

L'invention de la radiosonde

Les progrès réalisés dans les mesures météorologiques vont résulter des recherches effectuées sur l'emploi des méthodes radioélectriques. Dans ce cadre, les noms d'Idrac et de Bureau¹ sont toujours étroitement associés dans l'invention, puis dans la mise au point de la radiosonde française à partir de 1927. Cependant, si elle est bien le fruit d'une collaboration particulièrement féconde, le rôle de chacun des inventeurs peut être différencié.

Pierre Idrac

L'homme

Idrac, polytechnicien de la promotion 1905, était un homme très actif, doté d'un esprit fertile et original, qui s'intéressa à des sujets très divers, touchant en particulier aux courants aériens et océaniques ainsi qu'à l'électricité atmosphérique. Dès juillet 1914, une communication à l'Académie des sciences sur « Les inégalités du vent » témoigne de son intérêt pour l'aérogologie. Il est considéré comme l'un des pères du vol à voile, après avoir étudié le vol des oiseaux jusque dans les mers lointaines. Il fut un grand voyageur, ennemi du travail administratif et de la paperasse, de la routine quotidienne et du conformisme intellectuel. Le voici dépeint par Bureau, en 1936, dans *La Météorologie*

qui lui a consacré un numéro spécial, un an après son décès survenu le 17 juin 1935, à 50 ans, à l'issue d'une ultime croisière sur le *Pourquoi pas ?* de Charcot² : « *Alors que partout l'on souffre et l'on se plaint des spécialisations exagérées, du cantonnement de chacun dans son domaine, Idrac était resté en notre époque un esprit curieux de tout, ne connaissant pas de barrières. Par là même et aidé en plus par un caractère enjoué et un naturel serviable, il établissait entre les sciences voisines et ceux qui s'y adonnaient cette liaison qui fait si souvent défaut* ».

Idrac a-t-il connu Teisserenc de Bort ? Nous n'avons aucune preuve de ce fait qui avèrerait la continuité de la recherche aérogologique en France. Il y a cependant beaucoup de raisons de le croire étant donné la notoriété du premier et les centres d'intérêt du second. Idrac a certainement été nourri des *Bases de la Météorologie Dynamique* qui était la Bible de l'époque en la matière, et il s'est écoulé plus de cinq ans entre le début de son activité professionnelle et la mort de Teisserenc de Bort.

La guerre

Mobilisé en 1914 comme lieutenant dans l'artillerie, Idrac rejoignit au début de 1917 le Service météorologique militaire naissant, puis la Section de l'aéronautique de la Direction des inventions où il travailla sous l'autorité d'Émile

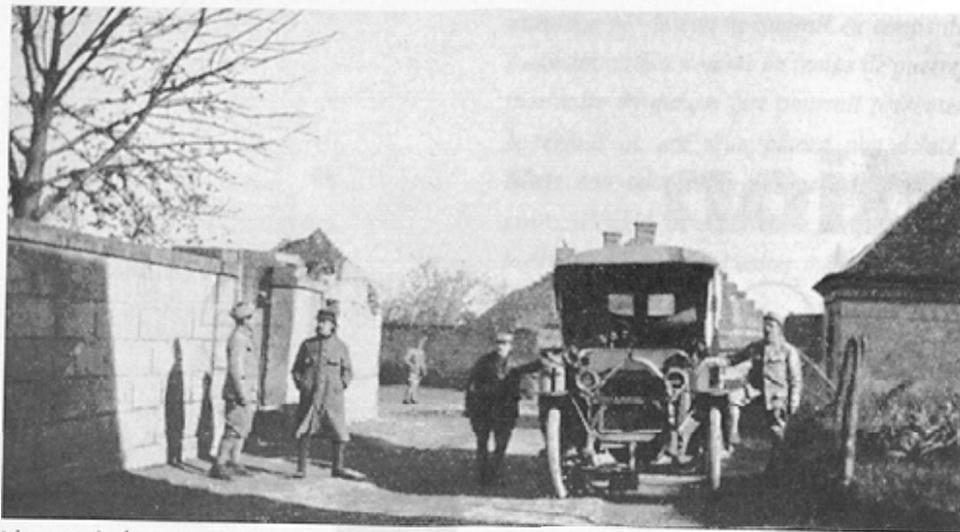


Les parents de Pierre Idrac

Jean Antoine Idrac, le père de Pierre, était né à Toulouse en 1849. Il était sculpteur et son réalisme tranchait avec le pompiérisme de l'époque. Cependant, en 1882, il gagna à Paris un concours de quarante mille francs, devant des concurrents plus connus, pour une statue d'Étienne Marcel, le fameux « Prévost des Marchands » qui souleva Paris en 1357. Malheureusement, Jean Idrac mourut de la typhoïde en 1884, peu de temps après son mariage, et ne connut pas son fils. Son ami Marquette acheva en 1886 son Étienne Marcel, mais, quinze ans après la Commune de Paris, ce personnage paraissait sulfureux aux autorités de la République. Aussi, l'inauguration ne fut-elle faite que le 15 mai 1888, et seulement par le préfet Poubelle ! La mère de Pierre était la fille d'un des architectes de la ville de Paris, Ballu, qui édifia en particulier l'église de la Trinité à Paris et répara la tour Saint-Jacques, qui abrite depuis une station météorologique. Ce sont peut-être ses ascendances artistiques qui conduisirent Idrac à porter le chapeau de rapin qui marque son image.

1 - Pour plus de détails sur la biographie de ces deux savants, voir In memoriam Pierre Idrac et Robert Bureau, les pères du radiosondage. AAM, 2000.

2 - Charcot disparut dans le naufrage du *Pourquoi pas ?*, sur les côtes d'Islande, en 1936.



Idrac sur le front de Champagne. *La Météorologie*.

