

**RECHERCHES ARGENTINES
SUR LES MOUVEMENTS ONDULATOIRES
DE L'ATMOSPHERE**

par Plinio ROVESTI,

*Chef de la Section Météorologie et Aérophysique
de l'Institut Argentin de Vol à Voile*

Depuis le début de son activité, l'Institut Argentin de Vol à Voile a dédié une grande partie de ses efforts à illustrer le phénomène des courants ondulatoires, effectuant effectivement des recherches d'abord sur la Cordillère des Andes, dans la zone de Mendoza et San Juan, puis sur la Sierra de La Ventana, dans la province de Buenos-Aires et dans la province de Cordoba.

Les premières recherches furent conduites avec une ardeur passionnée et durant de longs mois par le professeur Walter Georgii dans une grande partie de la Cordillère des Andes, dans la province de Mendoza. Elles consistèrent entre autres en une série de sondages et observations aérologiques au moyen de planeurs, d'avions de tourisme et principalement, au moyen de cet observatoire aérologique volant que le même professeur Georgii s'était installé à bord d'un puissant quadrimoteur mis à sa disposition par le Ministère de l'Aéronautique, durant son séjour en Argentine. Ces recherches furent complétées par une expédition aérologique organisée par l'Institut Argentin de Vol à Voile en collaboration avec l'Université Nationale de Mendoza et que je dirigeais. Au cours de ces expéditions, 45 sondages avec ballons pilotes équilibrés statiquement furent réalisés sous le vent du massif de l'Aconcagua (7.030 m.) par temps de Foehn. Les ballons furent suivis par deux théodolites disposés sur une base mesurée dans la zone du Cerro Pelado et du Cerro de los Manantillès (3.450 m.) qui font partie de la Cordillère des Andes dans la région de Mendoza.

Si nous voulions exposer avec une ampleur suffisante et avec une précision scientifique le développement de ces expériences nous devrions requérir trop de place dans *Aviasport*. Nous nous contenterons de faire état des résultats qui, plus directement, intéressent les pilotes de vol à voile.

Voici donc, en résumé, ce que le professeur Georgii a pu constater:

Les ondes stationnaires sur le versant argentin de la Cordillère des Andes se forment durant la phase stable du Foehn, laquelle dure jusqu'au moment où, sur la Cordillère, à 3.000 m d'altitude, souffle, avec une direction O. ou N.-O. et avec une vitesse d'au moins 35 km./h. un air tropical marin provenant de l'Océan Pacifique. Dans de telles conditions, au

pied de la Précordillière des Andes, et jusqu'à 3.000 mètres d'altitude, on note généralement des courants descendants alors que le mouvement ondulatoire se développe au-delà des 4.000 mètres. Dans la région de la Cordillère immédiatement rattachée à la chaîne principale; les ondes stationnaires se rencontrent fréquemment sur les cimes de la Précordillière même, toujours à des altitudes supérieures à 4.000 mètres ; dans celle qui s'étend sous le Cordon del Plata, où manquent les montagnes des PréAndes, la partie ascendante de l'onde stationnaire se situe devant les pieds orientaux des Andes qui regardent vers la grande plaine Argentine.

Dans la partie ascendante du mouvement ondulatoire stationnaire entre 4.000 et 5.000 m. des vitesses ascensionnelles de 3-4 m./s. furent enregistrées alors qu'à des altitudes supérieures le vent ascendant augmente d'intensité si bien qu'à 6.500 mètres il fut enregistré 15 m /s. Dans la partie descendante de l'onde entre 5.000 et 7.000 m. d'altitude, il fut enregistré des chutes de 6-7 m/s. Ce vent descendant fut rencontré au-dessus de la chaîne principale de la Cordillère entre le sommet de l'Aconcagua (7.030 m.) et le Cordon del Plata. Quand, au-dessus de 4.000 m. surviennent des irruptions de masses d'air frais provenant du S.O. le Foehn entre dans la phase instable durant laquelle les ondes stationnaires se dissolvent.

