

# LA STRATOSPHERE

## et son intérêt scientifique

C'est une performance remarquable que les aéronautes américains Stevens et Anderson viennent de réaliser en réussissant leur ascension dans la stratosphère à 22.500 mètres.

Avec une ténacité remarquable, en dépit de deux échecs successifs, les Américains viennent ainsi d'inscrire à nouveau glorieusement leurs noms au palmarès des records mondiaux.

Souhaitons que de ce voyage céleste ils aient rapporté une ample moisson de renseignements et d'observations scientifiques.

### Rôle de l'atmosphère

Les diverses caractéristiques de l'atmosphère terrestre sont d'un grand intérêt pour nous non seulement parce que l'air constitue le milieu dans lequel nous respirons, mais aussi du point de vue de la résistance qu'il représente aux plus divers moyens de locomotion, auxquels il sert parfois d'appui.

Ce facteur ne perd rien de son importance lorsqu'il s'agit de dépasser les limites de l'atmosphère et d'aller dans les espaces vides. Etant quelque peu gênante au départ d'un cosmonef, l'atmosphère facilite par contre l'atterrissage : servant de moyen de freinage, elle fait gagner du combustible en quantité bien supérieure à celle qu'il faudra perdre pour vaincre la résistance de l'air au départ.

Mais l'échauffement du véhicule pendant son vol dans l'air, au retour, provoque quelque inquiétude. Les étoiles filantes ne nous préviennent-elles pas du danger que pourrait courir le cosmonef revenant à la Terre ? C'est la composition des hautes couches de l'atmosphère qui joue dans ce cas un rôle primordial. La prédominance de l'hydrogène ou de l'ozone décide du degré de l'échauffement du mobile : relativement peu importante dans le premier de ces cas, la hausse de la température du véhicule serait énorme dans le deuxième cas.

L'atmosphère nous intéresse encore en tant que filtre des rayons solaires qui nous parviennent dépourvus de certaines radiations, paraissant funestes à leur état vierge. C'est surtout l'existence de l'ozone dans la haute atmosphère qui est de grande importance pour la vie sur notre globe. Les molécules d'ozone, combinaisons d'atomes d'oxygène groupés par trois, retien-

nent la majorité d'éléments nuisibles des rayonnements du soleil et des étoiles.

Si à l'ombre nous ne sommes pas plongés dans une obscurité parfaite, c'est grâce à la diffusion de la lumière par l'atmosphère. C'est par suite de la raréfaction de l'air que le ciel s'assombrit au fur et à mesure que nous nous élevons ; il est déjà d'un gris noir à 22 km. d'altitude et devient complètement noir dans le vide.

Enfin les caractéristiques de l'atmosphère sont d'un intérêt capital pour la médecine.

### Vers les confins de l'atmosphère Les ascensions en ballon

De tous les moyens de l'exploration directe de l'atmosphère, ce sont



Les deux aéronautes américains, Stevens et Anderson, aménagent leur nacelle, peu avant leur montée sensationnelle vers la stratosphère.

Au moment où les yeux du monde sont ainsi à nouveau attirés vers les recherches patientes et courageuses poursuivies par de hardis savants de tous les pays, il était intéressant de renseigner à nouveau nos lecteurs sur l'ensemble des problèmes qui justifient — en dehors de l'attrait du record qui, pris en lui-même, est fort beau — ces hardies ascensions.

Notre collaborateur Ary J. Sternfeld, qui obtint en 1934 le prix international d'astronautique et qui a particulièrement travaillé ces questions complexes, nous en donne aujourd'hui, ci-dessous, un exposé particulièrement documenté.

les ballons qui nous ont ramenés des renseignements sur les couches les plus élevées.

L'année 1783 ouvre l'ère de la conquête de l'atmosphère. Après les frères Montgolfier qui, les premiers au monde, s'élevèrent dans les airs, Pilâtre de Rozier et le marquis d'Arlandes quittèrent le sol en montgolfière ; après 1783, Charles et Robert montèrent le premier ballon à hydrogène. Il fallut un siècle de progrès en aéronautique pour permettre à Crocé-Spinelli, Sivel et Tissandier d'atteindre en ballon 8.700 mètres d'altitude (1875). Seul Tissandier sortit indemne de cette expérience, les deux autres étant morts héroïquement pour la science.

