4	90	25,0
11	3,1	31	8,6	51	14,2	71	19,7	91	25,3
12	3,3	32	8,9	52	14,4	72	20,0	92	25,6
13	3,6	33	9,2	53	14,7	73	20,3	93	25,8
14	3,9	34	9,4	54	15,0	74	20,6	44	26,1
15	4,2	35	9,7	55	15,3	75	20,8	95	26,4
16	4,4	36	10,0	56	15,6	76	21,1	96	26,7
17	4,7	37	10,3	57	15,9	77	21,4	97	26,9
18	5,0	38	10,6	58	16,1	78	21,7	98	27,2
19	5,3	39	10,8	59	16,4	79	21,9	99	27,5
20	5,6	40	11,1	60	16,7	80	22,2	100	27,8

M-S	K-H	M-S	K-H	M-S	K-H	M-S	K H	M-S	K-H
1	3,6	7	25,2	13	46,8	19	68,4	25	90,0
2	7,2	8	28,8	14	50,4	20	72,0	26	98,6
3	10,8	9	32,4	15	54,0	21	75,6	37	97,2
4	14,4	10	36,0	16	57,6	22	79,2	28	100,8
5	18,0	11	39,6	17	61,2	23	82,8	29	104,4
6	21,6	12	43,2	18	64,8	24	86,4	30	108,0

Vitesses des navires.

Conversion des nœuds en kilomètres.

Nœuds	Kilomètres	Nœuds	Kilomètres
1	1k852m	17	31k481m
2	3,704	18	33,333
3	5,556	19	35,185
4	7,407	20	37,037
5	9,259	21	38,889
6	11,111	22	40,740
7	12,963	23	42,592
8	14,815	24	44,444
9	16,667	25	46,296
10	18,518	26	48,148
11	20,370	27	50,000
12	22,222	28	51,852
13	24,074	29	53,704
14	25,929	30	55,555
15	27,778	31	57,407
16	29,630	32	59,259

MÉTÉOROLOGIE

Cartes météorologiques. — Les cartes publiées par le Bureau central météorologique donnent tous les jours la situation atmosphérique de la veille sur l'Europe.

Signes conventionnels employés :

○ *beau* ⊙ *nuageux* ● *pluie* ✱ *neige*

→ *faible* → *modéré* → *fort* → *tempête*

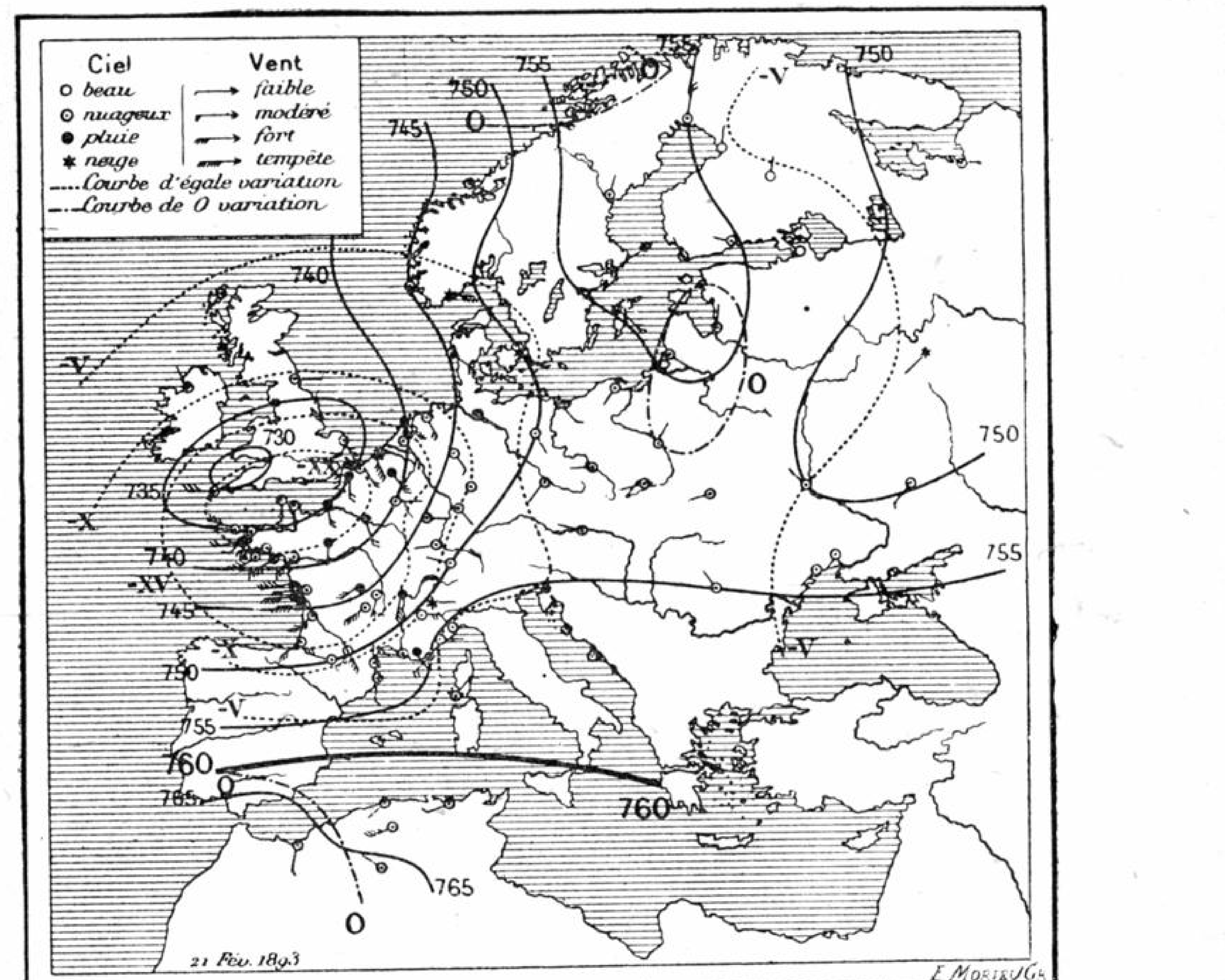
Courbes isobares ou d'égale pression barométr. —— 760
(Elles sont tracées de 5 m/m en 5 m/m.)

Courbes d'égale variation de pression. - - - - X

Courbes de variation nulle de pression. -·-·-·- 0

Gradient barométrique : Le gradient est la différence barométrique qui existe entre deux points situés sur une même normale aux isobares.

La valeur du gradient s'exprime par le quotient de la différence barométrique en millimètres de mercure, par la distance qui sépare les deux points considérés en prenant pour unité de longueur le degré géographique de 60 milles marins de 1852 mètres, soit 111 kilomètres.



Échelle kilométrique des vents

Numéro des subdivisions	Vitesse en kilomètres à l'heure	Noms donnés aux différents vents selon leur force	Vitesse en mètres à la seconde	Action du vent sur les arbres	
				Le vent :	
1	0 à 10	Brise	0 à 2,77	remue légèrement les feuilles.	
2	10 à 20		2,77 à 5,55	— bien —	
3	20 à 30		5,55 à 8,33	— fortement —	
4	30 à 40	Vent	8,33 à 11,11	remue les petites branches.	
5	40 à 50		11,11 à 13,88	— les moyennes —	
6	50 à 60		13,88 à 16,66	— les grosses —	
7	60 à 70	Rafale	16,66 à 19,44	remue les petits arbres.	
8	70 à 80		19,44 à 22,22	— les moyens —	
9	80 à 90		22,22 à 25	— les gros —	
10	90 à 100	Tempête	25 à 27,77	casse les petites branches.	Vents rares
11	100 à 110		27,77 à 30,55	— les moyennes —	
12	110 à 120		30,55 à 33,33	— les grosses —	
13	120 à 130	Ouragan	33,33 à 36,11	déracine les petits arbres.	Vents très rares.
14	130 à 140		36,11 à 38,88	— les moyens —	
15	140 à 150		38,88 à 41,66	— les gros —	

Échelle de Beaufort. — L'échelle de Beaufort, qui est en usage en météorologie, est l'échelle des vents cotés de 0 à 9, suivant leur vitesse.

Ces coefficients représentent sensiblement la moitié de la vitesse du vent en mètres par seconde; cependant le coefficient 9 représente les vents dont la vitesse est égale ou supérieure à 18 mètres par seconde.

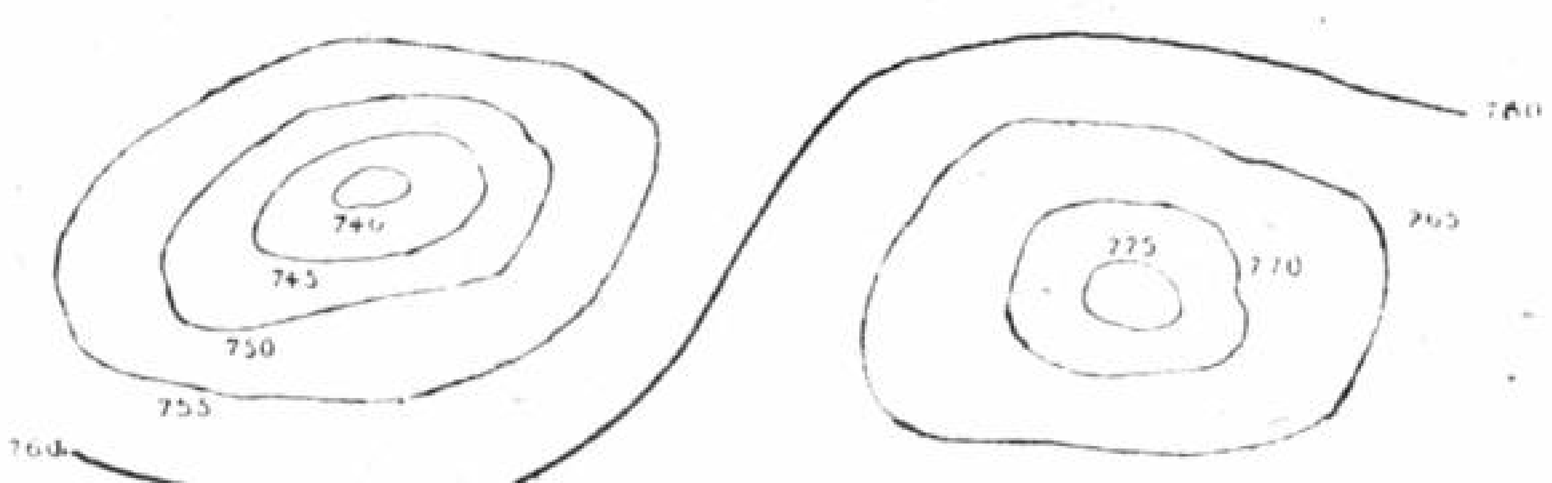
Force des vents. — La force du vent est normalement en relation avec l'importance du gradient.

Le vent est dit *vent normal* lorsque son coefficient est égal au double du gradient. Exemple : gradient 2; vent normal correspondant 4, soit vitesse du vent 8 mètres par secondes.

Le vent est dit *anormal par excès* ou *anormal par défaut* suivant que son coefficient est plus fort ou plus faible que le coefficient correspondant au gradient.

Direction des vents. — Il y a lieu de distinguer deux régimes bien différents de l'atmosphère, le cyclone et l'anticyclone.

Cyclone. — Dans le système cyclonique, les lignes d'égale pression ou isobares sont concentriques et la pression, minimum, au centre, croît du centre à la périphérie : l'ensemble présente donc la forme d'une cuvette.

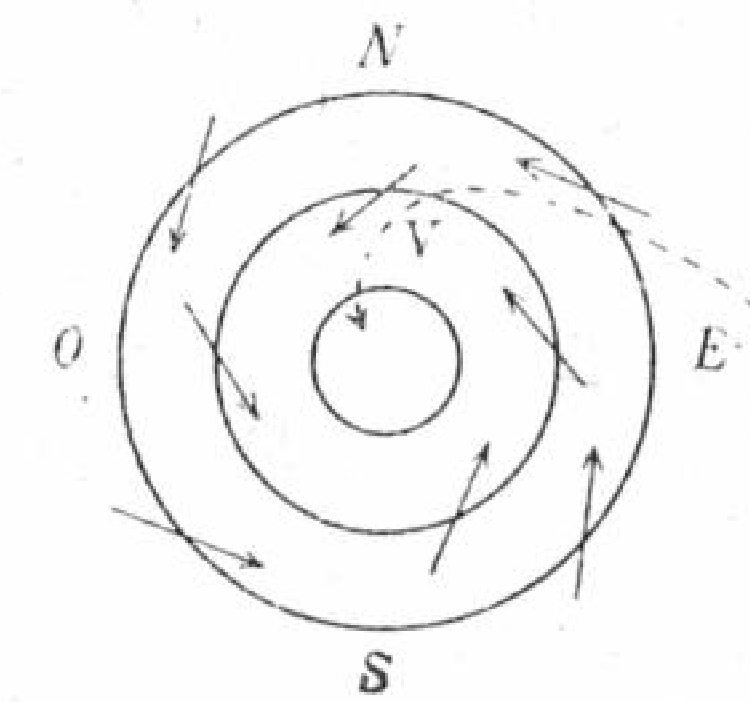


Cyclone Anticyclone

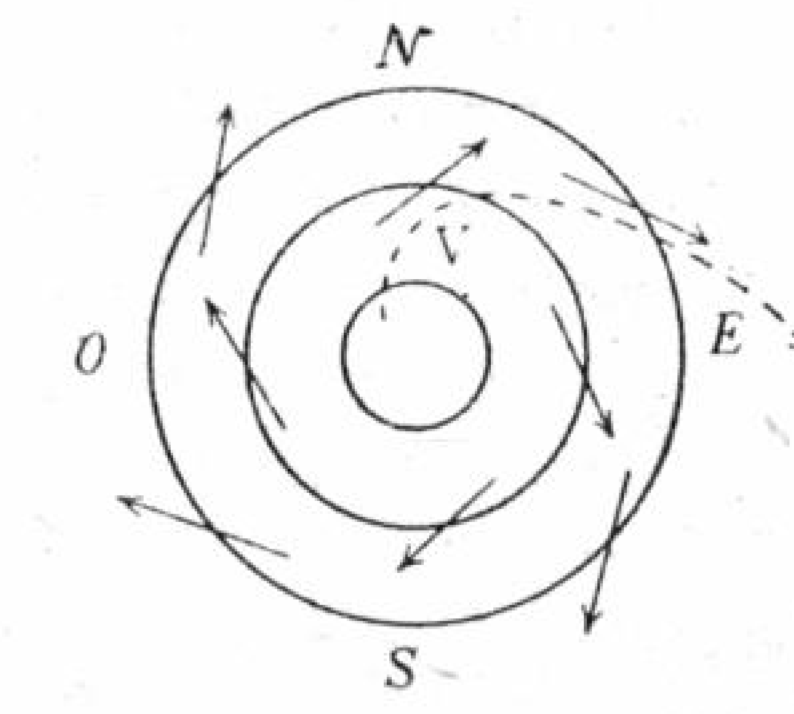
Anticyclone. — Dans le système anticyclonique, les lignes isobares sont encore concentriques, mais la pression, maximum

au centre, décroît du centre à la périphérie et l'ensemble affecte la forme d'un mamelon.

Vents normaux et anormaux en direction. — Normalement, les vents suivent une direction sensiblement tangentielle aux isobares, s'inclinant légèrement vers le centre et circulant dans le



Vents cycloniques convergents.



Vents anticycloniques divergents.

sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre, dans le cas du cyclone ; — s'inclinant au contraire légèrement vers la périphérie et circulant dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, dans le cas de l'anticyclone.

Les vents convergents ont donc une composante *centripète*; les vents divergents, une composante *centrifuge*.

Lorsque les vents sont divergents autour d'un cyclone, ou convergents autour d'un anticyclone, ce sont des *vents anormaux en direction*.