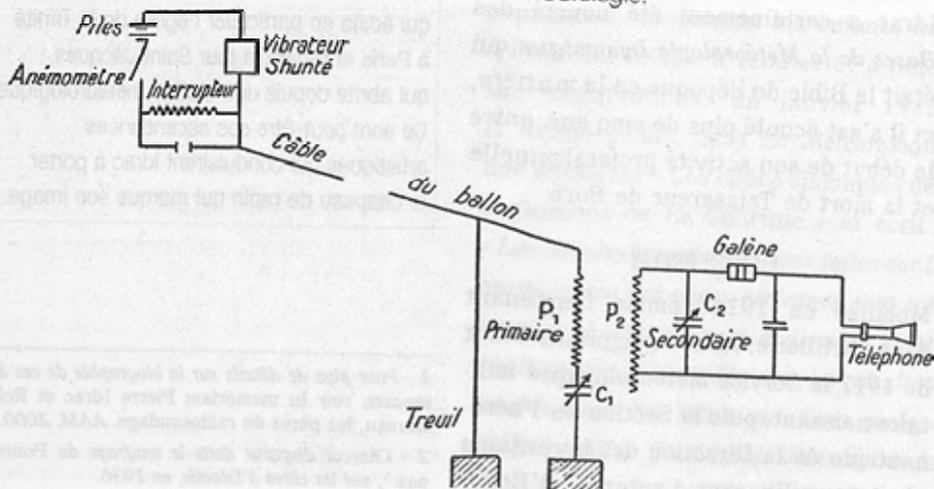
Rothé, futur directeur de l'Institut de physique du globe de Strasbourg. L'un des graves problèmes de l'époque était la correction des tirs d'artillerie, grâce à la détermination du « vent balistique », ce qui nécessitait la connaissance des vents sur la trajectoire du projectile. On utilisait, nous l'avons dit, les ballons météorologiques munis d'un dispositif anémométrique conçu par Rothé. Mais la transmission au sol se faisait par un câble bifilaire, assez lourd, ce qui limitait l'altitude atteinte. Idrac réalisa rapidement un système de transmission avec un seul fil, ce qui fut considéré comme un important progrès. L'expérimentation eut lieu au camp de

Suippes, le 30 juin 1917, en présence de Baldit, chef du Service météorologique de la 4^e Armée et futur chef du Service scientifique de l'ONM. Le dispositif a été décrit en détail par Rothé, d'abord en 1920 (*CRAS*, séance du 17 mai 1920) et à nouveau en 1936 (*La Météorologie*, mai-juin 1936) à l'occasion de la mort d'Idrac³. « Il consiste à se servir du moulinet de l'anémomètre comme d'un interrupteur qui, à chaque contact, met en action un petit émetteur d'oscillations électriques : la réception se fait au sol grâce à un ondemètre à galène ». Cette invention fut adoptée par le Service météorologique militaire et son emploi rapidement généralisé. Ce mode de transmission fut vite adapté pour d'autres variables météorologiques : Delcambre réalisa une girouette, Étienne et Moreau s'intéressèrent à la pression et à la température. Idrac perfectionna encore l'appareillage, en utilisant un condensateur à capacité variable, comme dans la technique, alors naissante, de la TSF. Émile Rothé rapporte que, dès cette époque, Idrac avait pensé aux sondages à haute altitude avec transmission sans fil : « Le principe était posé. Il suffisait de procéder à des recherches techniques de légèreté et de sécurité ».

- 1 - Nous en avons sommairement parlé page 52.
- 2 - Idrac a eu la délicatesse d'attribuer à Rothé, qui était son supérieur en 1917, la réalisation de la télémesure du vent dont nous avons parlé ci-dessus. En 1936, Rothé a pleinement reconnu le rôle primordial d'Idrac.
- 3 - En 1936 également, *La Météorologie* a publié une liste des travaux météorologiques de P. Idrac. Elle nous a paru incomplète.

De 1919
à 1935

Schéma de montage de la transmission de données de l'anémomètre réalisé par Idrac en 1917. Il paraît actuellement très élémentaire. *La Météorologie*.



Après l'armistice, Idrac travaille dans plusieurs des laboratoires les plus réputés de l'époque et est en relation étroite avec les meilleurs spécialistes français : général Bourgeois, général Étienne, général Ferrié, Claude, Bénard, Charcot ; il parcourt le monde et on le signale au Phare de la Jument, à Ouessant, dans le Sud-Algérien, au Sénégal, en Guinée, au Soudan, en Côte d'Ivoire, aux Orcades du Sud, sur un baleinier...

Parmi ses travaux touchant directement à la météorologie, on peut citer³ :

- En 1920 : première théorie des nuages en bande et expérimentation en laboratoire.

- De 1919 à 1924 : études sur le vol à voile et le vol des oiseaux. En 1921, il présente ses premiers résultats dans le cadre d'un mémoire de doctorat. Il invente toute une série d'appareils de mesure à partir de montages radioélectriques simples. Ils lui permettent l'équipement de cerfs-volants munis de dispositifs de télémétrie. Il réalise même un théodolite enregistreur¹.

- En 1933 : étude cinématographique des nuages à Paris et au pic du Midi.

- En 1934 : la turbulence en avion en Syrie.

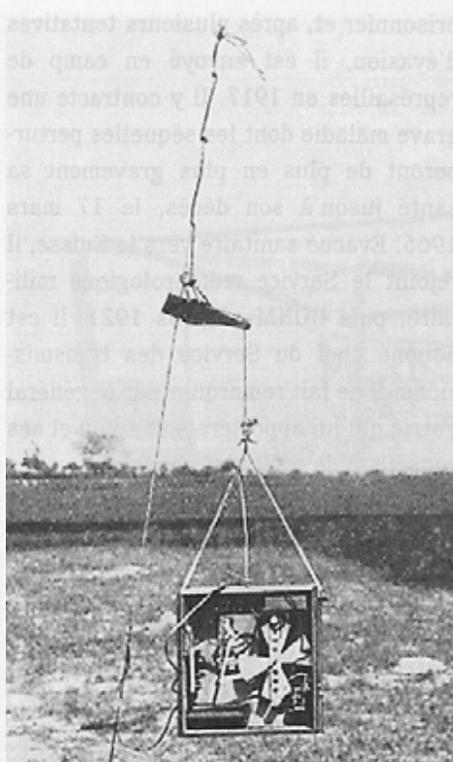
Il fut nommé en 1925, par le général Delcambre, à l'observatoire de Trappes, qu'il fallait entièrement réorganiser et activer. Idrac s'y adonna, sans abandonner ses multiples travaux sur des sujets touchant toujours, de près ou de loin, la météorologie ou l'océanographie. Il fut certainement l'un des premiers à concevoir l'étroitesse des liens entre météorologie et océanographie qui furent mis en évidence par l'école de Bjerknes et particulièrement par Sverdrup.