De ces relations forcément sommaires on déduit que les possibilités offertes au vol à voile par les courants ondulatoires des ondes ne sont pas chose facile comme on avait d'abord espéré. Les vols d'onde doivent être effectués durant la phase stable du Foehn.

L'appareil doit être remorqué à une altitude ne pouvant être inférieure à 4.000 mètres, sur la verticale des pieds orientaux des Andes, d'où, avec un pilote capable, et avec la protection d'une cabine étanche on peut voler jusqu'à la stratosphère.

Les séduisantes hypothèses formulées concernant la possibilité de bons vols en planeur sur les ondes stationnaires de la Cordillère des Andes dans la zone de Bariloche (laquelle grâce à sa faible altitude engendre des mouvements ondulatoires à un niveau sensiblement plus bas que celui des ondes de Mendoza) ont été confirmées par les expériences entreprises par les vélivoles du "Club de Planeadores de Bariloche", lesquels avec des planeurs élémentaires lancés par sandow des pentes montagneuses ont réussi à rejoindre le courant ondulatoire et à gagner une grande altitude. Le plus tôt possible l'Institut Argentin de Vol à Voile organisera, en collaboration avec divers pilotes sportifs, une expédition scientifique dotée de moyens adéquats afin d'étudier les possibilités offertes au vol d'onde par les Montagnes de Bariloche.

Le "Club Argentino de Planeadores Albatros" de Buenos-Aires, en collaboration avec l'Institut de Vol à Voile, a organisé dans les années passées une expédition de vol à voile dans la zone de la Sierra Ventana pour tenter des vols d'onde. Cependant ces expériences entreprises durant une période limitée à vingt jours, à cause de leur nombre restreint, ne répondirent pas aux espoirs. Nous croyons qu'il peut être de quelque intérêt de se référer à ce qu'il fut possible d'affirmer au cours d'observations méthodiques et ininterrompues poursuivies dans la Sierra de Comenchigones et dans la Sierra Grande dans la province de Cordoba par la Section Météorologique et Aérologique de l'Institut Argentin de Vol à Voile.

Les ondes stationnaires des vallées de Calamuchita et de La Cruz, en considérant les chaînes de montagnes citées comme des obstacles générateurs des oscillations

atmosphériques, peuvent être classées en deux catégories suivant la direction du vent dominant en altitude : onde de nord-ouest et onde du sud-ouest.

a) *Les ondes du nord-ouest* sont généralement d'une faible efficacité et de courte durée. Cependant, parfois, elles donnent lieu à la formation d'altocumulus lenticulaires d'aspect intéressant, disposés en bandes parallèles et équidistants entre eux sous le vent des chaînes montagneuses, dans les Vallées de Calamuchita et de La Cruz à des altitudes variant entre 5.000 et 6.000 m. Les lenticulaires ont généralement une vie brève: 15 à 20 minutes pour la période de formation et croissance et autant pour la période de décroissance et de dislocation.

Les mouvements verticaux enregistrés dans ces oscillations d'ondes, se sont révélés assez faibles à toutes les altitudes. La raison de la faible intensité des mouvements ondulatoires du nord-ouest est à attribuer au fait que les états atmosphériques qui participent aux oscillations sont généralement constitués par un courant d'air qui manque d'homogénéité surtout par les fréquentes variations qu'il subit en direction et intensité.

Désormais, en fait, il est prouvé que l'homogénéité de la masse atmosphérique et l'augmentation de la force du vent avec l'altitude sont des facteurs d'importance décisive dans la formation des mouvements ondulatoires persistants. Si, ensuite, une telle progression de la force du vent en altitude est accompagnée d'un accroissement progressif du gradient vertical de la température avec l'altitude nous aurons ce que nous pourrions définir comme « conditions thermodynamiques idéales » pour la formation des grands mouvements ondulatoires qui intéressent tant le vol à voile. Ceci étant noté en thèse générale il faut ajouter que, dans le cas spécifique des ondes du nord-ouest on observe que celles-ci sont caractérisées presque toujours par une couche d'air très stable en surface, avec une ample inversion de Foehn entre 800 et 2.500 m. d'altitude dans laquelle la vitesse du vent augmente notablement avec l'altitude. Au-dessous de l'inversion cependant le vent se stabilise et maintient une vitesse constante jusqu'à de grandes altitudes alors que le gradient thermique s'accroît suivant des valeurs oscillant entre $0^{\circ},65$ et $0^{\circ},75$ par 100 m. d'altitude. Dans certains cas il a été observé la formation de nuages du type stratocumulus sous l'inversion thermique.