Règles de Guilbert pour la prévision du temps.

1°) Toute dépression qui donne naissance à des vents anormaux par excès se comblera plus ou moins rapidement.

2°) Les dépressions se déplacent en se dirigeant vers la région de moindre résistance, caractérisée par l'existence de vents anormaux par défaut ou en direction (divergents par rapport à la dépression considérée).

3°) Le mouvement de hausse barométrique, aussi bien dans les cyclones que dans les anticyclones, se propage de la droite vers la gauche des vents, convergents ou divergents, et la rapidité de ce mouvement est proportionnelle à la vitesse de ces vents.

Compression du cyclone. — Comme conséquence de la première règle, une dépression qui est entourée *de tous côtés* par des vents convergents et anormaux par excès, sera comblée sur place en 24 heures et souvent même en 12 heures, avec hausse barométrique maximum au centre : c'est le phénomène de la compression du cyclone.

(Voir *Nouvelle méthode de prévision du temps*, par Gabriel Guilbert, Paris, 1909 (Librairie aéronautique).

Relations entre la hauteur du baromètre et la direction d'où souffle le vent. (Observations de M. Bouvard, faites de 1816 à 1826.)

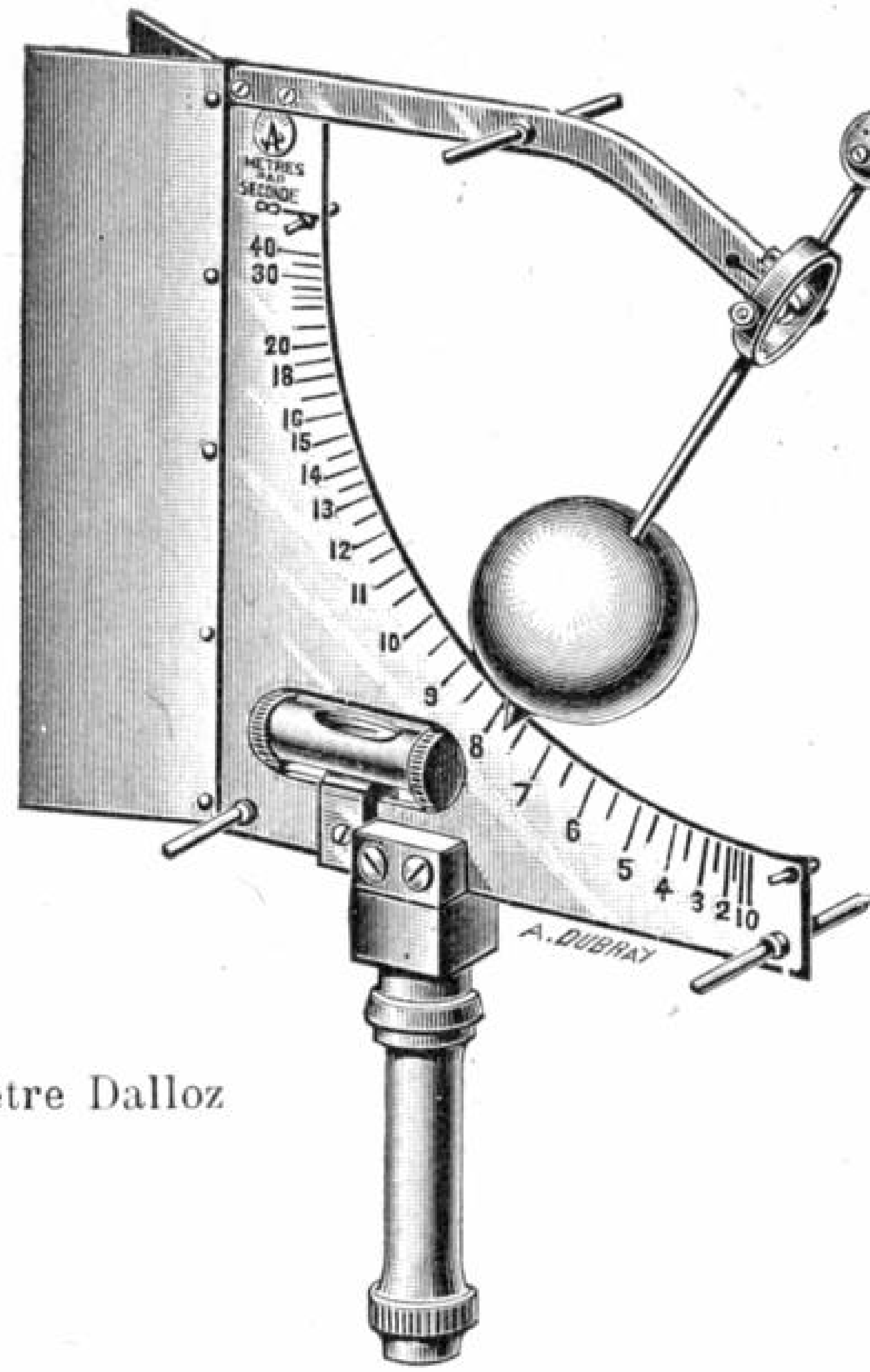
En moyenne, les vents du Nord dominent avec les hautes pressions et plus le baromètre est bas, plus la direction du vent tend vers le Sud.

Direction du vent.	Hauteur barométrique moyenne.	Nombre d'observations.
	m/m	
Nord	759,8	1470
Nord-Est	759,7	1142
Est	757,2	958
Sud-Est	754,3	658
Sud	752,8	2029
Sud-Ouest	753,2	2123
Ouest	756,0	2606
Nord-Ouest	758,4	1056
Nord	759,8	1470

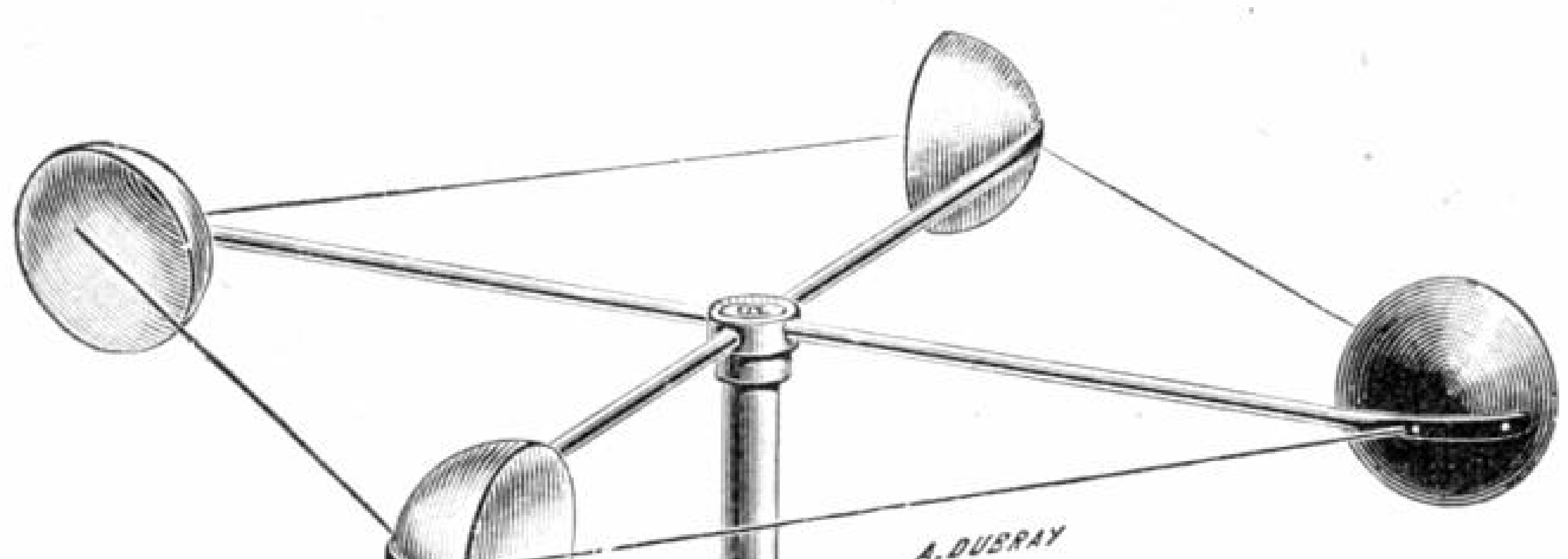
Vitesses du vent et pressions normales correspondantes
(d'après Coulomb et Borda)

Désignation des vents		Vitesse par seconde	Pression par mètre carré
		m	kg
Vent à peine sensible		1,00	0,14
Brise légère		2,00	0,54
Vent frais ou brise		4,00	2,17
Vent bon frais	tend bien les voiles	6,00	4,87
	le meilleur pour les moulins	7,00	6,64
	forte brise	8,00	8,67
	convenable p^r la navigation en mer	9,00	10,97
Vent grand frais	très forte brise	10,00	13,54
	fait serrer les hautes voiles	12,00	19,50
Vent très fort		15,00	30,47
Vent impétueux		20,00	54,16
Tempête		24,00	78,00
Tempête violente		30,05	122,28
Ouragan		36,15	176,96
Grand ouragan		45,30	277,87

Mesure de la vitesse du vent. — La vitesse du vent se mesure à l'aide d'instruments appelés anémomètres. Nous donnons la reproduction des deux types les plus répandus. L'anémomètre Dalloz est basé sur l'action de l'air sur une sphère creuse, action qui a l'avantage de toujours passer par le centre de cette sphère quelle que soit l'inclinaison de la tige à l'extrémité de laquelle celle-ci est fixée. Un cadran gradué permet de lire instantanément la vitesse. Quant au moulinet, les dimensions des bras et des coquilles sphériques ont été calculées de façon à ce que chaque tour du moulinet corresponde à un déplacement du vent, exactement égal à six mètres. Il suffit donc de compter le nombre de tours effectués pendant l'intervalle d'une minute et de diviser par dix ce nombre de tours pour avoir la vitesse du vent en mètres par seconde. Pour pouvoir compter facilement les tours, l'une des coquilles est peinte en noir.



Anémomètre Dalloz



Moulinet anémométrique

Tableau donnant le nombre de jours, par an, où le vent souffle avec une vitesse inférieure à une vitesse donnée.
(Ces chiffres résultent d'observations faites à l'observatoire de Chalais-Meudon.)

VITESSES DU VENT		Nombre de jours où la vitesse du vent est inférieure (pour une période d'un an).
en mètres par seconde.	en kilomètres à l'heure.	
m 2,50	9 k	39 jours.
5	18	117
7,50	27	197
10	36	258
12,50	45	297
15	54	323
17,50	63	342
20	72	350
22,50	81	354
25	90	358
27,50	99	361
30	108	363
32,50	117	364
35	126	364
37,50	135	364
40	144	365
42,50	153	365
45	162	365

Nuages. — On distingue quatre sortes de nuages-types :
Cirrus, nuages en filaments ou fibreux ;
Cumulus, nuages arrondis ou en boules ;
Stratus, nuages étagés en couches uniformes ;
Nimbus, nuages noirs, confus, d'où tombe la pluie.

Ces termes, employés soit seuls, soit deux à deux (*cirro-stratus*, *nimbo-cumulus*, etc.), soit encore joints avec un qualificatif (*alto-cumulus*, *mammato-cumulus*, *fracto-nimbus*, etc.), permettent de désigner toute espèce de nuages.

Les hauteurs des nuages sont très-variables ; d'après les observations de M. Teisserenc de Bort en Suède, voici la moyenne des altitudes relevées :

Désignation des nuages.		Altitudes moyennes observées.
Cirrus		8500 m.
Cirro-stratus	supérieurs	9250
	inférieurs	5200
Cirro-cumulus		6400
Alto-cumulus	supérieurs	5700
	inférieurs	2750
Strato-cumulus		2060
Cumulo-nimbus	sommet	2670
	base	1400
Cumulus	sommet	2020
	base	1390
Nimbus		1600
Stratus		810

Observation des cirrus. — De l'observation des cirrus on déduit certains renseignements sur les dépressions existantes, au moyen des deux règles suivantes :

1°) Les cirrus viennent du centre de dépression ;

2°) La vitesse de déplacement des cirrus est proportionnelle à l'importance de la dépression.

QUATRIÈME PARTIE

RENSEIGNEMENTS MATHÉMATIQUES

ARITHMÉTIQUE — ALGÈBRE

TRIGONOMÉTRIE — GÉOMÉTRIE

MÉCANIQUE

QUANTITÉS & UNITÉS GÉOMÉTRIQUES

Longueur.

Unité de longueur française (système métrique décimal) : 1 mètre.

Le mètre vaut 10 décimètres, 100 centimètres, 1,000 millimètres.

Le mètre vaut $\frac{1}{10}$ décamètre, $\frac{1}{100}$ hectomètre, $\frac{1}{1{,}000}$ kilomètre.

La lieue terrestre = 4 kilomètres.

Le mille marin = 1,852 mètres (60 milles par degré géographique).

Mesures anglaises de longueur :

1 inch (pouce)	= 0,025399	mètre.
1 foot (pied) = 12 pouces . . .	= 0,30479	—
1 yard = 3 pieds	= 0,91438	—
1 fathon (brasse) = 2 yards . .	= 1,82877	—
1 pole (perche) = 5 ½ yards. .	= 5,02911	—
1 furlong = 40 poles = 220 yards	= 201,164	—
1 mile (mille) = 8 furlongs = 1,760 yards.	= 1609,315	—

Surfaces.

Unité de surface française (système métrique décimal), 1 mètre carré (centiare).

Le mètre carré vaut 100 décimètres carrés, 10,000 centimètres carrés, 1,000,000 millimètres carrés.

1 are ou 1 décamètre carré = 100 mètres carrés = 100 centiares.

1 hectare = 100 ares = 10,000 mètres carrés.

1 kilomètre carré = 100 hectares = 1,000,000 mètres carrés.

Mesures anglaises de surface :

I square inch (pouce carré) . . = m. q. 0,000645
I square foot (pied carré) = 144
pouces q. . . . . = m. q 0,092900
I square yard (yard q.) = 9 pieds q. = m. q. 0,836097
I square pole (perche carrée) . = m. q. 25,291938
I rood = 40 perches q.. . . . . = ares 10,116775
I acre = 4 roods . . . . = hect. 0,404671
I square mile (mille carré) . . = kil. q. 2,58989477

Tableau de conversion des pouces, pieds et yards en mètres, centimètres, millimètres.