Il améliore la technique des ballons jumelés et préfère utiliser deux petits ballons plutôt qu'un gros, plus onéreux, en les attachant par leur manche, ce qui améliore sensiblement la stabilité de l'ensemble. Le ballon qui crève le dernier sert en fait de parachute durant la descente. Il met au point un dispositif de mesure du champ électrique, en utilisant une lampe bigrille, déjà expérimentée par le Père Lejay, géophysicien bien connu, et en reprenant un schéma très voisin de celui qui lui avait servi pour les anémomètres des « saucisses ».

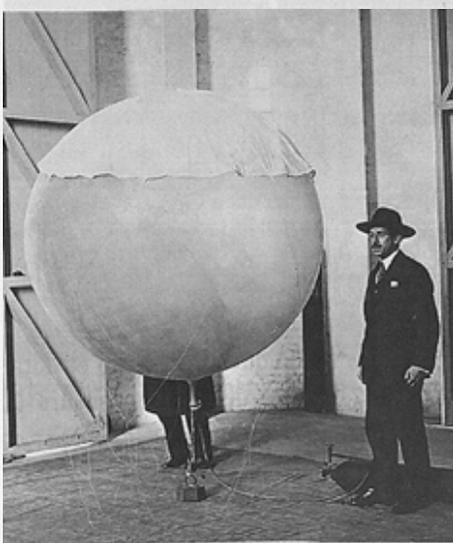
Robert Bureau

L'homme

Bureau est né le 6 février 1892 à Cayeux-en-Santerre (Somme). Il entra à Polytechnique en 1912 et en sortit en juillet 1914, comme lieutenant d'artillerie. Grièvement blessé au cours de la retraite de Charleroi, il est fait



Le thermomètre électrique d'Idrac. La Météorologie.



Idrac gonflant un ballon à Trappes. Photo Météo-France

Portrait de Robert Bureau. Photo Météo-France.

¹ - Cette étude fut l'objet d'une conférence à la SMF et fut publiée en trois fascicules dans La Météorologie en 1922.



Les autres travaux de Robert Bureau

Nous avons indiqué ci-dessus les travaux et les inventions de Bureau qui concernaient notre sujet, mais il y en eut bien d'autres, notamment dans le domaine de la radioélectricité. Il fit quarante communications à l'Académie des sciences qui le couronna quatre fois. En 1936, il est reçu docteur ès sciences avec une thèse sur « Les foyers atmosphériques et l'étude de l'atmosphère ». Il était commandeur de la Légion d'honneur. Il eut une grande activité internationale tant au sein de l'Organisation météorologique internationale (OMI), que de l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI) et de l'Union radio scientifique internationale (URSI). Il était très connu à l'étranger et fut notamment nommé, comme Teisserenc de Bort, membre d'honneur de la Royal Meteorological Society. Tous ceux qui ont travaillé avec lui disent encore aujourd'hui leur admiration et leur affection pour ce grand savant, modeste au sein des honneurs¹, et qui resta aimable et bienveillant dans les souffrances et les peines qui affligèrent ses dernières années.

¹ - Au printemps 1939, étant sous-directeur, alors que les services techniques de l'ONM étaient en partie repliés au Fort de Saint-Cyr, il venait de temps en temps, et parfois en pleine nuit, en robe de chambre et pantoufles, voir les simples soldats qui travaillaient au radiosondage, et discutait avec eux quasiment sur un pied d'égalité. (Duvergé)



prisonnier et, après plusieurs tentatives d'évasion, il est envoyé en camp de représailles en 1917. Il y contracte une grave maladie dont les séquelles perturberont de plus en plus gravement sa santé jusqu'à son décès, le 17 mars 1965. Évacué sanitaire vers la Suisse, il rejoint le Service météorologique militaire, puis l'ONM où, dès 1921, il est nommé chef du Service des transmissions. Il se fait remarquer par le général Ferrié qui lui apportera son appui et ses conseils à de multiples reprises.

Il a été l'un des pionniers des ondes courtes et les a utilisées avec grand suc-

l'Afrique centrale et l'Insulinde. Ils affectent les transmissions en ondes longues, les seules utilisées dans les années vingt pour la transmission à longue distance des données météorologiques. Bureau a montré que le renforcement brutal du niveau moyen des atmosphériques sur 11 000 m de longueur d'onde est une conséquence de l'action de l'ionosphère sur les ondes très longues sous l'effet du rayonnement ultraviolet émis au cours d'éruptions chromosphériques. Ainsi, pouvait être détecté ce phénomène solaire sans l'avoir observé.

Bureau débuta ses observations en 1930. Il espérait que leur étude pouvait aussi conduire à une meilleure connaissance de la structure de l'atmosphère terrestre et notamment à la détection à longue distance des orages. Il inventa un « goniomètre à faisceau étroit » qui a été considéré comme l'ancêtre des radiocompas devenus indispensables à la navigation aérienne ; puis un « radiocinémographe » qui enregistrait la cadence des éclairs simultanément sur plusieurs fréquences.

De 1935 à 1938, il étudie un « télémètre néphoscopique » destiné à déterminer la hauteur des nuages, en « mesurant le temps mis par une impulsion lumineuse du sol et renvoyée par les nuages ». Une expérimentation de longue durée eut lieu à Trappes de 1938 à 1940. Les résultats furent camouflés durant l'occupation par Bruyère.

En 1940, Bureau quitta l'ONM pour diriger le Laboratoire national de radioélectricité (LNR) qui sera plus tard rattaché au Centre national d'études des télécommunications (CNET) et dont il restera directeur jusqu'à sa retraite.

La genèse de la radiosonde

Idrac et Bureau s'étaient connus en 1918 au Service météorologique militaire. Leurs contacts furent facilités, après 1925, à l'observatoire de Trappes.