Vingt-six ans plus tard (1901), les docteurs Berson et Suering montent 2 kilomètres plus haut (10.800 mètres). Il fallait attendre encore vingt-six ans (1927) pour que ce record fût dépassé d'autres 2 kilomètres (12.800 m.). Cela a cependant coûté la vie au capitaine Hawthorne Gray.

Enfin le professeur Auguste Piccard assisté de M. Kipfer utilise en 1931, pour la première fois, une nacelle étanche et monte à 15.780 mètres. L'année suivante, le célèbre aéronaute atteint 18 kilomètres.

En septembre 1933, Prokofiev, Birnbaum et Godounov arrivent à 19 kilomètres d'altitude que le commandeur Settle, assisté du major Fordney, faillit aussi atteindre (18.700 m.) deux mois plus tard.

En janvier 1934, Fédossenko, Vassenko et Oussysskine obtiennent le record actuel d'altitude avec 21.800 mètres, mais se tuent à la fin de la descente.

Ary J. STERNFELD,

(Voir la suite en cinquième page.)

## LA STRATOSPHERE et son intérêt scientifique

[SUITE DE LA PREMIERE PAGE]

Signalons encore Max Cosyns, Van der Elst et le professeur Jean Piccard qui monteront tout dernièrement à 16 kilomètres.

Aujourd'hui c'est à 22.500 mètres que sont montés les aéroplanes américains.  
Et d'autres déjà se préparent à mieux faire.

### Les méthodes d'investigations

Les méthodes de l'exploration de l'atmosphère sont directes et indirectes.

Au sol, en avion, en ballon captif ou libre, on mesure directement la température de l'air, sa pression, son état hygrométrique ; on prélève des échantillons pour l'analyse chimique ; on détermine l'intensité du rayonnement cosmique. On se sert également des instruments enregistreurs emportés par cerfs-volants, par ballons non montés et surtout par ballons-sondes. Les trains de cerfs-volants atteignent 7 km. d'altitude, les avions 15,3 km., les ballons 21,5 km. Ce sont les ballons-sondes qui vont le plus haut. Encore en 1912, le professeur Gamba, de Pavie, obtint par ce moyen des résultats provenant de 37,7 km. Ce record fut ensuite légèrement dépassé (39 km.).

L'analyse spectrale des rayons des astres et, tout spécialement, des rayons solaires, constitue un autre moyen d'investigation de la haute atmosphère. Les rayons solaires traversant l'atmosphère sont partiellement absorbés par celle-ci. Il s'ensuit que le spectre du soleil est assombri par des raies noires, produits de cette absorption par certains éléments de notre atmosphère. Ces raies telluriques, étant d'autant plus fortes que la couche d'air à traverser est plus épaisse, sont facilement reconnaissables (expériences faites à différentes altitudes, renforcement de cet effet, succédant son affaiblissement, au cours de la journée).

E. H. Sygne préconise une méthode consistant dans la projection vers le haut d'un faisceau intense de lumière ; on mesure ensuite photoélectriquement

le degré de diffusion de la lumière par les molécules de gaz, pour en tirer des conclusions sur le caractère de la haute atmosphère.

L'observation de l'atmosphère à l'aube et au crépuscule nous permet de voir des couches d'air éclairées par le soleil encore à 75 km. d'altitude. Les étoiles filantes et les aurores boréales ou australes nous apportent des renseignements sur des régions encore plus élevées de l'atmosphère.

### La troposphère, antichambre de la stratosphère

Un des résultats les plus frappants des recherches sur l'atmosphère depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle fut la découverte de deux parties superposées, mais ayant des propriétés bien distinctes, dans l'atmosphère (Léisserec de Bort).

La partie inférieure, la troposphère, est le siège de phénomènes météorologiques variés. Toute la vapeur d'eau, sous ses différentes formes, y est concentrée. Ce sont justement l'évaporation de l'eau et la condensation de la vapeur qui y provoquent les brassages de l'air et les changements continus de temps.

Au-dessus de cette couche s'étend la stratosphère, milieu calme et transparent ; les feuillets de l'air glissent les uns sur les autres, sans se mélanger. (L'observation des queues des étoiles filantes a conduit à la conclusion que le sens de ces « vents » entre 30 et 80 km. d'altitude est oriental, et au-dessus occidental.) C'est la seule couche de l'atmosphère où les prévisions de temps des spécialistes se vérifient toujours : le beau temps ne cesse d'y régner.