NOMBRE de	POUCES (INCHES)	PIEDS (FEET)	YARDS
1	0m0254	0m304 79	0m914 38
2	0,0508	0,609 59	1.828 77
3	0,0762	0,914 38	2,743 15
4	0,1016	1,219 18	3,657 53
5	0,1270	1.523 97	4,571 92
6	0,1523	1,828 77	5,486 30
7	0,1778	2,133 56	6,400 68
8	0,2032	2,438 36	7,315 07
9	0,2286	2,743 15	8.229 45
10	0,2539	3,047 94	9,143 83
11	0 2794	3,352 74	10,058 22
12	0,3048	3,657 53	10,972 60

CONVERSION EN MÈTRES ET CENTIMÈTRES CARRÉS DES MESURES ANGLAISES DE SURFACE

NOMBRE DE	SQUARE INCHES	SQUARE FEET	SQUARE YARDS
1	6cmq451366	0mq09289968	0mq83609713
2	12 902732	0 18579936	1 67219426
3	19 354098	0 27869904	2 50829139
4	25 805464	0 37159872	3 34438852
5	32 256830	0 46449840	4 18048565
6	38 708196	0 55739808	5 01658278
7	45 159562	0 65029776	5 85267991
8	51 610928	0 74319744	6 68877704
9	58 062294	0 83609712	7 52487417
10	64 513660	0 92899680	8 36097130
11	70 965026	1 02189648	9 19706843
12	77 416392	1 11479616	10 03316556

TABLEAU COMPARATIF DES UNITÉS DE SURFACE DE DIFFÉRENTS PAYS

Pieds, pouces et lignes carrés, exprimés en unités du système métrique

NOMS DES PAYS	NOMBRE DE DIVISIONS de l'unité	VALEUR DU PIED CARRÉ en mètres q.	VALEUR DU POUCE Q. en centim. q.	VALEUR DE LA LIGNE Q. en millim. q.	VALEUR DU MÈTRE Q. en pieds q.	VALEUR DU CENTIM. Q. en pouces q.	VALEUR DU MILLIM. Q. en lignes q.
Bade	10	0,090	9,00	9,00	11,1111	0,1111	0,111
Bavière	12	0,0852	5,9154	4,108	11,7396	0,1691	0,243
Brunswick	12	0,0814	5,6550	3,927	12,2802	0,1768	0,255
Hesse-Darmstadt . . .	10	0,0625	6,25	6,25	16,00	0,16	0,160
Prusse	12	0,0985	6,8406	4,75	10,1519	0,1462	0,210
Saxe	12	0,0802	5,5692	3,868	12,4694	0,1796	0,259
Würtemberg.	10	0,0821	8,2077	8,208	12,1837	0,1218	0,121
Angleterre, Amérique du Nord, Russie	12	0,0929	6,4514	4,48	10,7642	0,1550	0,223
Autriche	12	0,0999	6,9393	4,819	10,0079	0,1441	0,307
France (pied de Paris) .	12	0,1055	7,3278	5,089	9,4768	0,1364	0,196
Suède	10	0,0882	8,8150	8,815	11,3443	0,1134	0,113

TABLEAU COMPARATIF DES UNITÉS DE LONGUEUR DE DIFFÉRENTS PAYS

Pieds, pouces, lignes, etc., exprimés en unités du système métrique

NOMS DES PAYS	NOMBRE DE DIVISIONS de l'unité	1 PIED CONTIENT en mètres	1 POUCE CONTIENT en centim.	1 LIGNE CONTIENT en millim.	1 MÈTRE VAUT en pieds	1 CENTIM. VAUT en pouces	1 MILLIM. VAUT en lignes
Bade	10	0.300	3,00	3,00	3,3333	0,3333	0.333
Bavière	12	0,29186	2,432	2,03	3,4263	0,4112	0,493
Brunswick	12	0,28536	2,378	1,98	3,5043	0,4205	0,505
Hesse-Darmstadt . . .	10	0,250	2,50	2,50	4,00	0.400	0.400
Prusse	12	0,31385	2,615	2,18	3,1862	0,3823	0,459
Saxe	12	0,28319	2,36	1,97	3,5312	0,4237	0,509
Würtemberg.	10	0,28649	2.865	2,86	3,4905	0,3491	0,349
Danemark-Norwège . .	12	0 31385	2,615	2.18	3,1862	0,3823	0,459
Angleterre, Amérique du Nord, Russie	12	0.30479	2.54	2,12	3,2809	0,3937	0,472
France (pied de Paris) .	12	0,32484	2,707	2,26	3,0784	0,3694	0,443
Autriche	12	0.31610	2,634	2,20	3,1634	0,3796	0,456
Roumanie.	10	0,19620	1,962	1,96	3,0970	0.5097	0,510
Suède	10	0.29690	2,969	2,97	3,3681	0,3368	0,337

ARITHMÉTIQUE

Formules usuelles :

$$(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$$
$$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$
$$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$
$$(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$
$$(a - b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 - b^3$$

Partage proportionnel.

Partager un nombre a en parties x, y et z proportionnelles à des quantités données m, n et p.

$$x = \frac{am}{m+n+p} \quad y = \frac{an}{m+n+p} \quad z = \frac{ap}{m+n+p}$$

Progressions arithmétiques.

Notation : premier terme, a ; — dernier terme, l ; — nombre des termes, n ; — raison de la progression, r ; — somme des termes, S.

$$l = a + (n - 1)r$$
$$S = \frac{(a + l)n}{2}$$

Somme des n *premiers nombres entiers :*

$$S = \frac{n(n+1)}{2}$$

Somme des n *premiers nombres impairs :*

$$S = n^2$$

Somme des n *premiers nombres pairs :*

$$S = n(n + 1)$$

Progressions géométriques.

Même notation que pour les progressions arithmétiques.

$$l = ar^{n-1}$$
$$S = \frac{lr - a}{r - 1} = a\frac{r^n - 1}{r - 1}$$

Limite de S pour r < 1 *et pour* n $= \infty$:

$$S = \frac{a}{1 - r}$$

Somme des carrés des n *premiers nombres entiers :*

$$S = \frac{n(n+1)(2n+1)}{1.2.3}$$

Somme des carrés des n *premiers nombres impairs :*

$$S = \frac{1}{3}n(4n^2 - 1)$$

Somme des cubes des n *premiers nombres entiers :*

$$S = \left[\frac{n(n+1)}{2}\right]^2$$

Somme des cubes des n *premiers nombres impairs :*

$$S = n^2(2n^2 - 1)$$

Somme des n *premières puissances d'un nombre* a :

$$S = 1 + a + a^2 + a^3 + \ldots + a^n = \frac{a^{n+1} - 1}{a - 1}$$

ALGÈBRE

Résolution du système de deux équations du premier degré à deux inconnues :

$$\begin{cases} ax + by = c \\ a'x + b'y = c' \end{cases} \quad x = \frac{cb' - bc'}{ab' - ba'} \quad y = \frac{ac' - ca'}{ab' - ba'}$$

Résolution de l'équation du second degré :

$$\begin{cases} ax^2 + bx + c = 0 \\ x = \dfrac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4\,ac}}{2\,a} \end{cases} \qquad \begin{cases} x^2 + px + q = 0 \\ x = -\dfrac{p}{2} \pm \sqrt{\dfrac{p^2}{4} - q} \end{cases}$$

Relations entre les coefficients et les racines x' *et* x'' *:*

$$x' + x'' = -p \qquad x'\,x'' = q$$

Logarithmes.

L logarithme naturel, hyperbolique ou népérien.
log. logarithme vulgaire.
e base des logarithmes népériens.
M module des logarithmes vulgaires.
On a la relation :

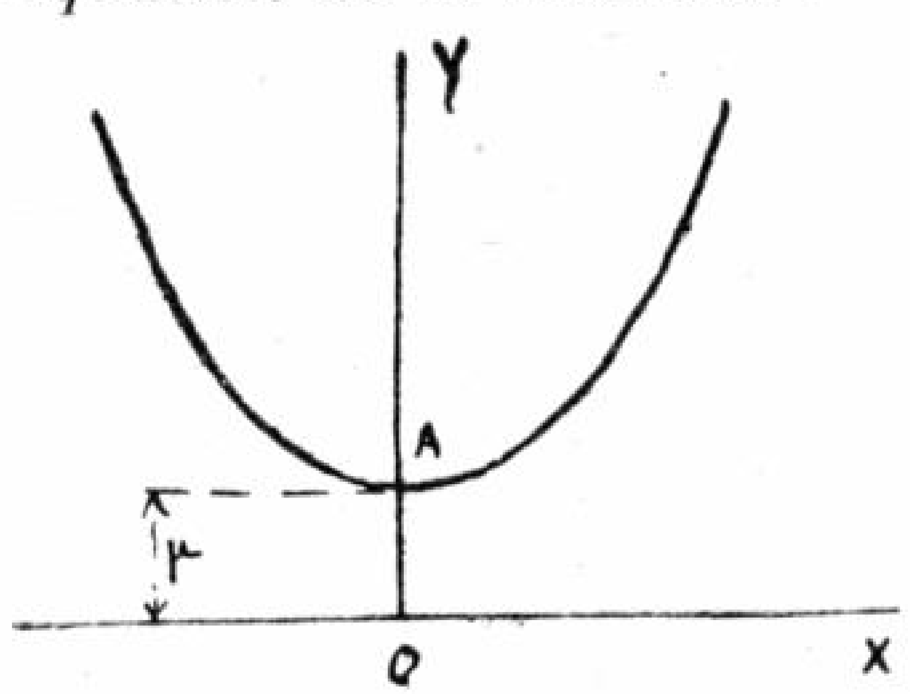
$$log.\ n = \mathrm{ML}n$$

$$e = limite\left(1 + \frac{1}{n}\right) = 2{,}71828\ 18284\ 59045\ 23536\ 02875$$

$$\mathrm{M} = log.\ e = 0{,}43429\ 44819\ 03251\ 82765\ 11289$$

$$\frac{1}{\mathrm{M}} = \mathrm{L}\ 10 = 2{,}30258\ 50929\ 94045\ 68401\ 79915$$

Équation de la chaînette :



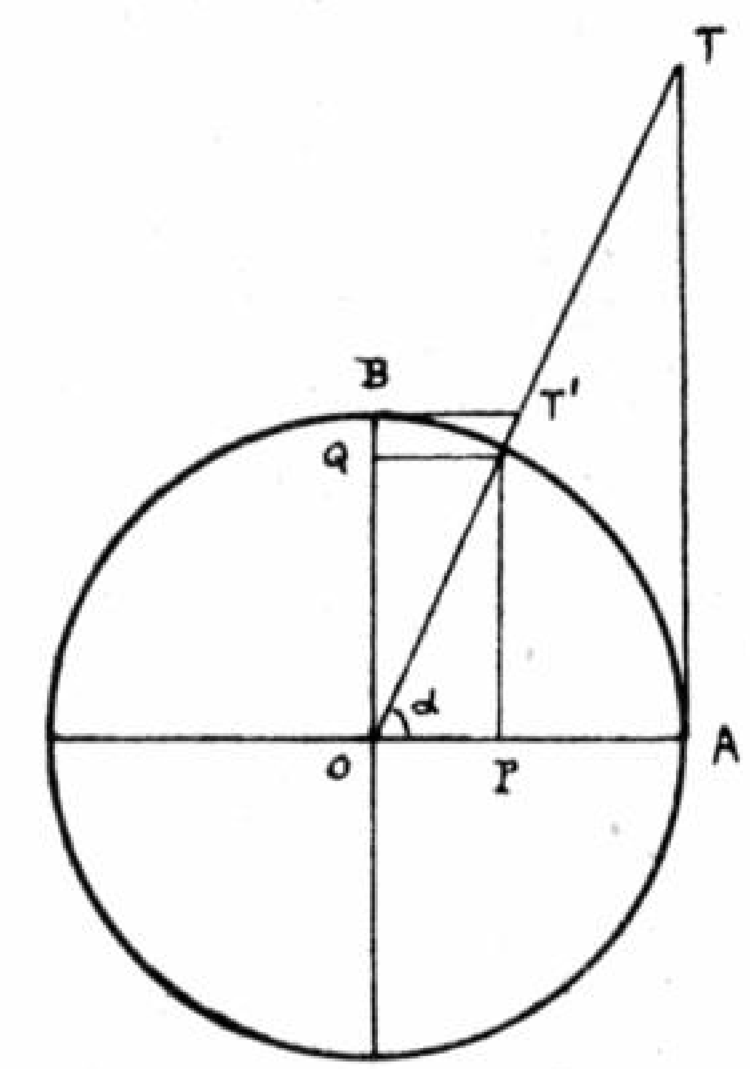
La longueur OA $= \mu$ ($y = \mu$ pour $x = 0$) s'appelle le *paramètre* de la chaînette.

$$y = \frac{\mu}{2}\left(e^{\frac{x}{\mu}} + e^{-\frac{x}{\mu}}\right)$$

TRIGONOMÉTRIE

Dans le cercle trigonométrique de rayon OA $= 1$ les lignes trigonométriques d'un angle MOA $= \alpha$ sont :

MP	*sin* α
MQ	*cos* α
AT	*tg* α
BT'	*cotg* α
OT	*sec* α
OT'	*cosec* α



Relations fondamentales :

$$sin^2\,\alpha + cos^2\,\alpha = 1$$

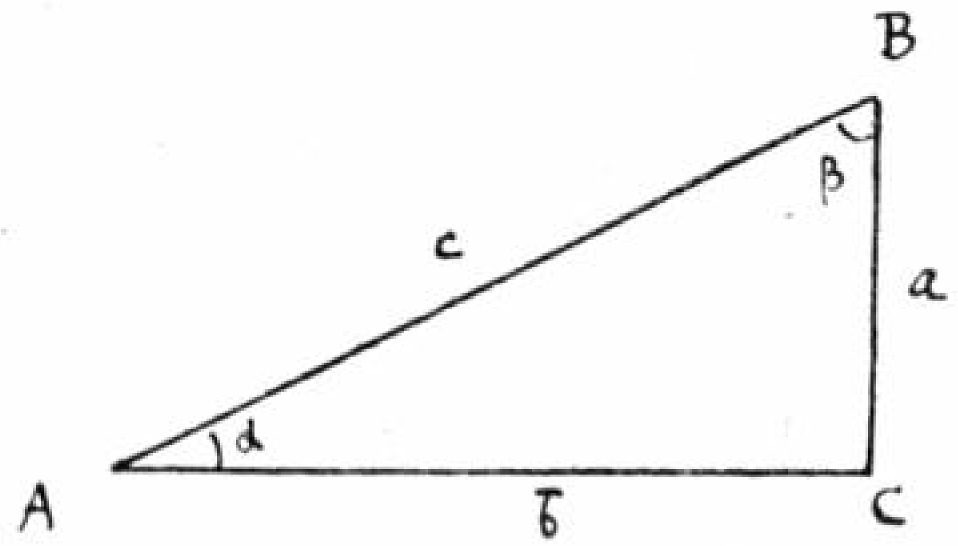
$$tg\ \alpha = \frac{sin\ \alpha}{cos\ \alpha}$$

$$sec\ \alpha = \frac{1}{cos\ \alpha}$$

$$cotg\ \alpha = \frac{1}{tg\ \alpha} = \frac{cos\ \alpha}{sin\ \alpha}$$

$$cosec\ \alpha = \frac{1}{sin\ \alpha}$$

Relations entre les angles et les côtés d'un triangle rectangle :



$$a = b\ tg\ \alpha \qquad tg\ \alpha = \frac{a}{b}$$

$$b = a\ tg\ \beta \qquad tg\ \beta = \frac{b}{a}$$

$$a = c\ sin\ \alpha \qquad sin\ \alpha = \frac{a}{c}$$

$$b = c\ cos\ \alpha \qquad cos\ \alpha = \frac{b}{c}$$

$$a = c\ cos\ \beta \qquad cos\ b = \frac{a}{c}$$

$$b = c\ sin\ \beta \qquad sin\ \beta = \frac{b}{c}$$

Principales formules usuelles :

$$sin\ (\alpha \pm \beta) = sin\ \alpha\ cos\ \beta \pm cos\ \alpha\ sin\ \beta$$
$$cos\ (\alpha \pm \beta) = cos\ \alpha\ cos\ \beta \pm sin\ \alpha\ sin\ \beta$$

$$sin\ 2\ \alpha = 2\ sin\ \alpha\ cos\ \alpha$$
$$cos\ 2\ \alpha = cos^2\ \alpha - sin^2\ \alpha$$

$$tg\ (\alpha \pm \beta) = \frac{tg\ \alpha \pm tg\ \beta}{1 \pm tg\ \alpha\ tg\ \beta}$$

$$cotg\ (\alpha \pm \beta) = \frac{cotg\ \alpha\ cotg\ \beta \pm 1}{cotg\ \alpha \pm cotg\ \beta}$$

$$sin\ \alpha + sin\ \beta = 2\ sin\ \frac{\alpha + \beta}{2}\ cos\ \frac{\alpha \quad \beta}{2}$$

$$sin\ \alpha - sin\ \beta = 2\ cos\ \frac{\alpha + \beta}{2}\ sin\ \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$cos\ \alpha + cos\ \beta = 2\ cos\ \frac{\alpha + \beta}{2}\ cos\ \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$cos\ \alpha - cos\ \beta = -\ 2\ sin\ \frac{\alpha + \beta}{2}\ sin\ \frac{\alpha - \beta}{2}$$