Premiers essais de radiogoniométrie vers 1932. Bureau est au centre entre Gret et Perlat devant l'appareil de sa fabrication. On distingue sur la gauche un théodolite sur son pied : il servait à contrôler les données du goniomètre. Photo Météo-France.

cès chaque fois que cela était possible. Il aimait les techniques de pointe et dota, dès 1927, l'ONM de téléimprimeurs (à bande défilante, qu'il fallait découper et coller !). Il réalisa également, en 1931, la transmission de cartes météorologiques par béliño, depuis la tour Eiffel. La réception était assurée dans les stations principales.

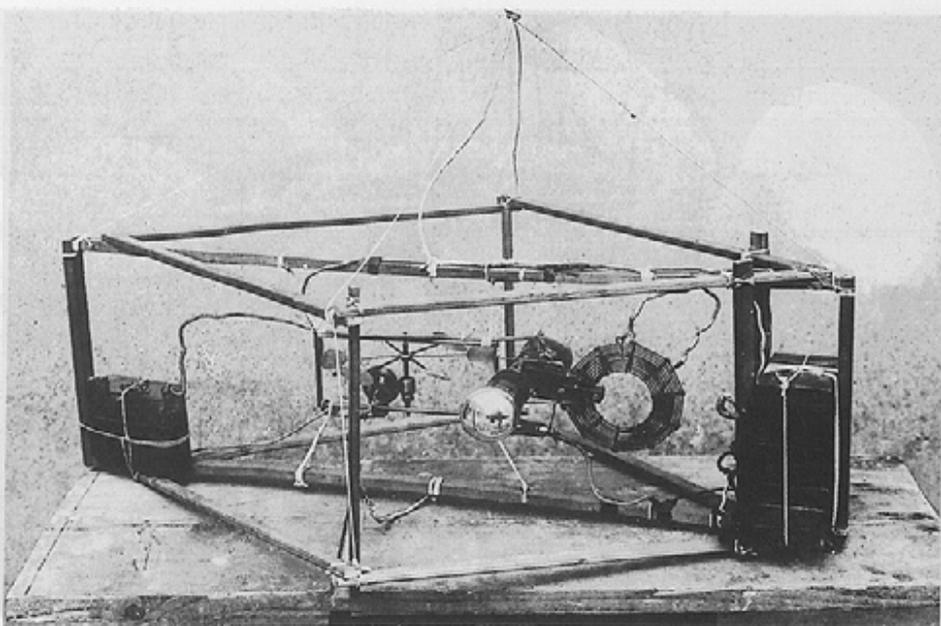
Mais sa grande passion, celle qu'il poursuivit sa vie entière, était l'étude des « atmosphériques ». Ces parasites radioélectriques sont provoqués par des décharges orageuses qui ont lieu dans les trois grands foyers tropicaux que sont l'Amérique centrale et du Sud,

En 1926, ils travaillèrent tous les deux sur l'électricité atmosphérique, en reprenant les cerfs-volants et les ballons-sondes de Teisserenc de Bort et en utilisant des enregistreurs de pression et de température plus précis, mis au point par Idrac (CRAS, séance du 29 mars 1926, p. 858). Ce dernier a publié le résultat de ses recherches dans *Nature* du 29 décembre 1928 : « Potential gradient at great heights ». Bureau, de son côté, a réussi et publié un enregistrement du champ électrique jusqu'à 20 000 m. Cependant, les mesures n'étaient toujours utilisables que si les instruments étaient récupérés, si bien que, sur les soixante ballons lancés par Idrac entre le 15 mai 1926 et le 31 décembre 1927, quarante-quatre seulement avaient été retrouvés, dont trois avaient atteint la stratosphère. Il était urgent de trouver mieux.

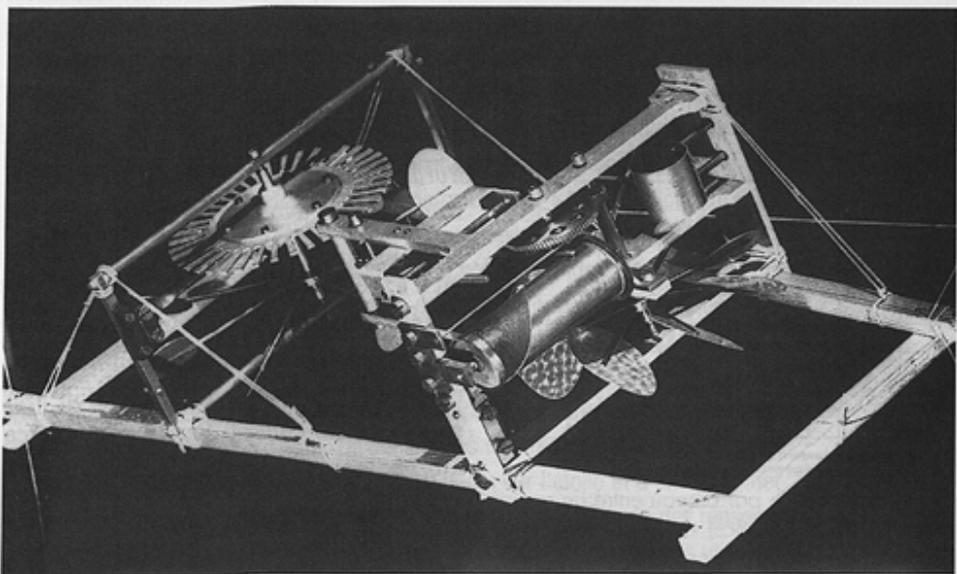
En 1936, à l'occasion du décès d'Idrac, Bureau rapporte, sans en préciser la date (sans doute début 1927), la teneur d'une conversation entre les deux amis : « Idrac me proposa alors l'emploi d'un ballon-sonde pour les mesures en altitude du champ d'une émission faite au sol, et je lui répondis en lui proposant l'expérience inverse. L'intérêt de cette expérience était double et nous nous en rendîmes compte aussitôt. De cette conversation naquit réellement le radiosondage¹. Je ne puis la reproduire mot pour mot, mais le souvenir m'en est resté assez net pour me permettre d'exposer toutes les idées qui y furent soulevées et toutes celles qui prirent corps ».