En conclusion, les possibilités offertes au vol à voile par les situations d'onde du nord-ouest sont limitées sans plus et l'on peut retenir que celles-ci ne peuvent égaler l'efficacité et l'intensité des mouvements ondulatoires engendrés par le vent du sud-ouest que nous allons maintenant examiner.

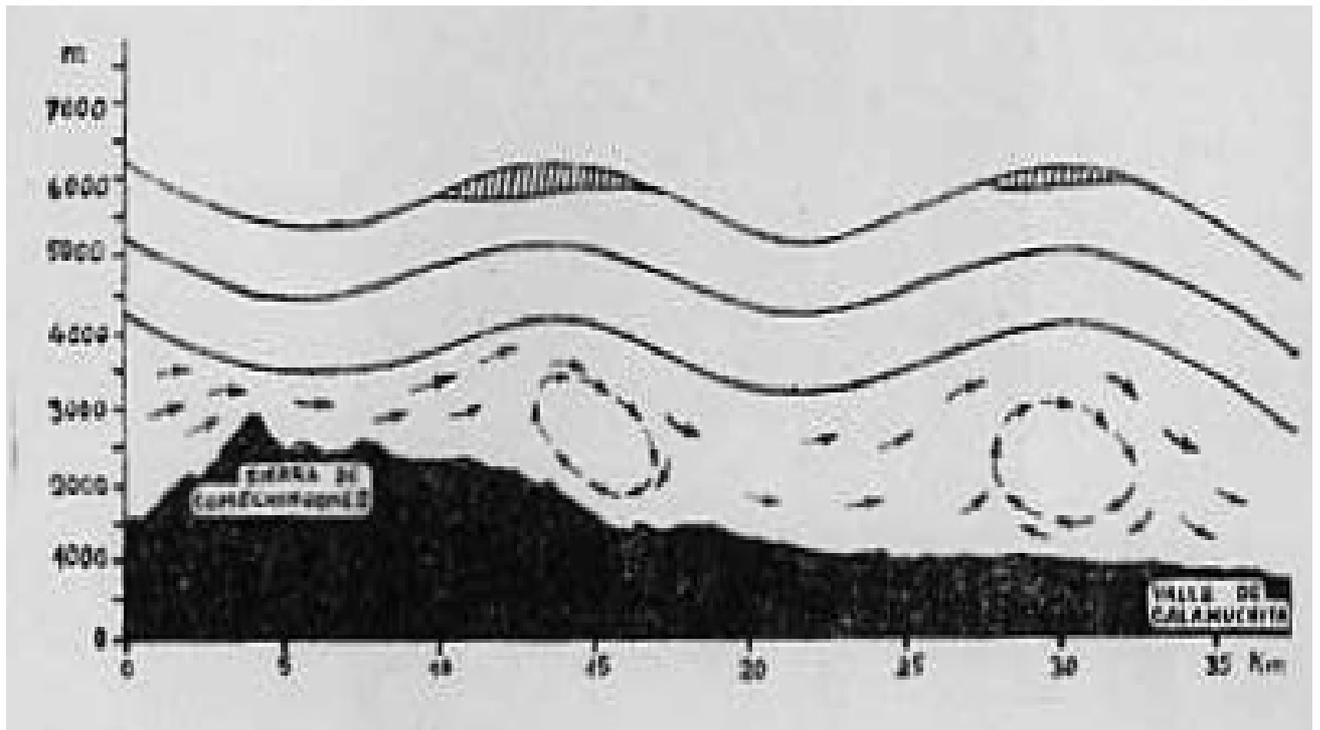


Fig. 2. Schéma du mouvement ondulatoire qui se produit sous le vent de la Sierra Comechingones avec vent de S.W. de 50 à 60 km.-h