$$tg\ \alpha \pm tg\ \beta = \frac{sin\ (\alpha \pm \beta)}{cos\ \alpha\ cos\ \beta}$$

$$cotg\ \alpha \pm cotg\ \beta = \frac{sin\ (\alpha \pm \beta)}{sin\ \alpha\ sin\ \beta}$$

$$sin\ \alpha = 2\ sin\ \frac{\alpha}{2}\ cos\ \frac{\alpha}{2}$$

$$cos\ \alpha = cos^2\ \frac{\alpha}{2} - sin^2\ \frac{\alpha}{2} = 1 - 2\ sin^2\ \frac{\alpha}{2}$$

$$tg\ \alpha = \frac{2\ tg\ \frac{\alpha}{2}}{1 - tg^2\ \frac{\alpha}{2}}$$

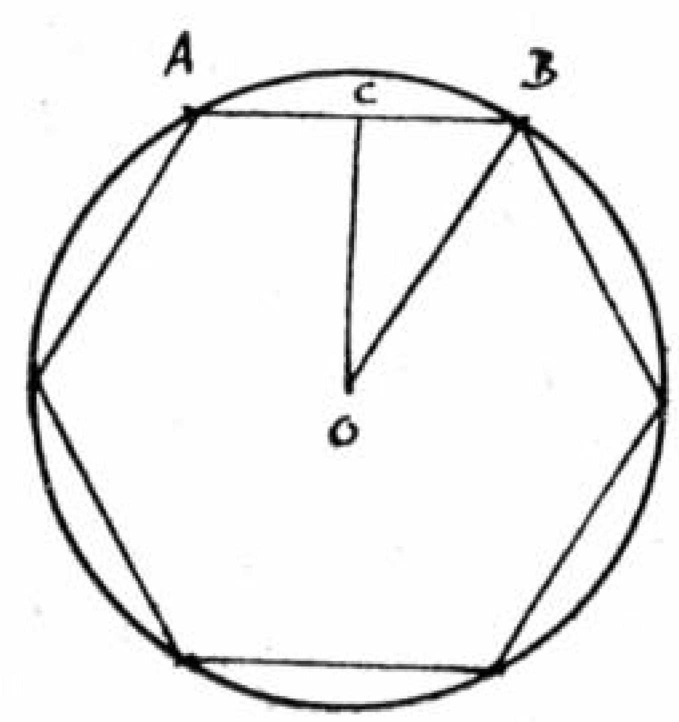
$$cotg\ \alpha = \frac{cotg^2\ \frac{\alpha}{2} - 1}{2\ cotg\ \frac{\alpha}{2}}$$

GÉOMÉTRIE

Polygones réguliers.

Notations :

côté du polygone AB	c
rayon OB du cercle circonscrit	R
rayon OC du cercle inscrit (apothème)	r
nombre des côtés du polygone	n
surface du polygone	S



Somme des angles du polygone :

$$2\,(n-2) \times 90^\circ$$

$$c = 2\,\mathrm{R}\,sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right) = 2\,r\,tg\left(\frac{180^\circ}{n}\right)$$

$$\mathrm{S} = n\,\mathrm{R}^2\,sin\left(\frac{360^\circ}{n}\right) = n\,r^2\,tg\left(\frac{180^\circ}{n}\right) = \frac{n\,c^2}{4}\,cotg\left(\frac{180^\circ}{n}\right)$$

NOM DU POLYGONE	NOMBRE des CÔTÉS	R en fonction de c	r en fonction de c	c en fonction de R	c en fonction de r	S en fonction de c^2	S en fonction de R²
Triangle	3	0,577	0,289	1,732	3,463	0,433	1,299
Carré	4	0,707	0,500	1,414	2,000	1,000	2,000
Pentagone	5	0,851	0,695	1,176	1,453	1,721	2,378
Hexagone	6	1,000	0,866	1,000	1,155	2,598	2,598
Heptagone	7	1,152	1,038	0,868	0,963	3,634	2,736
Octogone	8	1,307	1,208	0,765	0,828	4,828	2,828
Ennéagone	9	1,462	1,374	0,684	0,728	6,182	2,892
Décagone	10	1,618	1,540	0,618	0,649	7,694	2,939
Endécagone	11	1,776	1,710	0,563	0,587	9,366	2,976
Dodécagone	12	1,930	1,866	0,518	0,536	11,190	3,000

Surfaces planes.

Triangle. — Notations :

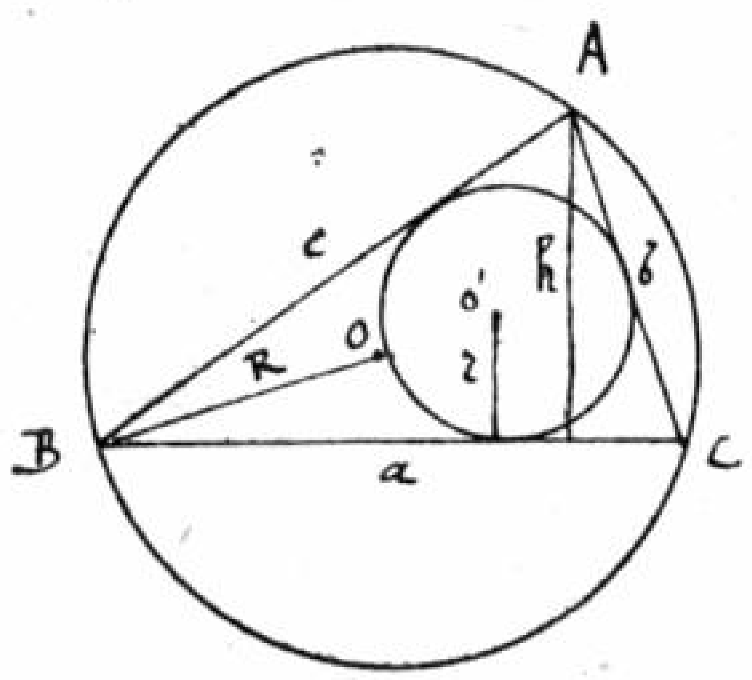
côtés a, b, c

demi-périmètre $p = \dfrac{a+b+c}{2}$

hauteur du triangle h

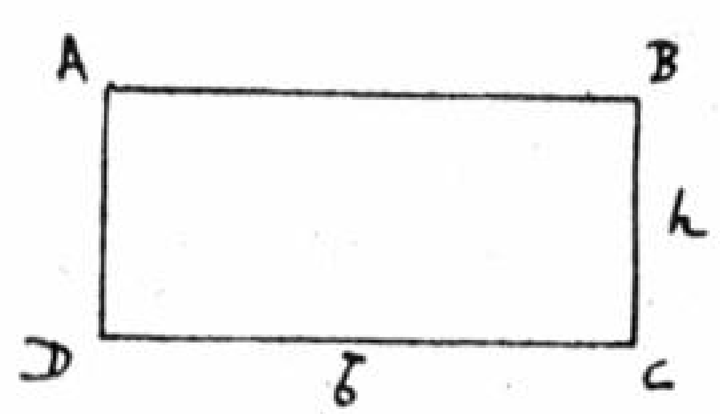
base du triangle a

$$\left\{\begin{aligned} S &= \frac{ah}{2} \\ S &= \sqrt{p\,(p-a)\,(p-b)\,(p-c)} \\ S &= \frac{abc}{4\,R} \\ S &= pr \end{aligned}\right.$$



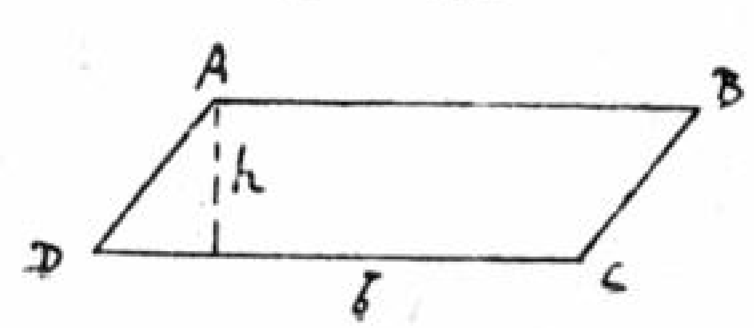
Rectangle :

$$S = bh$$

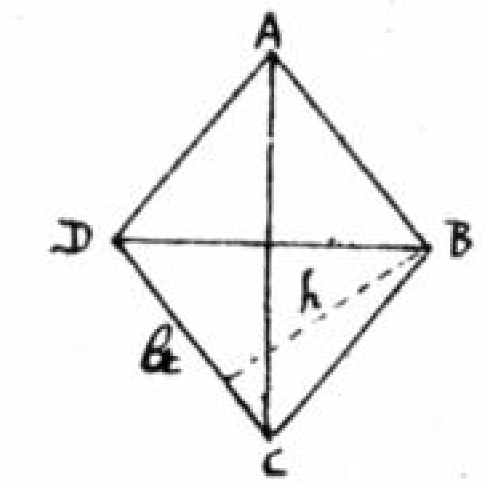


Parallélogramme :

$$S = bh$$



Losange. — Notations :



diagonale AC $= d_1$

diagonale BD $= d_2$

côté du losange $= b$

$$\left\{\begin{aligned} S &= bh \\ S &= \frac{d_1\,d_2}{2} \end{aligned}\right.$$

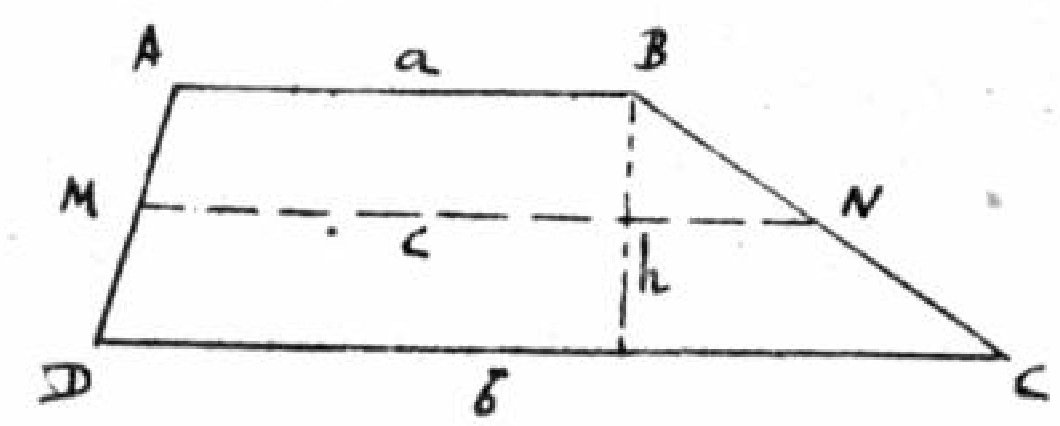
Trapèze. — Notations :

côtés parallèles a et b

hauteur h

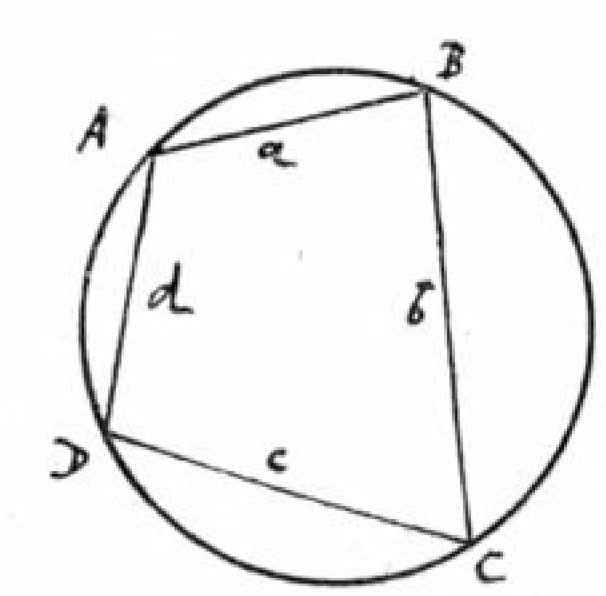
$$c = \frac{a+b}{2}$$

$$S = \frac{a+b}{2}\,h = ch$$



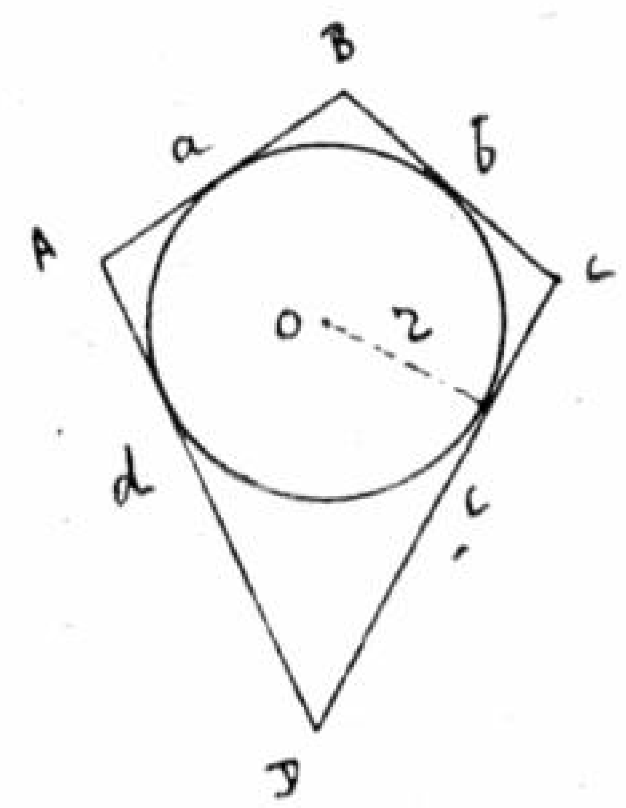
Quadrilatère inscriptible :

$$\left\{\begin{aligned} p &= \frac{a+b+c+d}{2} \\ S &= \sqrt{p\,(p-a)\,(p-b)\,(p-c)\,(p-d)} \end{aligned}\right.$$

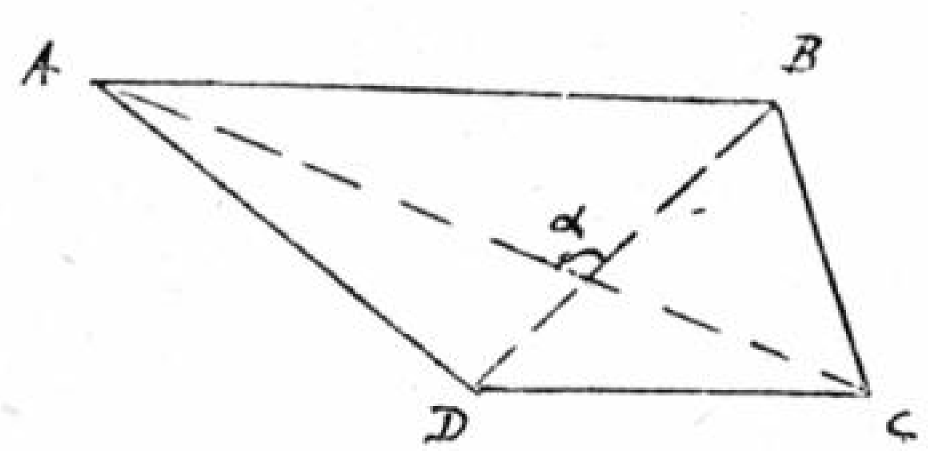


Quadrilatère circonscriptible :

$$\begin{cases} S = pr \\ p = \dfrac{a+b+c+d}{2} \end{cases}$$



Quadrilatère quelconque :



diagonale AC $= d_1$
diagonale BD $= d_2$
angle des diagonales $= \alpha$

$$S = \frac{1}{2} d_1 \; d_2 \; \sin \alpha$$

Cercle :

diamètre AB = D
rayon oc = R
circonférence $C = 2\pi R = \pi D$

longueur de l'arc $Bc = \pi D \dfrac{\alpha}{360} = \pi R \dfrac{\alpha}{180}$

(L'angle α étant exprimé en degrés). Pour R = 1, on a :