C'est surtout du point de vue thermique que diffèrent les deux couches. La troposphère est adiabatique : les courants d'air montants se refroidissent par détente, et les courants descendants s'échauffent par compression. La stratosphère est au contraire, dans les couches explorées par les ballons-sondes, isothermique : la température ne varie pratiquement pas avec l'altitude jusqu'à une certaine altitude ; les mouvements des masses d'air y sont rares.

Aux pôles la stratosphère commence à déjà 10 kilomètres d'altitude environ, tandis qu'à l'équateur sa base est à 15 km. et même plus haut.

### La température de l'atmosphère et l'atmosphère standard

Les rayons solaires traversant la troposphère ne la réchauffent d'une façon directe que très légèrement. Principalement ces couches d'air s'échauffent par le contact avec le sol qui restitue à l'atmosphère une partie appréciable de l'énergie absorbée.

Les mesures faites à des grandes hauteurs ont établi que la température de la stratosphère reste pratiquement constante jusqu'à trente et quelques kilomètres. Dans nos latitudes elle est de -52°C en été et de -58°C en hiver. Soulignons que dans les régions polaires elle est un peu plus élevée, tandis qu'à l'équateur elle est beaucoup plus basse (-80°C environ).

Si la troposphère était rigoureusement adiabatique, la baisse de la température devrait être de 10°C par kilomètre ; en réalité, on constate au début une diminution de 5°C par kilomètre, qui devient égale à 8°C par kilomètre vers le 10<sup>e</sup> km. d'altitude. Ces dernières valeurs ont été adoptées par le Comité Météorologique International.

Toutefois il faut remarquer que la baisse de la température de l'air avec l'altitude varie avec les saisons, sans liaison intime avec la température de la croûte terrestre.

L'atmosphère standard française est considérée comme internationale. En voici les caractéristiques :

ATMOSPHERE STANDARD			
ALTITUDE EN KM.	PRESSION EN MM.	TEMPÉRATURE EN °C	DENSITÉ EN KG./M <sup>3</sup>
0	760	+15	1,23
1	674	+ 8,5	1,11
3	526	- 4,5	0,91
5	405	-17,5	0,74
7	308	-30,5	0,59
10	198	-50	0,41
14	106	-56,5	0,23
18	56	»	0,12
22	30	»	0,06

A partir de 40 km. d'altitude environ nous ne possédons aucune mesure directe de la température.

Le professeur Charles Fabry attire l'attention sur le fait que la quantité d'énergie rayonnante absorbée par la couche d'ozone est appréciable et il admet que 4 0/0 de l'énergie incidente sont transformés en chaleur par la haute atmosphère. Etant donné que la densité de la haute atmosphère est faible, sa température doit donc être assez élevée. Il est probable qu'elle tombe, plus ou moins, pendant la nuit. En tout cas il y aurait au-dessus de la stratosphère, à température constamment basse, des couches d'air plus chaudes. C'est à cette conclusion que viennent F. A. Lindemann et G. M. B. Dobson par suite de leurs études sur les étoiles filantes.

### La densité de l'atmosphère et ses variations

Au niveau de la mer, à 15°C, l'atmosphère exerce une pression de 1,003 kg. par centimètre carré. Le poids total de l'air est donc équivalent à celui d'une couche de mercure de 760 mm. d'épaisseur. L'atmosphère ayant une hauteur incomparablement plus grande que le mercure, sa masse est légèrement supérieure. Deux facteurs contribuent à cette divergence : la diminution de l'attraction terrestre et l'augmentation de la force centrifuge avec l'altitude.

Les variations de la température de l'air au sol ont une répercussion sur sa distribution dans les couches supérieures de la troposphère ; le changement de la loi de répartition de la densité en fonction de l'altitude s'ensuit.

Quant à la base de la stratosphère, fixe et de température constante, sa densité varie dans nos régions de 10 0/0 environ avec les températures extrêmes de l'air au sol.

Il est remarquable que la hausse de la température entraîne une diminution de la densité de l'atmosphère au sol et une augmentation de celle-ci dans les régions stratosphériques. Il existe donc une région où la densité de l'air est indépendante de la température au sol. D'après W. J. Humphreys le calcul s'accorde avec l'observation pour fixer ce niveau à 8 km. d'altitude environ. R. Esnault-Pelterie a, indépendamment, signalé cette particularité, mais situe la sphère considérée à 5,17 km.

Au-dessus de 120 km. l'air est déjà tellement raréfié qu'il ne présente plus aucune résistance même à un mobile animé des vitesses énormes envisagées en cosmopolitique. Les étoiles filantes apparaissent rarement plus haut peuvent en servir de preuve suffisante.