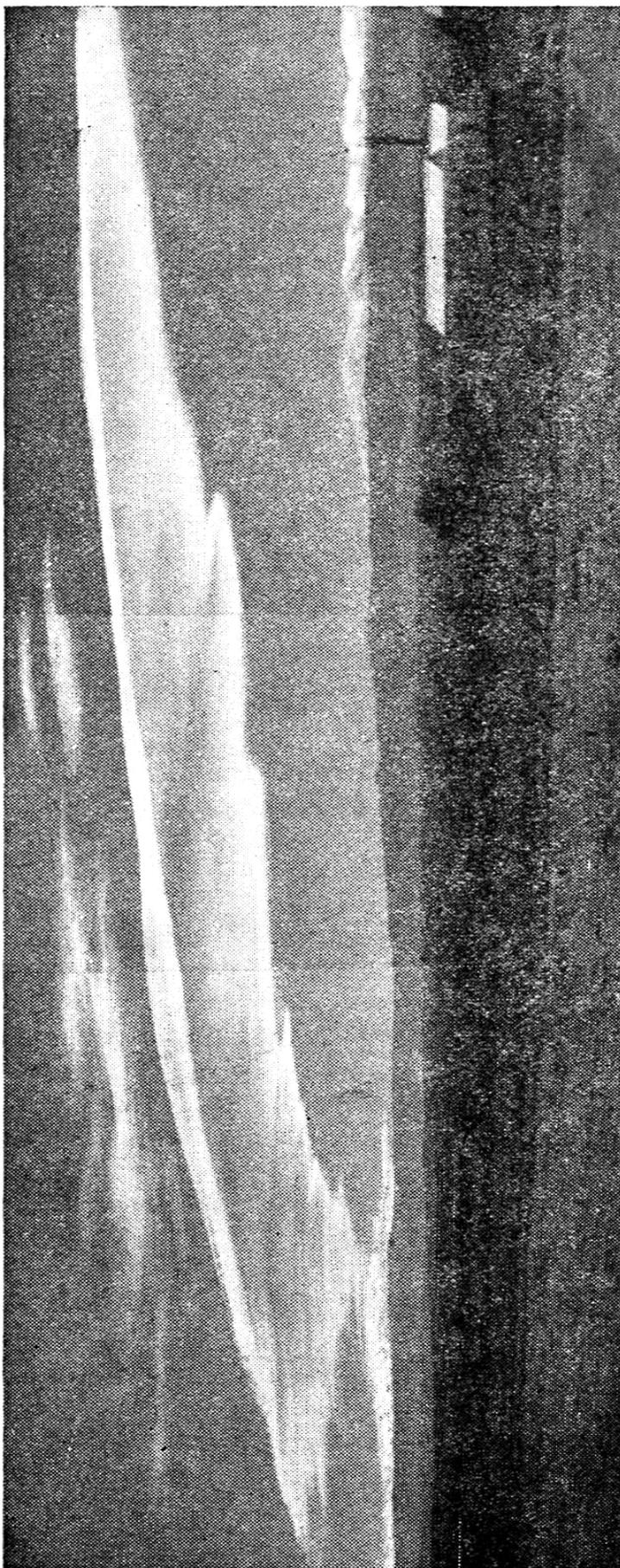


Fig. 1. La Reine de Los Comechingones

b) Nous commençons par relever que la formation des *ondes du sud-ouest* est considérablement favorisée par deux facteurs très importants constitués par la constante uniformité dans la direction du vent et par l'augmentation graduelle de vitesse que le vent subit avec l'altitude. En effet, d'une vitesse voisinant à la surface 15 à 20 km.-h. on arrive graduellement à 90-100 km.-h. et davantage à 6.000 mètres d'altitude. En outre, le vent souffle à toutes les altitudes et constamment du secteur sud-ouest. Les premières constatations amènent à tirer immédiatement la conclusion que les situations d'onde du sud-ouest comparativement à celles du nord-ouest sont vraiment plus favorables au vol à voile, tant par leur efficacité que par leur persistance.