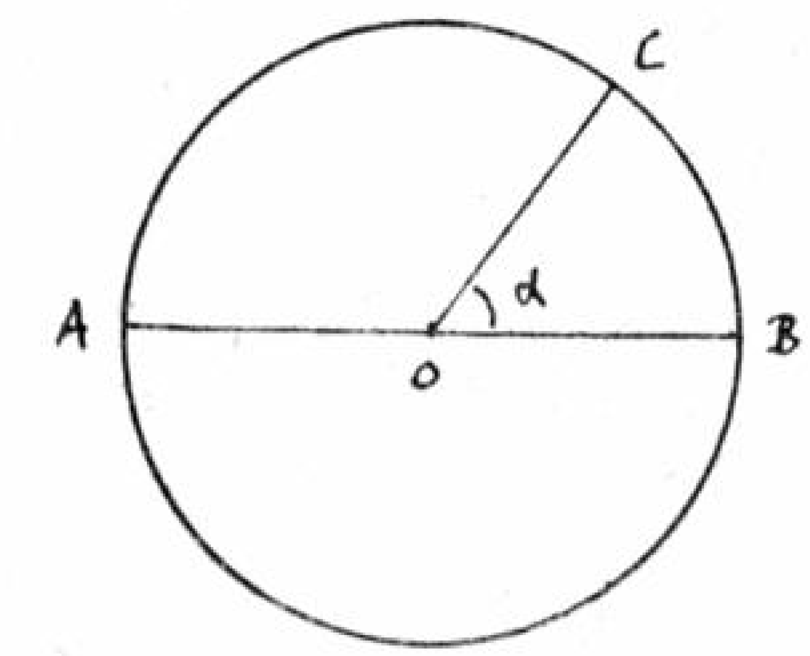
$$\text{arc de } 1^\circ = \frac{\pi}{180} = 0{,}017453293$$

$$\text{arc de } 1' = \frac{\pi}{10{,}800} = 0{,}0002908882$$

$$\text{arc de } 1'' = \frac{\pi}{648{,}000} = 0{,}000004848$$

Rapport de la circonférence au diamètre :

$$\pi = 3{,}14159265358979323 84\ldots$$



Facteurs usuels :

$\pi^2 = 9{,}8696044$	$\sqrt[3]{\dfrac{1}{\pi}} = 0{,}6827841$
$\pi^3 = 31{,}0062767$	$\log \pi = 0{,}497149872694$
$\sqrt{\pi} = 1{,}7724539$	$\log \dfrac{1}{\pi} = \overline{1}{,}502850$
$\sqrt{\pi} = 1{,}4645919$	$\log \sqrt{\pi} = 0{,}248575$
$\dfrac{1}{\pi} = 0{,}31830988$	$\log \sqrt{\dfrac{1}{\pi}} = \overline{1}{,}751425$
$\sqrt{\dfrac{1}{\pi}} = 0{,}5641896$	$\log \sqrt[3]{\dfrac{1}{\pi}} = \overline{1}{,}834283$

Surface du cercle :

$$S = \pi R^2 = \pi \frac{D^2}{4} = 0{,}785 \; D^2$$

Secteur ACBO :

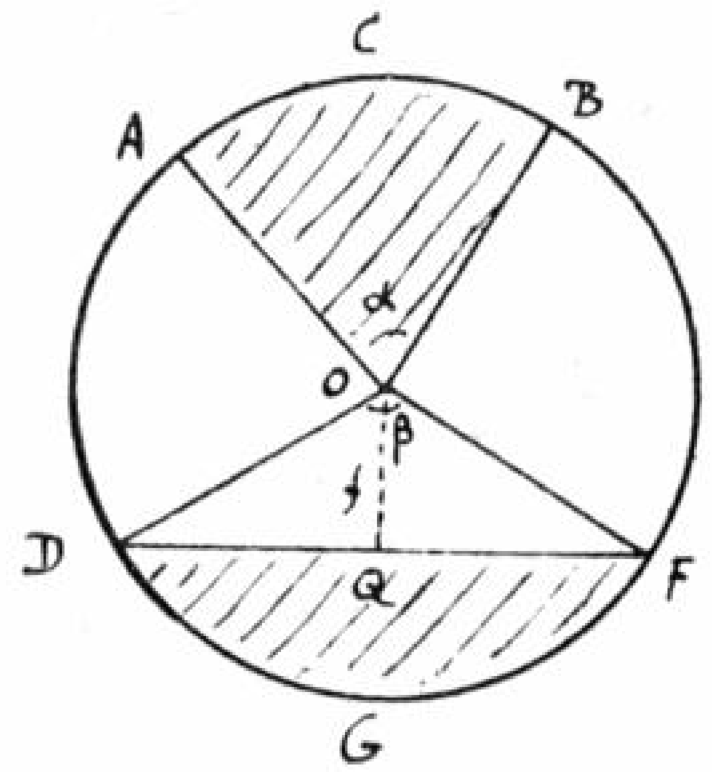
$$S = \pi R^2 \frac{\alpha}{360}$$

Segment DGF : désignons la corde DF par c et OQ par f.

$$S = \pi R^2 \frac{\beta}{360} - \frac{c}{2}(R - f)$$

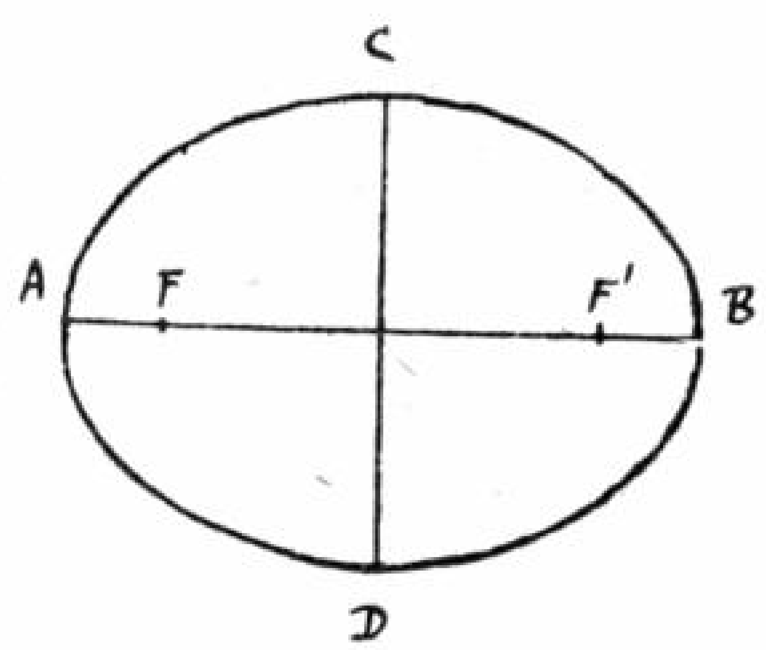
Tranche de cercle :

Se mesure par la différence de deux segments.

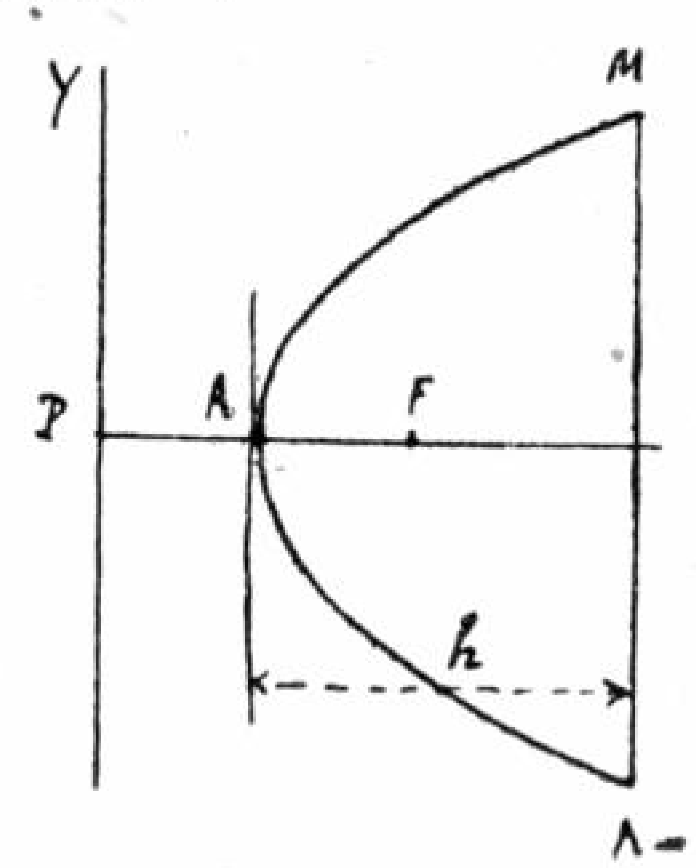


Ellipse. — Notations :

grand axe AB $= 2\,a$
petit axe CD $= 2\,b$
$S = \pi ab$



Parabole :



surface du segment MAN
F foyer de la parabole
A sommet de la parabole

$$AF = AP = \frac{p}{2}$$

$$S = \frac{2}{3}\,bh = \frac{4}{3}\,h\sqrt{2\,ph}$$

Surfaces courbes.

Sphère. — Notations :

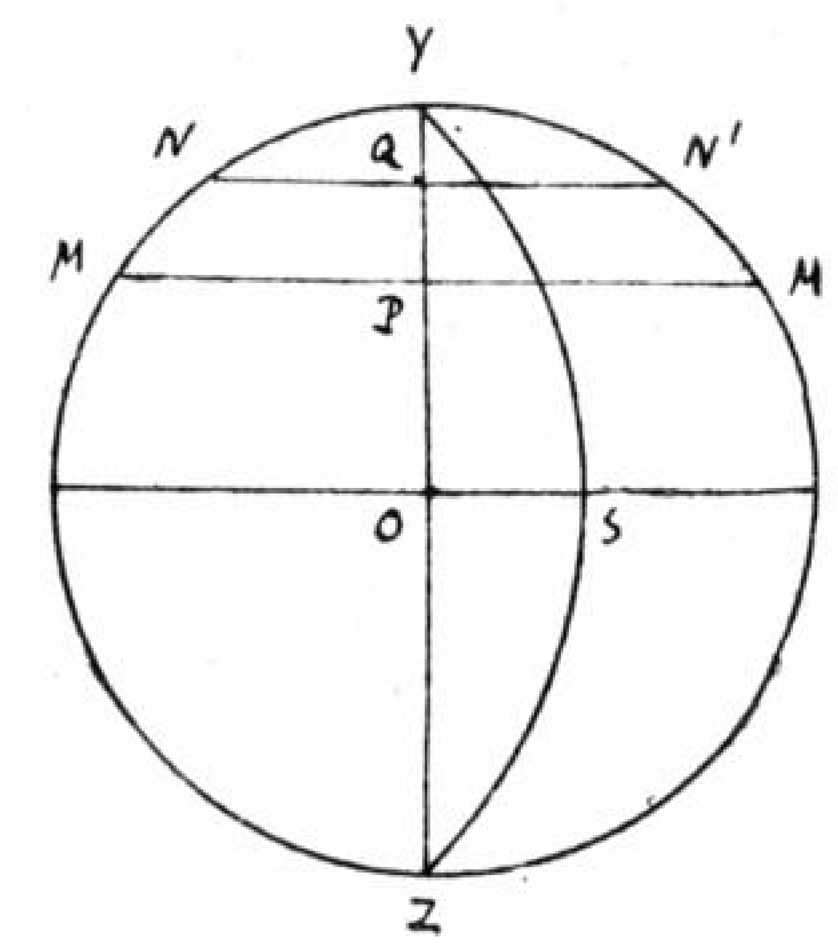
diamètre D
rayon R
surface $S = 4\,\pi R^2 = \pi D^2$

Calotte sphérique NYN'Q. $YQ = h$
$S = 2\,\pi Rh$

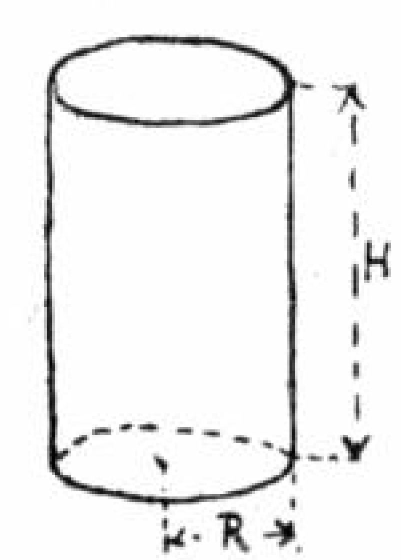
Zone sphérique NN'M'M. $PQ = h$
$S = 2\,\pi Rh$

Fuseau YSZT. — Angle des deux méridiens $\alpha°$.

$$S = \pi R^2\,\frac{\alpha}{90°}$$



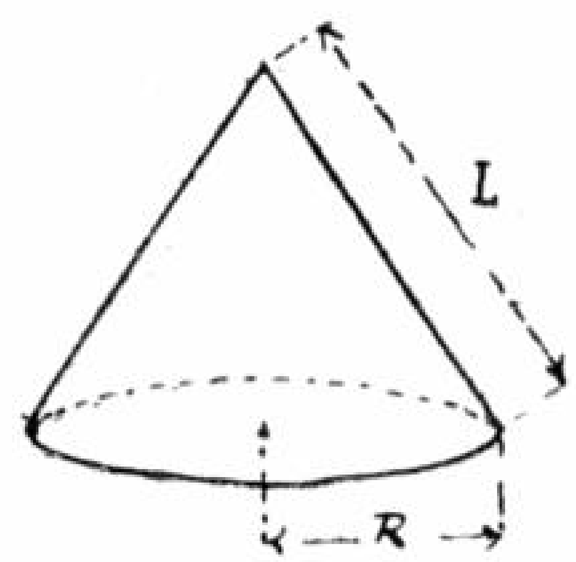
Cylindre droit :



rayon de la base R
hauteur d'une génératrice H
$S = 2\,\pi RH$

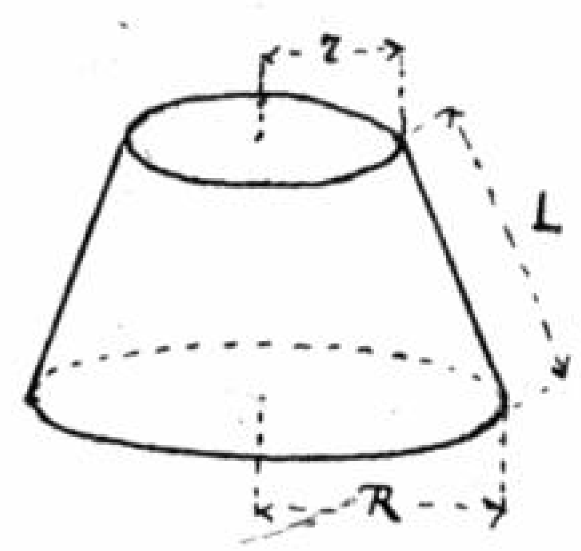
Cône droit à base circulaire :

rayon du cercle de base R
longueur d'une génératrice L
S = πRL



Tronc de cône circulaire droit à bases parallèles :

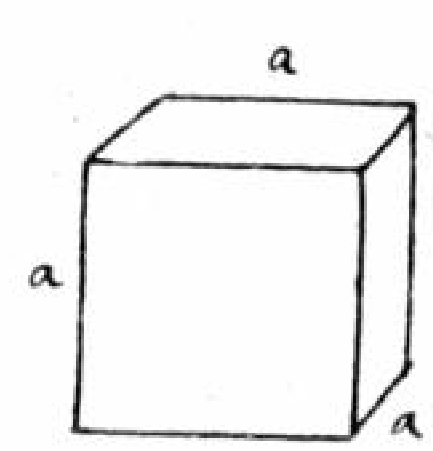
rayons des bases R et r
longueur d'une génératrice L
S = π (R + r) L



Volumes.