La pression et la densité de l'atmosphère diminuent selon des lois exponentielles.

### La composition de l'atmosphère en fonction de l'altitude

La composition de la troposphère est sensiblement la même à toute altitude, à cause du brassage des vents. Ce sont seulement les gaz rares, comme le néon, le krypton et le xénon, qui, à cause de leur poids atomique élevé et leur petite quantité, ne s'élevaient pas bien haut. A la limite supérieure de la troposphère on n'en trouve plus de trace.

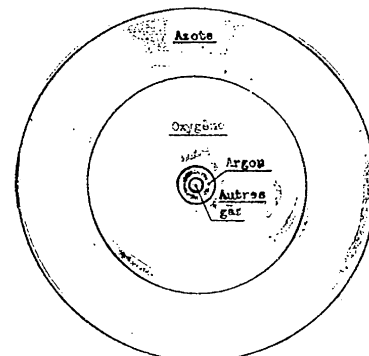
A. Wegener admet pour la composition de l'atmosphère au sol les valeurs suivantes :

ÉLÉMENT	0/0 EN VOLUME
Azote	78,06
Oxygène	20,90
Argon	0,937
Gaz carbonique	0,029
Hydrogène	0,0033
Néon	0,0015
Géocoronium (?)	0,00058 (?)
Hélium	0,0005
Krypton	0,0001
Xénon	0,000005
Ozone	traces

Dans le tableau ci-dessus l'air a été supposé sec. En réalité il contient parfois jusqu'à 4 0/0 en volume de vapeur d'eau. La quantité de vapeur dans l'atmosphère est beaucoup plus grande en été qu'en hiver.

Les raies telluriques de l'ozone dans la partie visible du spectre ont été découvertes par Chappuis en 1880. L'année suivante Cornu entreprit une étude systématique des bandes d'absorption de l'ozone, dominant surtout dans la partie ultra-violette, sans cependant deviner la nature du gaz.

Ce problème fut ensuite étudié par un grand nombre de savants (Hartley, Fowler, Rayleigh, Cabannes, Dufay et d'autres) qui aboutirent à déterminer quantitativement la contenance de l'atmo-



Coupe d'une sphère d'air dont les différentes composantes seraient disposées concentriquement.

sphère en ozone : La couche d'ozone, ramenée à la pression atmosphérique, aurait une épaisseur de 2 à 4 mm., suivant la saison.

### Ce qu'on sait et ce qu'il faut encore savoir

Ainsi donc, nos connaissances sur la haute atmosphère, exception faite de sa pression et de sa densité, sont très vagues et demandent absolument des sondages plus poussés.

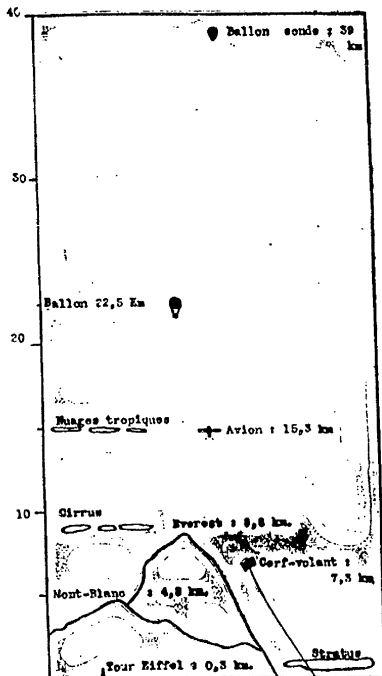
Nous avons dit au début de cet article les raisons multiples qui justifient cette nécessité de mieux connaître les milieux de notre atmosphère supérieure.

L'aviation future à grande vitesse, peut-être aussi l'aéronautique — qui verra également sa réalisation un jour, quoi qu'en pensent les sceptiques — restent conditionnées à la connaissance parfaite des milieux où évolueront les machines de l'avenir.

Et voilà pourquoi les recherches commencées par le professeur Piccard il y a cinq ans et continuées admirablement par les aéroplanes soviétiques et américains sont d'un intérêt scientifique de tout premier plan.

Il est regrettable simplement que la France, jusqu'aujourd'hui, n'ait pas jugé utile d'apporter sa contribution à ces recherches qui enrichiront le fonds commun de la science humaine.

A. J. STERNFELD.



Les différents records d'altitude. L'échelle verticale représente les altitudes en kilomètres.