L'expérience fut facile à organiser, le choix de la transmission par ondes courtes s'imposa de lui-même, et la nécessité d'une structure légère guida les réalisateurs. « À l'aide de quelques pièces de jouet Meccano, de quelques pièces de bois, de pièces détachées pour émetteur de TSF, de piles sèches et d'un petit accumulateur, l'appareil fut rapidement achevé ».

Boisseau a étudié en détail (1977) les premiers essais ; Rochas et Lagadec



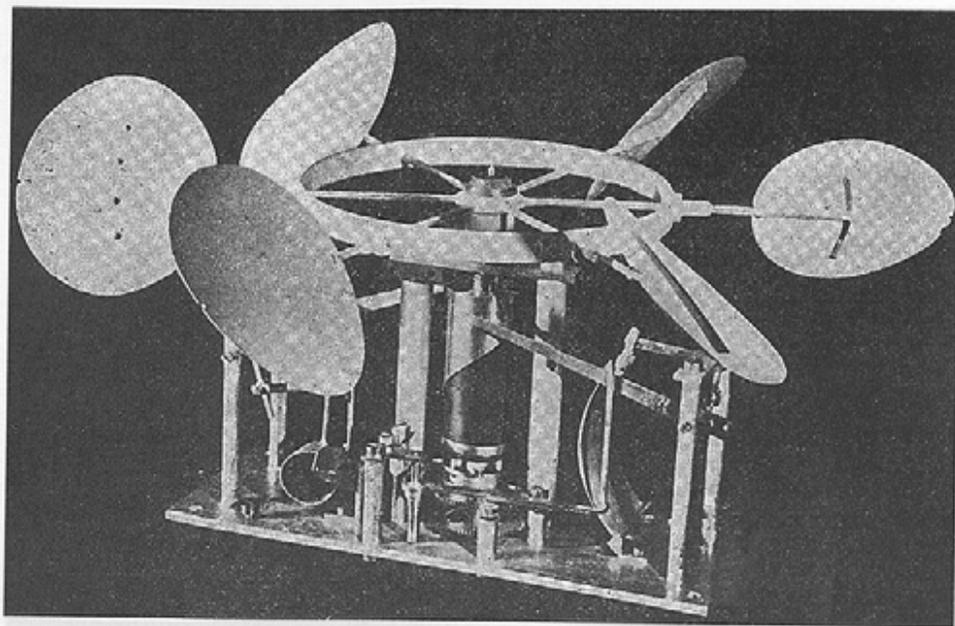
L'émetteur de l'expérience de mars 1927. Photo Météo-France.



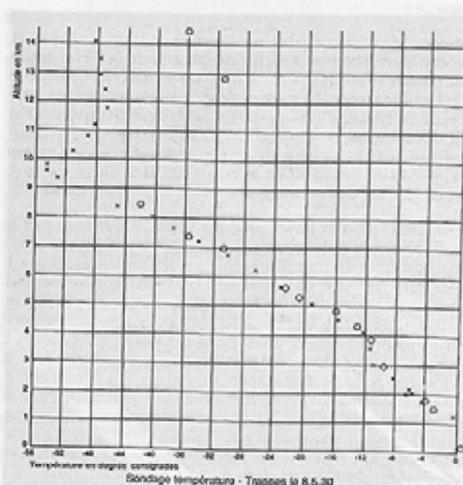
La première thermosonde lancée en janvier 1929. Photo Météo-France.

(1994) ont repris cette étude, dans *La Météorologie* et écrivent : « Après plusieurs essais au sol et sous cerfs-volants, deux sondages ont été effectués le 3 mars 1927 et deux autres le 7 mars pour mettre au point la méthode. Puis, deux lancers eurent lieu le 8 mars, qui ont permis d'atteindre des altitudes comprises entre 13 et 14 km, d'après la mesure de la vitesse ascensionnelle des ballons (donc sans équipement barométrique). Les émissions

¹ - Rochas rapporte que, d'après Middleton (1969), Bureau créa non seulement l'appareil mais le mot : « le radio-sonde », au masculin, qui perdit son trait d'union et changea de genre vers 1940. En fait, les opérateurs concernés ne parlaient, que de « la radiosonde » dès 1938.



La première barothermosonde. Photo Météo-France.



Comparaison faite par Bureau entre un radiosonde (points blancs) et un sondage par météorographe (points noirs). Photo Météo-France.

1 - M. Geoffre, nous l'avons vu, avait été le mécanicien de Teisserenc de Bort. Il fut donc le témoin de la continuité de la recherche aérologique en France. Idrac a mentionné à plusieurs reprises l'aide que Geoffre lui a apportée.

2 - En 1997, selon l'OMM, 433 831 radiosondes ont été lancées dans le monde !

3 - Dans les notes administratives de Bureau de 1934, Wehrli, son directeur, le considère comme « l'inventeur de la radiosonde ».

4 - Le 15 mai 1931, les météorologistes allemands lancèrent la première « sonde de Lindenberg », du nom de l'observatoire situé près de Berlin. L'inventeur se nommait Duchert. Durant l'occupation, il fut affecté à Paris, avec le grade de colonel, pour contrôler l'activité de l'ONM, ou plutôt son inactivité imposée par les conventions d'Armistice. Il se suicida peu après la fin de la guerre.

ont été captées aux postes de l'ONM, à Trappes et à Mourmelon, et par plusieurs radioamateurs, dont un situé dans la Gironde et un autre dans les Côtes-du-Nord (actuellement Côtes-d'Armor) ». L'émetteur n'avait qu'une puissance de 4 watts et l'ensemble pesait 2,7 kg. Ce fut l'expérience décisive qui rendit possible l'invention de la radiosonde. Idrac et Bureau ont rapidement publié leurs résultats, dans une communication présentée par le général Ferrié à la séance du 14 mars 1927 de l'Académie des sciences.