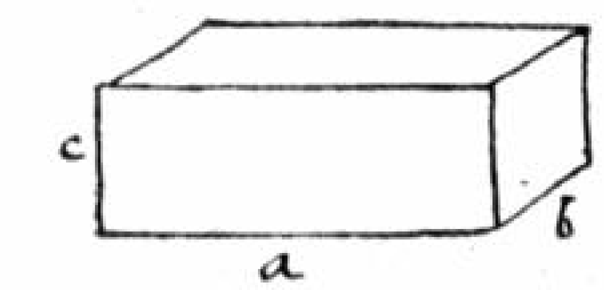
Cube :

côté du cube a
V = a^3



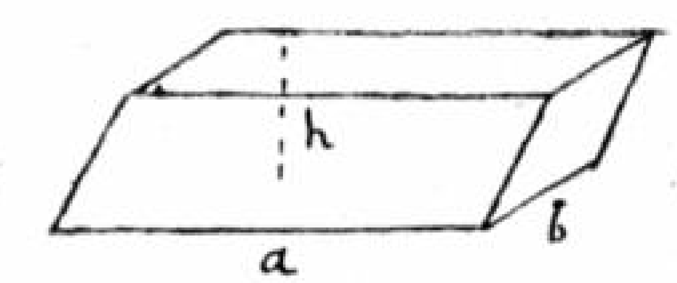
Parallélipipède rectangle :

côtés a, b, c
V = abc



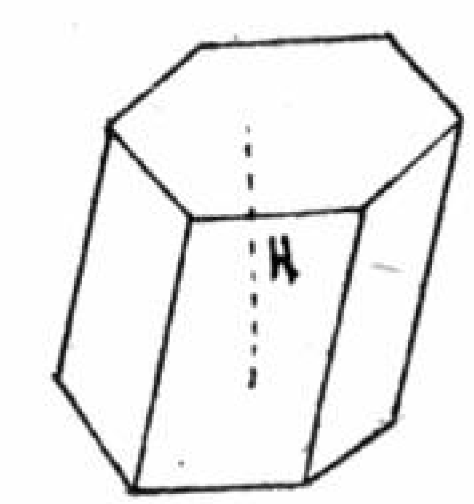
Parallélipipède oblique :

côtés de la base a, b
hauteur h
V = abh

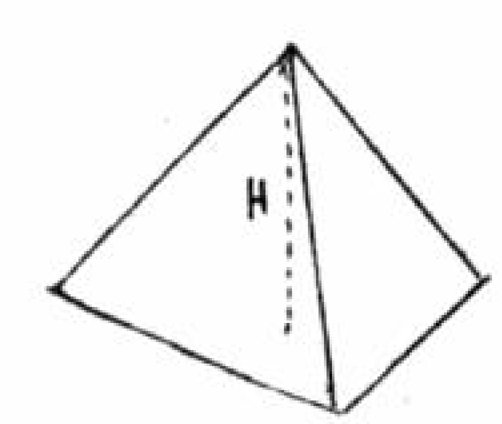


Prisme droit ou oblique :

surface de la base B
hauteur H
V = BH



Tétraèdre. — Mêmes notations :



$$V = \frac{1}{3} BH$$

Pyramide :

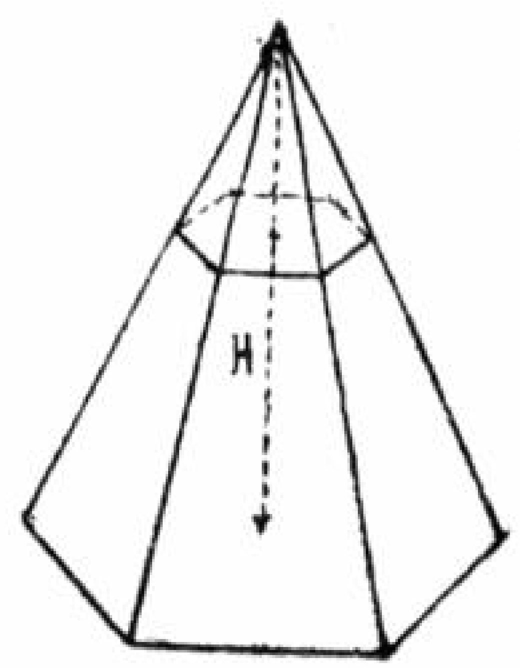
surface de la base B
hauteur de la pyramide H

$$V = \frac{1}{3} BH$$

Tronc de pyramide :

surface des bases b et B
hauteur du tronc H

$$V = \frac{1}{3} H (B + b + \sqrt{Bb})$$

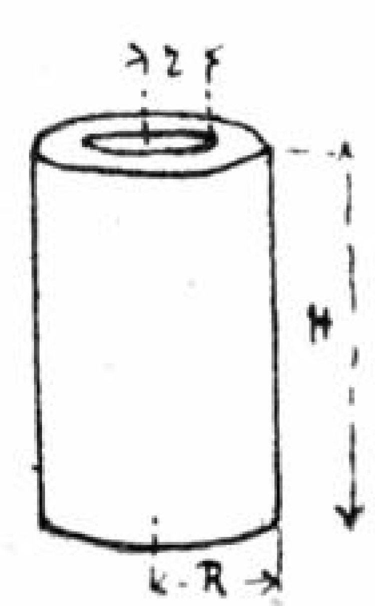


Cylindre circulaire droit :

rayon de la base R
hauteur du cylindre H
$V = \pi R^2 H$

Cylindre creux :

rayons de la base r, R
$V = \pi H [R^2 - r^2]$



Cône circulaire :

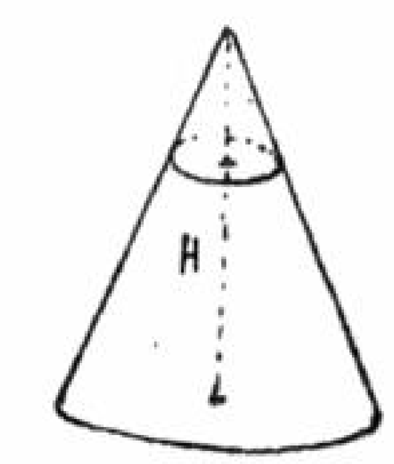
rayon de la base R
hauteur du cône H

$$V = \pi R^2 \frac{H}{3}$$

Tronc de cône circulaire :

rayons des bases r et R
hauteur du tronc H

$$V = \frac{1}{3} \pi H (R^2 + r^2 + Rr)$$



Sphère :

rayon de la sphère R

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

Sphère creuse :

rayon OA = R
OB = r

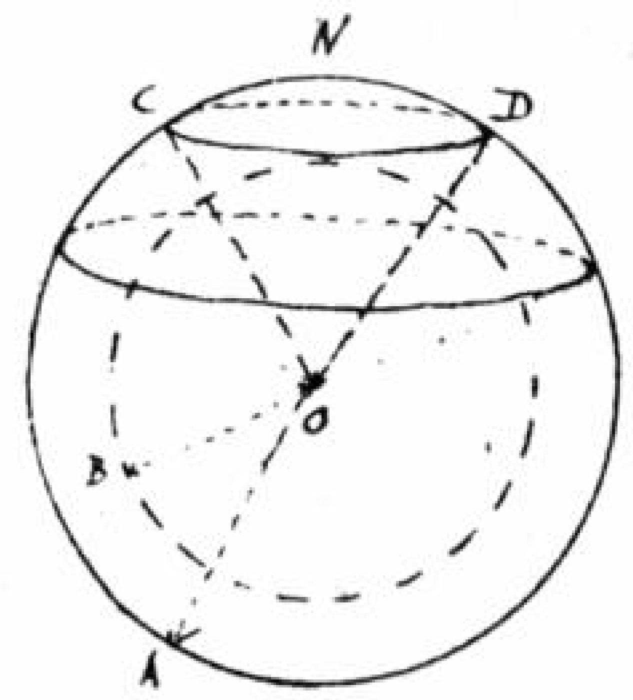
$$V = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3)$$

Secteur de sphère :

volume du secteur sphérique OCND = V
distance de N au plan cD = H

$$V = \frac{2}{3} \pi R^2 H$$

Segment de sphère :



volume du segment sphérique CDN = V
hauteur du segment H
rayon de la base r

$$V = \pi H \left(\frac{r^2}{2} + \frac{H^2}{6} \right)$$

MÉCANIQUE

STATIQUE

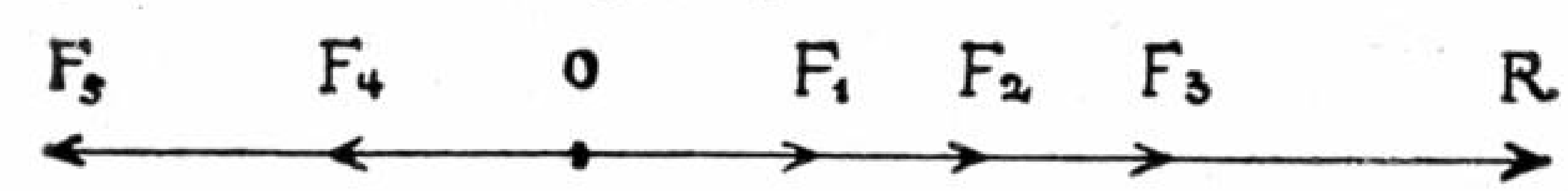
Forces.

Une force est complètement déterminée si l'on connaît sa *direction*, son *intensité* et son *point d'application.*

On représente une force par un segment de droite OF partant du point d'application O, dirigé suivant le sens de la direction de la force, et ayant une longueur OF proportionnelle à son intensité.

Composition des forces.

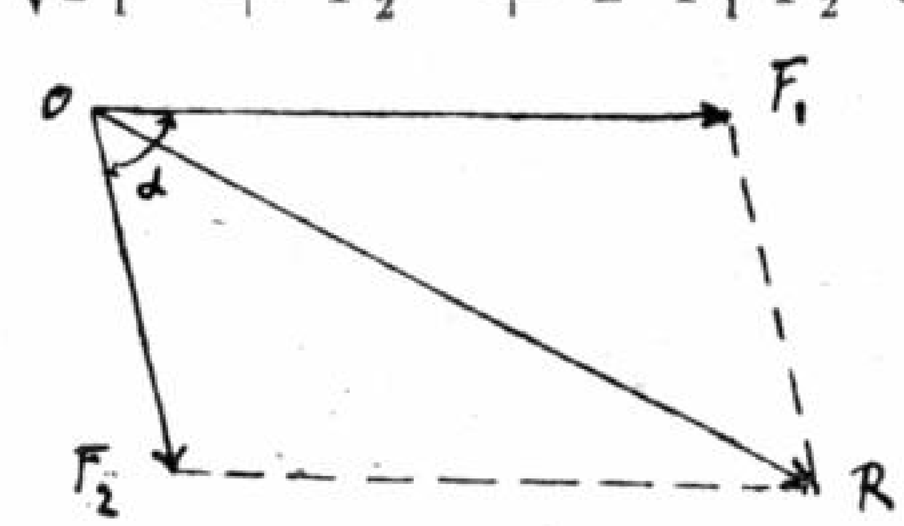
1° *Forces concourantes et parallèles.* — La résultante de plusieurs forces concourantes et parallèles est une force appliquée au point d'application commun, dirigée dans le même sens que les forces et dont l'intensité est égale à la somme algébrique de ces forces.



$$R = F_1 + F_2 + F_3 - (F_4 + F_5)$$

2° *Forces concourantes non parallèles.* — La résultante des deux forces F_1 et F_2 faisant ensemble l'angle α est dirigée suivant la diagonale du parallélogramme des forces et son intensité est

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2\ F_1\ F_2\ cos\ \alpha}$$



Si l'angle α est droit

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

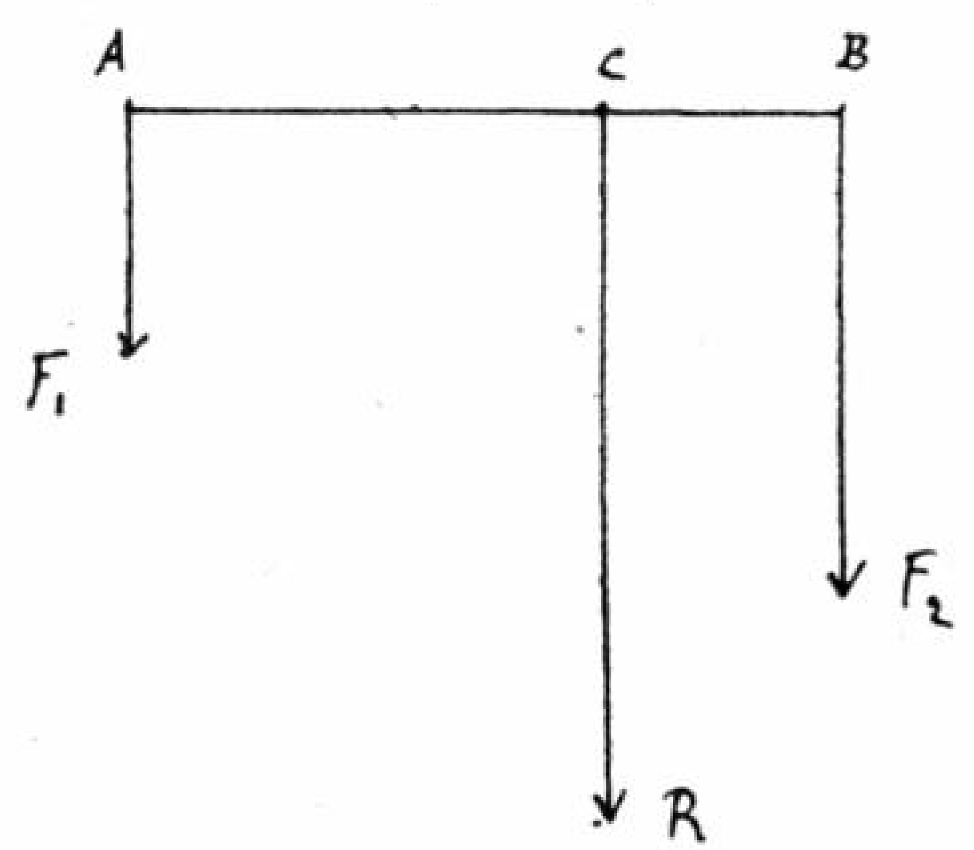
S'il y a plus de deux forces concourantes, on compose d'abord deux forces quelconques, puis leur résultante avec une troisième force, puis cette nouvelle résultante avec une quatrième force, etc.

3° *Forces parallèles non concourantes.* — La résultante des deux forces F_1 et F_2 est

$$R = F_1 + F_2$$

Le point d'application C de la résultante est sur la droite AB qui joint les points d'application des forces F_1 et F_2 et est déterminé par

$$\frac{AC}{BC} = \frac{F_2}{F_1}$$



S'il y a plus de deux forces, on compose d'abord F_1 et F_2, puis leur résultante R_1 avec F_3, ce qui donne R_2 ; on compose ensuite R_2 avec F_4, etc.