En ce qui concerne les thermiques régnant dans l'atmosphère durant le développement de telles situations nous dirons que, d'après les sondages aérologiques poursuivis jusqu'à maintenant, la température enregistre un gradient vertical presque adiabatique à partir du sol jusqu'à une hauteur de 3.000 mètres. A ce niveau, le courant ondulateur étant déjà extrêmement efficace, la courbe d'état de la température se révèle notablement troublée. En effet, dans la partie descendante de l'onde, on enregistre des températures plus élevées et dans celle ascendante des températures plus faibles. De là on ne peut considérer comme réelles les amples inversions thermiques qui souvent sont enregistrées par le météorographe, alors que l'appareil aérologique vole en onde. Dans de telles situations les variations de la température constituent plutôt les différences thermiques horizontales qui s'enregistrent dans une masse atmosphérique en équilibre stable quand elle est animée d'oscillations à caractère d'onde. Les mouvements verticaux mesurés dans les ondes du sud-ouest, dont de 2 à 5 m./s., et se rencontrent entre les 2.500 et les 6.000 mètres. Il est légitime de penser qu'il se forme des ondes plus puissantes à des altitudes supérieures; pourtant jusqu'à présent il n'a pas été possible d'étendre les sondages à des altitudes supérieures.

Dans la vallée de Calamuchita, la première onde est signalée par la formation d'un magnifique nuage d'onde qui s'étend parallèlement à la Sierra de Comechingones et que les vélivoles argentins ont baptisée du nom suggestif de « Reine de los Comechingones » (fig.1).

Les longueurs de l'onde sont de l'ordre de 15 km. quand le vent ne dépasse pas 90 km./h., au-delà de cette valeur, on rencontre des longueurs de l'onde de 40-45 km. Quelquefois, sous les nuages lenticulaires, à des niveaux sensiblement plus bas, se forment des cumulus ou des fractocumulus d'aspect assez turbulent disposés en files parallèles à la chaîne de montagnes. De tels nuages convectifs constituent un rotor prolongé avec axe horizontal ayant pour origine les oscillations d'onde en mouvement dans les couches supérieures.

En ce qui concerne l'état du temps durant le développement de ces efficaces mouvements ondulateurs du sud-ouest dans les vallées de Calamuchita et de La Cruz on a remarqué que les meilleures situations sont celles caractérisées par l'existence d'un cyclone dynamique en voie d'occlusion, géographiquement délimité et renfermé au-dessus du littoral de la province de Buenos-Aires. La zone de basse pression associée à ce cyclone aspire pour ainsi dire vers l'est la masse d'air située au-dessus de la plaine de Cordoba, provoquant de cette manière un fort courant de Foehn du sud-ouest qui investit les chaînes de montagnes de la Sierra Grande et de la Sierra de Comechingones et produit au-dessus de celles-ci de

très efficaces mouvements ondulatoires. De telles conditions de temps se déterminent surtout durant la saison hivernale; c'est-à-dire de mai à octobre. Durant cette période, qui est la plus froide de l'année, la formation des ondes est favorisée par la stabilité thermique de l'atmosphère.