Les premières réalisations

Malheureusement, le développement de la radiosonde fut retardé par le départ d'Idrac vers Cuba et d'autres tâches, par le manque de crédits et par le peu de disponibilités de Bureau. Ce dernier précise : « C'est pendant l'hiver 27-28 (les expériences avaient été interrompues pendant l'été et l'automne par suite de nos longues absences de Paris), que, dans les quelques instants libres qui nous permettaient de nous échapper à Trappes, M. Gret et moi-même, nous avons commencé

les expériences proprement dites de radiosonde, aidés par l'ingéniosité de M. Geoffre, qui établissait les modèles successifs d'appareils ». Il réussit ainsi, début 1928, à réaliser deux instruments différents : une thermosonde et une baro-thermosonde, dont le nom suffit à expliquer l'objet. Il semble que, le principe étant acquis, Idrac n'ait guère participé à la réalisation pratique des suites de ses recherches, et, dès lors, c'est Bureau qui devint le seul maître des opérations. La première thermo-radiosonde fut lancée avec succès le 17 janvier 1929. Une note de Bureau fut présentée à l'Académie des sciences, le 10 juin 1929, par le général Ferrié. Cette thermosonde marque le début de la technique qui est encore actuellement la plus utilisée pour l'exploration quotidienne de l'atmosphère².

On sait que l'antériorité de l'invention de la radiosonde a été contestée par les Russes, parfois soutenus à l'étranger, qui l'attribuent à Moltchanov. Nous pensons que Rochas et Lagadec ont définitivement fait justice de cette prétention : le premier lancer avéré de Bureau date, on l'a vu, du 17 janvier 1929. Le premier lancer revendiqué par Moltchanov date du 30 janvier 1930 et n'a été publié qu'en novembre 1931. En 1965, juste après la mort de Bureau, le Bulletin de l'American Meteorological Society publie un bref article intitulé : « L'inventeur de la radiosonde est mort ». Enfin, Middleton, qui fait autorité en matière d'instruments météorologiques, a reconnu, en 1969, la priorité de Bureau, tant pour l'invention que pour la publication³. Nous n'insisterons donc pas davantage⁴. Nous n'entrerons pas en détail ici sur la technique de l'appareil, qui subit d'ailleurs de nombreuses petites modifications successives dans les années qui suivirent. On trouvera en encart une description, faite en 1932 par Bureau, à l'occasion de l'Année polaire. De 1929 à 1931, Bureau poursuit ses

essais dans les conditions difficiles dont nous avons parlé. Il fait des comparaisons convaincantes avec les résultats par ballon muni de météorographe. Il expérimente plusieurs longueurs d'onde et différents montages radioélectriques. Il étudie les capteurs de pression et de température et prévoit dès ce moment d'y adjoindre l'humidité, ce qu'il ne peut faire faute d'un capteur satisfaisant à basse température. Il constate que la vitesse de rotation des moteurs emportés est trop inconstante, notamment par suite des très fortes variations de température subies par l'appareil. Il imagine alors le système de la roue dentée qui rend la mesure indépendante de la vitesse de rotation du cylindre. C'est une succession de longues recherches, parfois sur des détails, qui occupe ces deux années fructueuses ; elles ont conduit en 1931, à une radiosonde considérée comme opérationnelle, et Bureau écrit alors : « *Émettre une idée n'est jamais bien difficile. Il faut la mettre en pratique. C'est là où commence la lutte de l'esprit contre la matière, c'est là qu'il faut une longue patience. Une fois qu'elle est atteinte, si l'on jette un regard en arrière, on s'aperçoit que, de l'idée primitive, il reste peu de choses et que, dans les premiers projets, on avait négligé le problème principal et presque toujours supposé le problème résolu* ».

La deuxième Année polaire internationale (API) 1932-1933

Les difficultés financières que nous avons déjà évoquées ne permettaient cependant pas la mise en service opérationnelle d'un matériel et d'une technique considérés pour l'époque comme très onéreux. Un événement, heureux mais imprévu, en donna cependant l'occasion : la deuxième Année polaire internationale (1932-1933). En 1927, l'amiral allemand Dominik propose au



Note sur les modèles français de radiosondes

Publication de l'ONM pour l'Année polaire

Le principe des radiosondes français consiste à déterminer la position des styles du baromètre, du thermomètre et de l'hygromètre en envoyant un nombre d'impulsions proportionnel à l'angle que font ces styles vers les repères fixes.

Ce procédé a plusieurs avantages :

- a - il est économique, car il n'est pas nécessaire que le chercheur ait une vitesse uniforme ;
- b - il est pratiquement indé réglable quelle que soit la température ;
- c - il permet d'utiliser un émetteur simple et peu coûteux, car sa longueur d'onde peut varier lentement sans inconvénients.

Une autre caractéristique des radiosondes français est la longueur d'onde, sur laquelle ils travaillent ; elle est d'environ 13 mètres, ce qui présente le double avantage de les mettre à l'abri des brouillages produits par d'autres émissions et à l'abri des parasites atmosphériques. C'est grâce à cette longueur d'onde qu'il a été possible de faire des sondages réguliers dans le Sahara, même dans les situations très orageuses.

L'organe essentiel de la radiosonde est un plateau divisé en trois parties par trois styles métalliques fixes entre lesquels peuvent se déplacer les styles mobiles commandés par le baromètre, le thermomètre, l'hygromètre (ce dernier n'existe que sur les modèles récents). Un bras portant un contact métallique explore circulairement ce plateau. Il est relié par des engrenages à une étoile métallique dont les rayons passent entre les lames d'un condensateur et modulent la longueur d'onde de l'émetteur. Cette modulation se traduit à l'enregistrement par des dents dont il suffit de compter le nombre pour avoir la valeur des angles parcourus par le bras explorateur.

Le passage sur les parties métalliques (fixes ou mobiles du plateau) se traduit par un arrêt de l'émission. Il est évident que le nombre de dents enregistré entre deux de ces arrêts ne dépend pas de la vitesse du bras explorateur mais uniquement de l'angle parcouru. Les choix des engrenages qui relient le bras explorateur et l'étoile permet d'obtenir la précision que l'on désire. On s'est pratiquement arrêté à celle correspondant aux valeurs approximatives suivantes pour une variation d'une dent : température 0°2, pression 1 mm. Divers artifices facilitent les sondages. Citons simplement celui qui consiste à découper 10 dents sur l'étoile et à en supprimer une de manière à permettre un décompte 10 par 10. La fréquence des renseignements dépend de la vitesse de rotation du bras explorateur. Dans les appareils utilisés pendant l'Année polaire, une rotation complète (donc une valeur de chaque élément) était obtenue pour une différence d'altitude inférieure à 100 mètres.