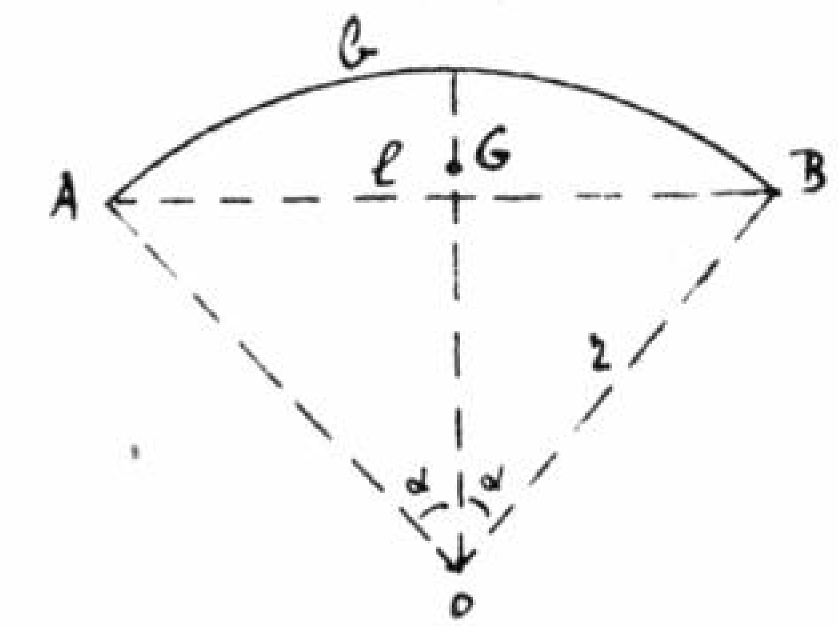
Centres de gravité. — C'est le point d'application de la résultante des forces dues à la pesanteur, agissant sur un corps solide.

Arc de cercle :

Longueur de l'arc de cercle AB $= b$
longueur de la corde AB $= l$
rayon du cercle $= r$
angle au centre $= 2\alpha$

Le centre de gravité G est sur le rayon normal à la corde

$$OG = r\,\frac{\sin\alpha}{\alpha} = r\,\frac{l}{b}$$



si l'arc AB est une demi-circonférence

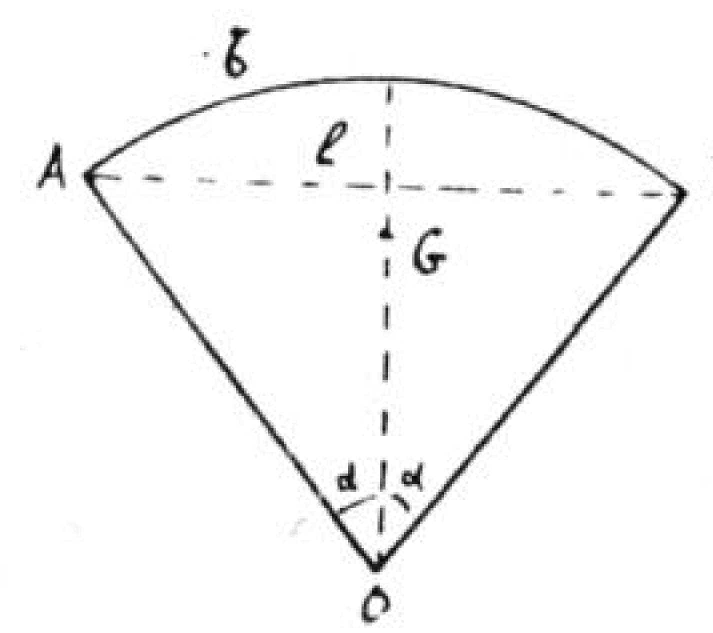
$$OG = \frac{2r}{\pi} = 0{,}636\,r$$

Secteur du cercle. — Mêmes notations :

Le centre de gravité G est sur le rayon normal à la corde

$$OG = \frac{2}{3}\,r\,\frac{\sin\alpha}{\alpha} = \frac{2}{3}\,r\,\frac{l}{b}$$

Dans le cas d'un demi-cercle



$$l = 2r \qquad b = \pi r \qquad \alpha = \frac{\pi}{2}$$

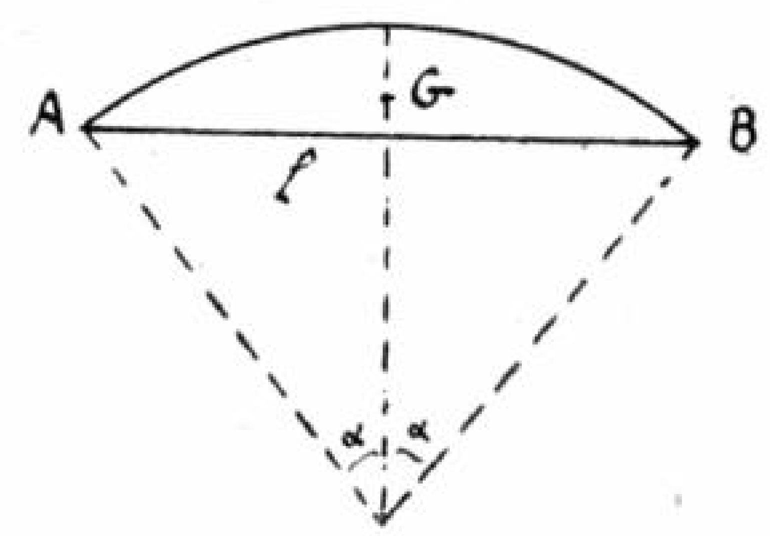
$$OG = \frac{4}{3}\,\frac{r}{\pi} = \frac{14}{33}\,r = 0{,}424\,r$$

Segment de cercle. — En appelant S la surface du segment considéré, le centre de gravité G se trouve sur le rayon normal à la corde, à la distance

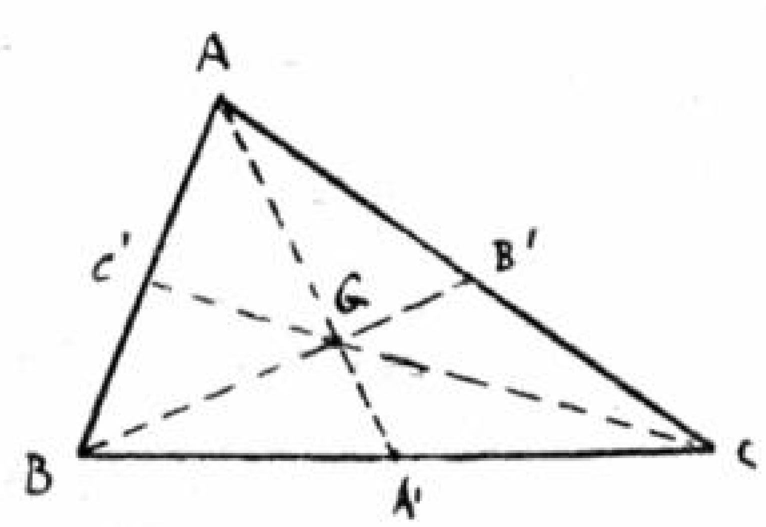
$$OG = \frac{l^3}{12\,S}$$

ou encore

$$OG = \frac{2}{3}\,\frac{r\sin^3\alpha}{\alpha - \sin\alpha\cos\alpha}$$



Triangle. — Le centre de gravité G se trouve à l'intersection des médianes, soit aux $\frac{2}{3}$ de la longueur de chaque médiane, à partir du sommet.



$$AG = \frac{2}{3}AA'$$

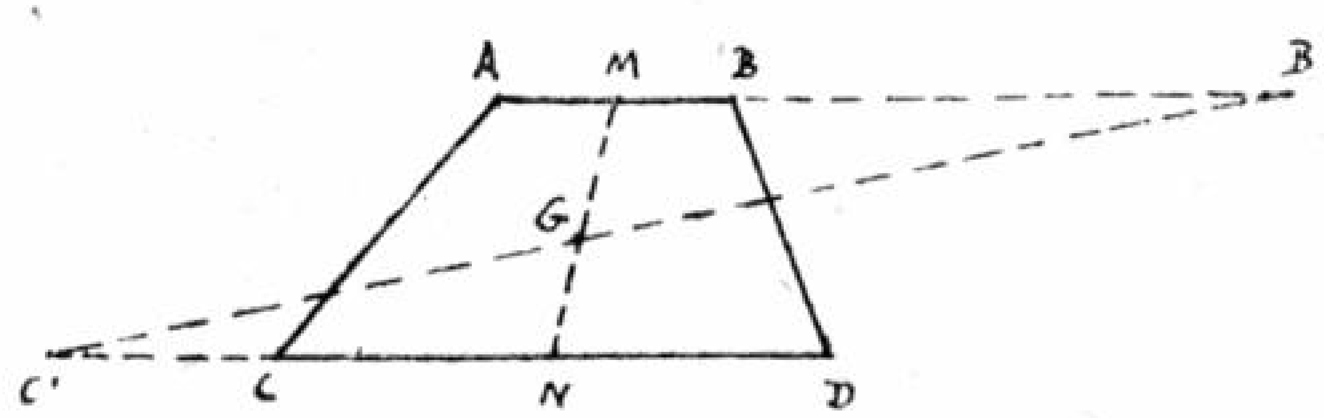
$$BG = \frac{2}{3}BB'$$

$$CG = \frac{2}{3}CC'$$

Trapèze. — Prolonger AB d'une longueur BB' = CD et de même prolonger CD d'une longueur CC' = AB.

Le centre de gravité G est à l'intersection de la droite B'C' avec la droite MN joignant les milieux M et N des côtés parallèles

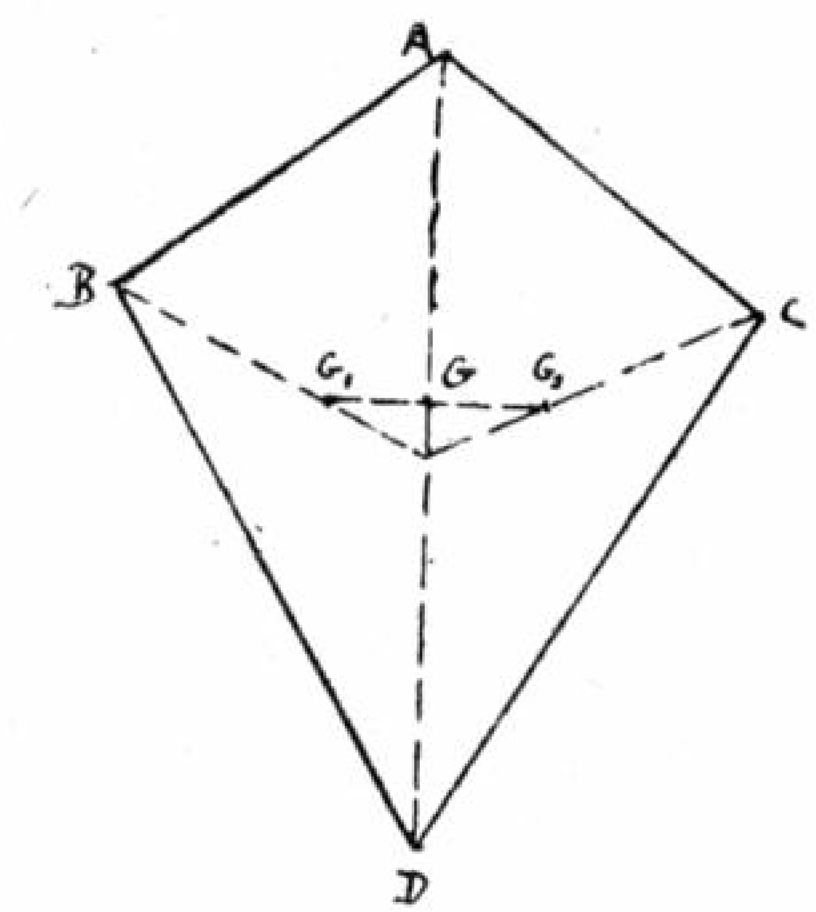
$$\frac{MG}{GN} = \frac{AB + 2\,CD}{2\,AB + CD}$$



Quadrilatère possédant un axe de symétrie. — L'axe de symétrie AD partage le quadrilatère en deux triangles égaux ABD et ACD.

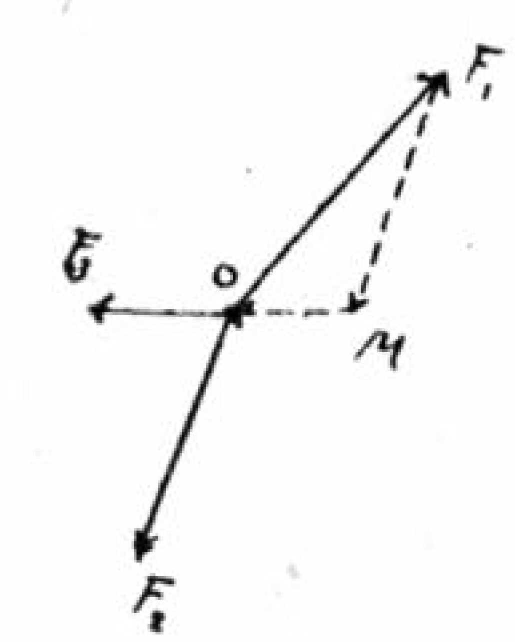
Les centres de gravité de ces deux triangles sont G_1 et G_2 (intersection de leurs médianes).

Le centre de gravité G du quadrilatère est alors à l'intersection de l'axe de symétrie AD avec la droite $G_1 G_2$ qui joint les centres de gravité des deux triangles.



Equilibre. — Un système de forces agissant sur un même corps est dit en équilibre lorsque la résultante de toutes ces forces est nulle.

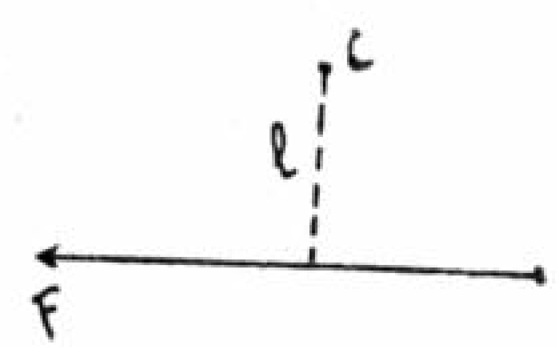
Cas de trois forces concourantes. — Si le système des forces se réduit à trois forces concourantes F_1 F_2



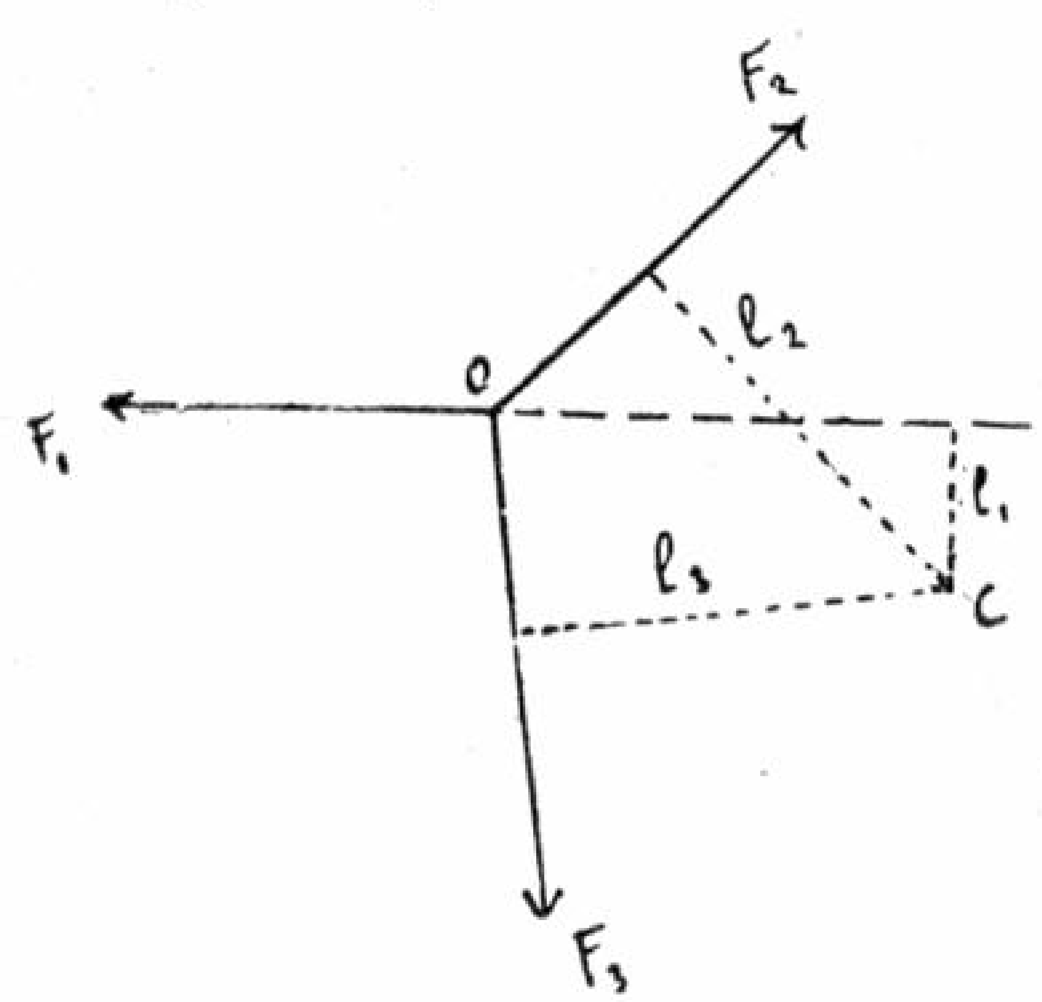
et F_3 (cas du cerf-volant monoplan sans queue) et si de l'extrémité du vecteur F_1, on mène $F_1 M = F_2$ et du point M, MO = F_3, on obtient un triangle fermé OF_1M : c'est le *triangle des forces*. Sa construction permet, connaissant deux des trois forces en équilibre, d'obtenir la troisième en grandeur et en direction.