D'autres recherches ont été entreprises en Argentine pour arriver à une connaissance accomplie d'un autre phénomène très important : celui du courant de jet (Jet Stream), auquel sont associés des mouvements ondulatoires progressifs de grand intérêt pour les vols de distance et de vitesse élevée en planeur. En Argentine, le phénomène du courant de jet acquiert une importance particulière du fait qu'il se présente souvent tant à l'altitude de la tropopause que dans les couches superficielles, jusqu'à 3.500 m. d'altitude. Cette particularité est due à l'influence de la Cordillère des Andes et des chaînes de montagnes de la province de Cordoba, et a été rencontré par le Professeur Georgii durant les vols de sondage dans les plaines des pampas argentines. De tels mouvements ondulatoires seraient produits par le déséquilibre existant dans le courant accéléré entre la force barique et la force déviatrice de Coriolis et sont caractéristiques de l'atmosphère instable de la saison d'été. La possibilité de formuler des prévisions sûres de l'intérêt « vol à voile » de ces ondes peut être seulement le produit d'investigations aérologiques sérieuses et systématiques. Tant que ces investigations n'auront pas été entreprises autant l'optimisme que le pessimisme sont à considérer comme injustifiés.

Avant de terminer notre rapide exposé, il nous semble intéressant de rappeler les expériences entreprises par l'auteur auprès de l'Institut Argentin de Vol à Voile dans le but de déterminer au moyen de recherches de laboratoire des phénomènes ondulatoires et leur

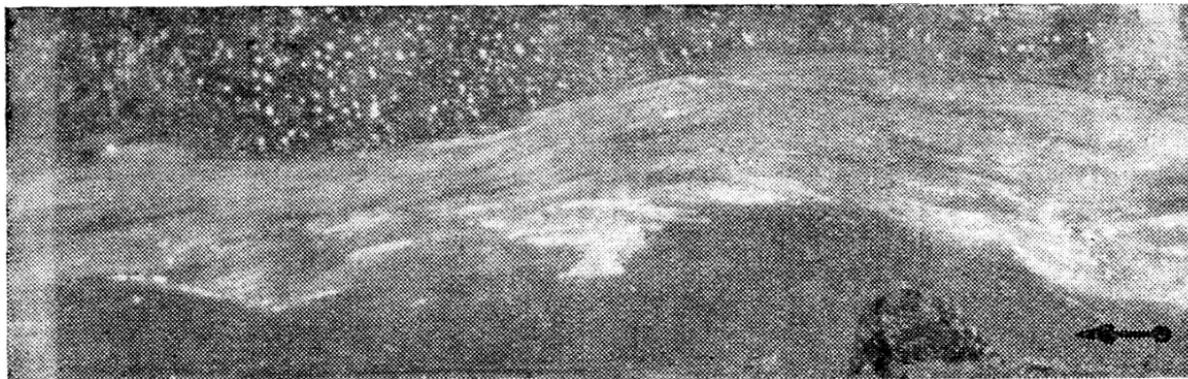


Fig. 3. Photographie faite au canal hydrodynamique

utilisation pour le vol à voile. Ces recherches expérimentales ont été conduites dans un canal hydrodynamique à parois transparentes. Elles furent poursuivies soit avec des liquides homogènes, soit avec des liquides hétérogènes (ayant ainsi une densité, une température et des caractéristiques différentes). Dans l'intention de reproduire expérimentalement les conditions qui avoisinaient le plus possible celles qui règnent dans l'atmosphère durant les bonnes situations d'onde, nous avons eu recours, entre autres, à trois liquides superposés, injectant en outre dans les liquides parcourant le canal des filets fluides colorés, pour utiliser des obstacles de dimensions variées ainsi que plusieurs obstacles disposés à différentes distances les uns des autres pour révéler les phénomènes de résonance dus à la présence d'obstacles secondaires dans la zone sous le vent de l'obstacle principal (fig. 3).

Le premier cycle de telles recherches de laboratoire a eu des fins exclusivement didactiques: en effet, il a été utilisé pour illustrer d'une façon didactique aux pilotes argentins les phénomènes ondulatoires qui intéressent le vol à voile. Dès que les expériences seront reprises et étendues au champ théorique, nous avons le ferme espoir de pouvoir revenir sur ce sujet, encore à peine abordé; avec des nouvelles intéressantes pour les amis du vol à voile français.

La Cruz, 18 juillet 1955

PLINIO ROVESTI
(Traduction BARBAGLIA)