Les appareils sont légers (1 500 grammes y compris les piles et les accumulateurs), robustes (80 % reviennent en état de marche) et relativement peu onéreux (environ 600 F sans les piles et accumulateurs).

Au cours des sondages effectués à Trappes, Tamanrasset (Sahara) et à Rosenvingen, Scoresby Sund (Groenland), l'altitude de 18 000 mètres a été atteinte. Les sondages ne sont d'ailleurs interrompus dans la presque totalité des cas que par l'éclatement du ballon.

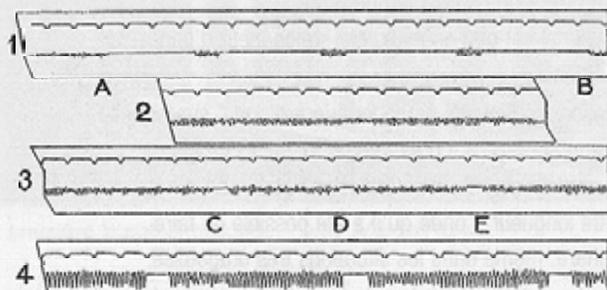
1 - Bureau appelle ainsi l'organe tournant, grâce à un moteur, autour de l'axe. On établit ainsi, à chaque rotation, des contacts successifs avec les trois plots fixes délimitant les plages réservées à chacun des paramètres et, dans chaque plage, avec le style relié à l'organe sensible. Ainsi était mesuré l'angle entre le plot fixe et le style mobile.



Le dépouillement du sondage

Rapporté par Pierre Duvergé

Le dépouillement de l'enregistrement nécessitait, pour chacun des trois paramètres, le décompte des dents de l'émission entre le point fixe et le style relié au capteur concerné. La roue dentée portait dix dents dont une plus courte que les autres, ce qui facilitait grandement le décompte. Celui-ci se faisait en temps réel, au fur et à mesure de la sortie de la bande enregistrante d'un oscillographe muni d'un siphon encreur. Le report du nombre de dents sur une courbe d'étalonnage permettait de déterminer les valeurs



Bandes d'enregistrement du radiosondage. Il s'agit là d'un modèle de radiosonde datant d'avant le découpage des groupes de dents par dizaines, qui permettait la lecture en temps réel. Le décompte put alors se faire à la sortie de la bande de l'oscillographe. Il fallait cependant beaucoup d'attention. *La Météorologie*.

enregistrées et de « monter » le sondage sur un papier quadrillé, qui fut bientôt remplacé par un diagramme spécifique mieux approprié. Avec un peu d'entraînement, après avoir choisis les « points caractéristiques », le message codé, assurant la diffusion du sondage, était émis 15 à 20 minutes après la fin de l'ascension.

Comité météorologique international (CMI) de commémorer, en renouvelant cette opération, le cinquantenaire de la première Année polaire internationale (1882-1883), qui avait été lancée par l'Autrichien Weyprecht et acceptée au cours d'une réunion tenue à Rome en 1879. L'assemblée générale de l'Union géodésique et géophysique internationale, réunie à Stockholm en août 1930, approuva chaleureusement ce projet.

La première API avait suscité un grand intérêt parmi toutes les grandes puissances. Cependant, la France, en principe, ne devait pas y participer, faute de crédits sans doute¹, mais surtout, semble-t-il, faute d'accord entre les divers services ou institutions concernés et notamment parmi les météorologistes². Le BCM semble s'être désintéressé³ de l'API. On n'en trouve mention que dans l'*Annuaire* de 1882, où Teisserenc de Bort rend compte d'une importante réunion d'organisation tenue

à Saint-Petersbourg le 16 août 1881. Il note : « On considère comme probable l'occupation du Cap Horn par la France ». La décision d'abstention, après avoir été notifiée aux organisateurs, souleva un tollé au sein du monde scientifique français ! Selon le rapport de mission officiel⁴, le 16 mai 1892, les Chambres votèrent, avec empressement, les crédits nécessaires et il fut décidé d'envoyer, au voisinage du Cap Horn, un trois-mâts-barque de 1 700 tonnes, *La Romanche*. Il n'emmena que du personnel militaire, dont cinq officiers qui suivirent une formation rapide au BCM. La mission s'établit sur la côte sud de la Terre de Feu, dans la Baie Orange (55°31'24"S - 70°25'12"O), du 6 septembre 1882 au 14 mai 1883. Elle fit un excellent travail et les responsables se félicitèrent du succès de l'ensemble de l'opération internationale. Fut-elle cependant une réussite ? Voici ce qu'en dit Henryk Arctowsky en 1931 dans *La Météorologie* : « Il serait hasardeux d'exprimer une opinion concernant l'importance des résultats obtenus... Aucune monographie n'a été écrite... Aucune découverte universellement admise. On serait tenté de croire que ce grand effort fait pour réaliser l'idée de Weyprecht n'avait pas de raison d'être, tout au moins en ce qui concerne la climatologie. On peut en dire autant de la météorologie synoptique et des observations magnétiques de ces expéditions ».

Il faut tout de même remarquer que c'était la première fois qu'une coopération scientifique s'établissait mondialement avec l'accord des différents gouvernements. Elle aura des suites importantes pour l'avenir.

Quoi qu'il en soit, après de nombreuses réunions et discussions, le projet de l'amiral Dominik était accepté en 1929 par la Conférence des directeurs : la deuxième API serait organisée du 1^{er} juillet 1932 au 31 juillet 1933, soit sur 13 mois. Il était précisé que son objet ne se limiterait pas à l'observation de l'Arctique et de l'Antarctique, mais serait « l'observation de la circulation

1 - Selon Fierro, le gouvernement français consacrait à la météorologie, en 1903, 0,05 franc par habitant, soit 7 fois moins que les USA et 2 fois moins que le Danemark.

2 - Rappelons qu'en 1873 la France n'avait pas participé à la réunion de Vienne, prélude à la création du Comité météorologique international, faute d'un accord entre les responsables. C'était l'époque de la grogne contre Le Verrier.