Moments des forces. — On appelle moment d'une force F par rapport à un point C situé à une distance l de la direction de cette force (l s'appelle le *bras de levier*) le produit du nombre mesurant l'intensité de la force par celui mesurant la longueur du bras de levier.

$$\text{Moment de F} = F\,l$$



Cas de forces en équilibre. — Lorsqu'un système de forces concourantes, toutes situées dans un même plan, est en équilibre (cas du cerf-volant monoplan),



la somme algébrique des moments de ces forces par rapport à un point du plan est nulle.

$$F_1\,l_1 + F_2\,l_2 + F_3\,l_3 = 0$$

DYNAMIQUE

Mouvement uniforme. — Notations :

v, vitesse du corps en mouvement ;
e, espace parcouru ;
t, temps employé à le parcourir.

Relation fondamentale :

$$e = vt$$

On en tire :

$$v = \frac{e}{t} \qquad t = \frac{e}{v}$$

Notations :

F, force en kilogrammes agissant sur le corps ;
T, travail théorique dans le temps t exprimé en secondes ;
T_1, travail théorique en 1 seconde ;
N, nombre de chevaux-vapeur représentant ce travail par seconde.

Relations entre ces quantités :

$$e = \frac{75\,t\,N}{F} \qquad F = \frac{75\,N}{v}$$

$$v = \frac{75\,N}{F} \qquad T = 75\,Nt$$

$$T_1 = Fv$$

$$t = \frac{T}{75\,N} \qquad N = \frac{Fv}{75} = \frac{Fe}{75\,t}$$

Mouvement de rotation. — Notations :

n, nombre de tours par minute ;
r, rayon de la circonférence décrite ;
v, vitesse tangentielle ;
ω, vitesse angulaire définie par $\omega = \frac{v}{r}$

Relations entre ces quantités :

$$v = \frac{2\,\pi r n}{60} = \omega r$$

$$n = \frac{60\,v}{2\,\pi r} = \frac{60\,\omega}{2\,\pi}$$

$$r = \frac{60\,v}{2\,\pi n} = \frac{v}{\omega}$$

$$T_1 = \frac{2\,\pi r n F}{60}$$

$$N = \frac{2\,\pi r n F}{60 \times 75} = \frac{Frn}{716{,}2}$$

$$F = 716{,}2\,\frac{N}{rn}$$

$$n = 716{,}2\,\frac{N}{Fr}$$

Mouvement uniformément varié. — Notations :

v_0, vitesse à l'origine du mouvement ;
j, accélération ;
v, vitesse au temps t ;
e, espace parcouru au bout du temps t.

1[er] cas. — *Mouvement uniformément accéléré :*

$$v = v_0 + jt$$

$$e = v_0 t + \frac{jt^2}{2} = \frac{v_0 + v}{2}\,t = \frac{v^2 - v_0^2}{2\,j}$$

2[e] cas. — *Mouvement uniformément retardé :*

$$v = v_0 - jt$$

$$e = v_0 t - \frac{jt^2}{2} = \frac{v_0 - v}{2}\,t = \frac{v_0^2 - v^2}{2\,j}$$

Si la vitesse à l'origine est nulle, $v_0 = 0$ et les formules se réduisent à :

$$v = jt$$

$$e = \frac{jt^2}{2} = \frac{v}{2}\,t = \frac{v^2}{2\,j}$$

Chute des corps. — L'accélération due à la pesanteur se désigne par g.

A Paris $g = 9^{m}81$

Notations :

h, hauteur de chute ;
v, vitesse acquise au bout du temps t.

Relations :

$$h = g\,\frac{t^2}{2}$$

$$v = gt = \sqrt{2\,gh}$$

$$t = \sqrt{\frac{2\,h}{g}}$$

Facteurs usuels :

$g = 9^{m}81 = 32{,}18$ pieds angl.	$\frac{1}{g} = 0{,}101936$
$g^2 = 96{,}2361$	$\frac{\pi^2}{g} = 1\ 006075$
$\sqrt{g} = 3{,}13209$	$\frac{1}{2\,g} = 0{,}50968$
$\pi\sqrt{g} = 9{,}83974$	$\frac{1}{g^2} = 0{,}010391$
$2\sqrt{g} = 6{,}26418$	$\frac{1}{\sqrt{g}} = 0{,}319275$
$\sqrt{2\,g} = 4{,}42940$	$\frac{\pi}{g} = 1{,}003033$
$\pi\sqrt{2\,g} = 13{,}91536$	$\frac{\pi}{2\,g} = 0{,}709258$

Force centrifuge. — Un corps de poids P et de masse $M = \frac{P}{g}$ se met sur une circonférence de rayon r avec une vitesse $v = \frac{2\,\pi r n}{60}$, n étant le nombre de tours par minute.

La force centrifuge est :

$$F = \frac{Pv^2}{gr} = 0{,}102\ \frac{Pv^2}{r}$$

$$F = \frac{4\,\pi^2 n^2\, Pr}{3600\ g} = M\,\omega^2 r$$

Pendule simple. — Pour les petites amplitudes, la durée d'une oscillation d'un pendule de longueur l est :

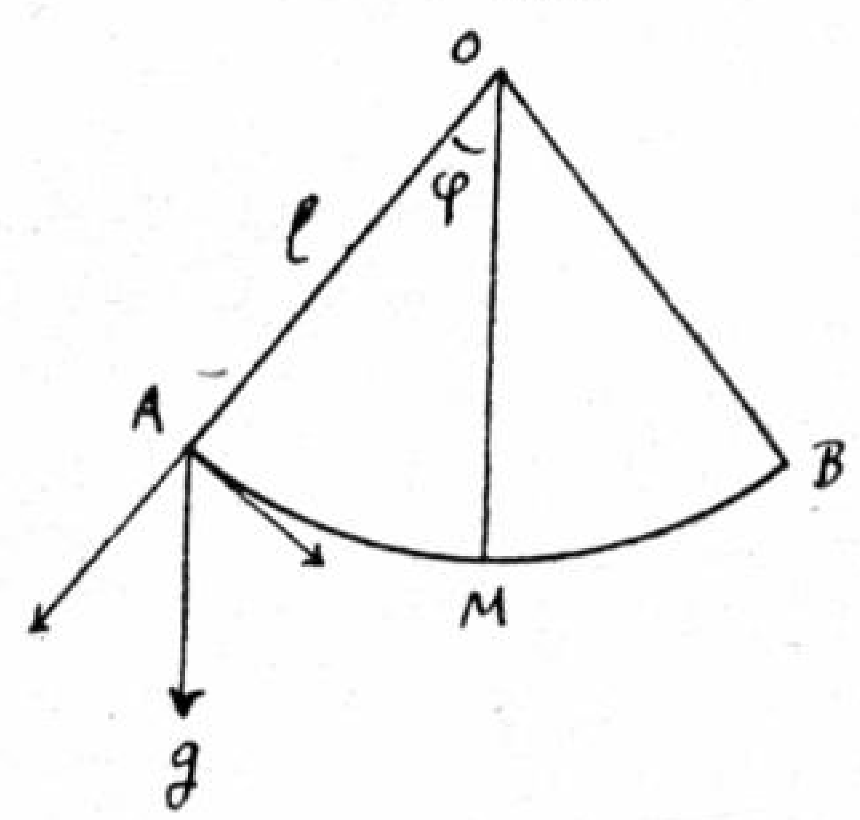
$$t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 1{,}0032\ \sqrt{l}$$

La longueur du pendule qui bat la seconde est :

$$l = \frac{g}{\pi^2}$$

à Paris :

$$l = 0^{m}9938$$



Pendule conique. — En appelant l' la projection de la tige du pendule sur la verticale

$$t = 2\,\pi\sqrt{\frac{l'}{g}}$$

Relations entre les forces, les vitesses et les masses :

La *masse* d'un corps est le rapport du poids à l'accélération due à la pesanteur,

$$M = \frac{P}{g}$$

Si le corps est soumis à l'action d'une force constante F qui lui communique une accélération j,

$$F = \frac{P}{g}j = Mj$$

La force F fournit un travail mécanique (e étant l'espace parcouru),

$$T = Fe$$

En chevaux-vapeur, ce travail est

$$T = \frac{Fe}{75}$$

Pour faire passer un corps de masse M de la vitesse v_1 à la vitesse v_2, il faut dépenser un travail

$$T = Fe = \frac{Mv_2{}^2}{2} - \frac{Mv_1{}^2}{2}$$

La quantité $\frac{1}{2}$ Mv^2 s'appelle *puissance vive* du corps.

La quantité Mv s'appelle *quantité de mouvement* du corps.

TABLE DES MATIÈRES

Construction des cerfs-volants

Applications des cerfs-volants

Ascensions par cerfs-volants

Aérophotographie par cerfs-volants

TROISIÈME PARTIE

Physique, météorologie

QUATRIÈME PARTIE

Renseignements mathématiques

BESANÇON. — IMPRIMERIE JACQUES ET DEMONTROND

DYNAMOMÈTRE

POUR

CERFS-VOLANTS

¶ Le Dynamomètre est un instrument très précieux, indispensable même à tout cerf-voliste. Il lui permet de connaître constamment la traction de son appareil. Nous sommes heureux de pouvoir mettre à la disposition de nos lecteurs un appareil de toute première qualité qui ne saurait leur donner que satisfaction. La traction peut être enregistrée de 0 à 25 kilos.

Envoi franco recommandé

France, 3 fr. 75 ; Étranger, 4 fr.

Contre mandat adressé à

L'AÉRONAUTIQUE

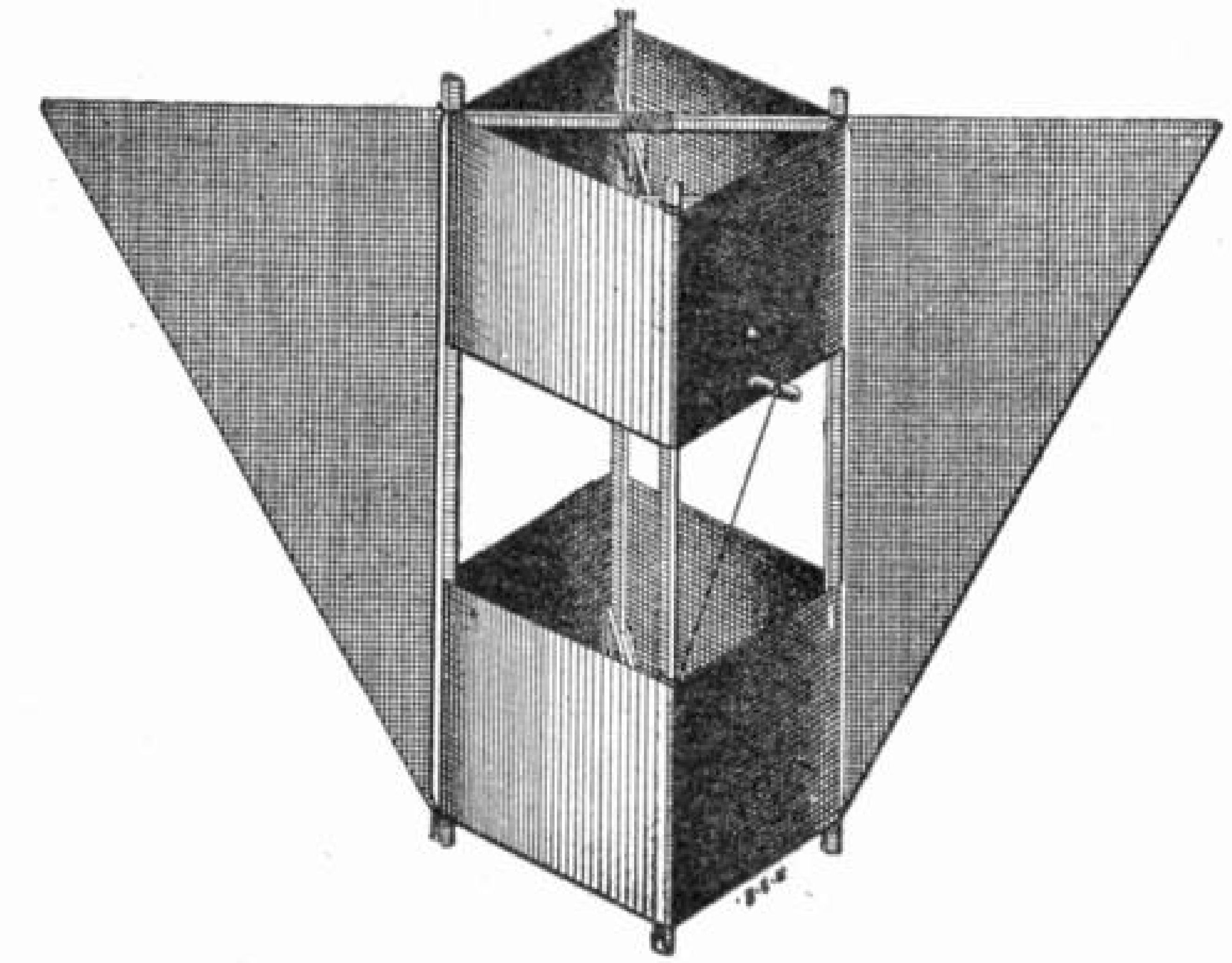
2, rue de l'ÉCHAUDÉ SAINT-GERMAIN

PARIS

Il n'est pas fait d'envois contre remboursement

PLANEUR R. L.

Ce cerf-volant, d'une densité minime, s'enlève par



la brise la plus légère, il tient très bien l'air et sa stabilité est parfaite. Il se démonte entièrement et est livré dans un solide carton.

PRIX : **4** FR. **95** (port en sus)

Envoi franco contre mandat adressé à

L'AÉRONAUTIQUE

2, RUE DE L'ÉCHAUDÉ SAINT-GERMAIN. — PARIS

Il n'est pas fait d'envois contre remboursement

LE MAILLOT R. L.

Cet appareil monoplan flotteur, marchant sans queue, est d'un prix très modique. Par le vent le plus léger, il s'élève dans les airs franchement, emportant un bon poids de ficelle.

PRIX : **1** FR. **50.** Port : 0 fr. 60