3 - L'observatoire du Parc Saint-Mour, qui dépendait alors du BCM, semble cependant avoir été très actif. La série des circulaires émanant du Comité d'organisation en fait foi. Pour le lecteur intéressé, cette série peut être consultée auprès de Jean-Pierre Legrand (communication privée de ce dernier).

4 - *Mission du Cap Horn*, Sept volumes, Gauthier Villars, Paris 1888.

générale, des pôles à l'équateur, avec tous les phénomènes associés. À cet effet, des observations adéquates sont nécessaires dans les latitudes basses et moyennes ». La recommandation relative à l'aérologie ne mentionne pas les radiosondages, mais précise que, dans toute la mesure du possible, des observations en mer doivent être effectuées. Bien entendu, une « Commission internationale de l'Année polaire » est nommée. Elle est présidée par Hergesell, la France est représentée par C. Maurain, qui devient plus tard directeur de l'Institut de physique du globe de Paris et doyen de la faculté des sciences.

La participation française

La France n'entendait pas renouveler la bévue de 1882, et on organisa une « Commission française de l'Année polaire », dont le général Ferrié assurait la présidence et Maurain le secrétariat. L'ONM y était dûment représenté par Wehrlé, Bureau y siégeait au titre de l'Union géophysique et géodésique internationale. Un projet ambitieux fut élaboré. Fut-ce pour une question de crédits et de moyens, ou parce que la radiosonde de Bureau n'avait pas encore fait ses preuves en exploitation ou encore parce qu'elle n'était pas commercialisée ? Toujours est-il qu'il semble que l'offre de l'utilisation de cette dernière ne fut faite que tardivement, après celle des sondes allemandes de Lindenberg et russes de Moltchanov. Or, les 45 000 dollars consacrés par la fondation Rockefeller à cet effet étaient déjà attribués pour la mise en œuvre de 60 des premières et 92 des secondes. La maison Telefunken en profita pour donner une bonne publicité à la commercialisation de la sonde allemande. Quant aux Russes, ils avaient tout l'appui de la machine industrielle stalinienne ! La Commission avait d'ailleurs prévu les emplace-

ments des postes de sondage et, curieusement, ils étaient très disséminés, ce qui nuisait sans doute à l'efficacité du dispositif.

Heureusement, l'Association internationale de météorologie mit à la disposition de la France une somme de cinq cent mille francs pour le lancer des radiosondes françaises. Ils s'ajoutaient aux trois millions quatre cent mille francs alloués par le budget français pour l'ensemble de l'opération¹. Ces crédits importants étaient cependant très inférieurs à ceux nécessités par le projet initial qui dut être revu à la baisse² ! Entre autres, les stations prévues à Saint-Paul et aux îles Kerguelen durent être abandonnées. Elles ne furent réalisées que quelque vingt ans plus tard ! L'effort fait par l'ONM sous l'impulsion de Bureau fut considérable et il se prolongea, à la demande de l'OMI, jusqu'au 31 janvier 1934, date de la fin de l'année polaire dans l'hémisphère sud.

L'ensemble du réseau fut mis à contribution. Pendant les treize mois de l'API, les vingt-cinq stations de France et d'Afrique française du Nord (AFN) effectuèrent vingt-six mille sondages par ballons-pilotes. On peut y ajouter les sondages, pour la plupart quotidiens, faits dans les dix-huit stations du réseau d'outre-mer relevant du Service météorologique colonial. Cent trois sondages par avion furent aussi exécutés, pour leur majorité dans la région parisienne. L'observatoire de Trappes reprit également des lancers par ballons libres équipés de météorographes, aux jours demandés par l'Organisation : quarante-neuf sondages furent ainsi exécutés, dont quarante atteignirent la stratosphère.

Mais c'est sur le radiosondage que porta l'effort essentiel, car son succès était gage de l'avenir, et la sonde de Bureau devait, en outre, faire ses preuves devant ses deux concurrentes. Trois expéditions furent organisées par la France à Tamanrasset (Sahara),



Dans les territoires d'Outre-Mer

Le décret du 29 avril 1929 avait créé un « Service météorologique colonial » qui avait, dans ses attributions, la physique du globe (sismologie, océanographie, magnétisme...). Il n'avait que peu de liens avec l'ONM mais bénéficiait de l'appui de l'Institut et des Universités. Il devait unifier les activités des services locaux, existant dans divers territoires, et créer ceux qui n'existaient pas. Cette jeune institution était en plein développement lors du début du conflit mondial et souffrit alors gravement de la pénurie des personnels et des approvisionnements. Elle disparut en 1945 lors de la création de la Météorologie nationale qui l'absorba. Son apport à l'aérologie se limita à la mise en œuvre d'un réseau de sondages par ballons-pilotes, à quelques mesures par avion et à l'installation d'enregistreurs au sommet de la montagne Pelée, à La Martinique.

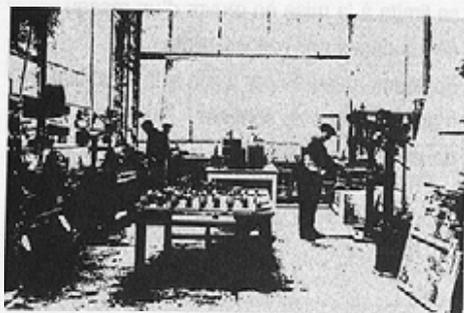
1 - Il semble que le président Paul Doumer se soit intéressé à ce projet et ait aidé l'obtention des crédits. Étant gouverneur de l'Indochine, il avait créé et organisé le Service météorologique local en 1900.

2 - Il est probable que la crise économique de 1929 est l'une des raisons du manque de crédits. Les résultats escomptés lors de la présentation du projet en 1927 n'ont pu être atteints du fait de cette limitation des ressources.



Max Douguet

Max Douguet continua, à travers une brillante carrière dans la marine nationale, à s'intéresser à la météorologie et aux problèmes polaires. Il présenta, avec Bureau, en 1934, un compte rendu à l'Académie des sciences sur « La variation diurne des atmosphériques durant la nuit polaire ». Il participa à certaines des croisières de Charcot, puis, en février-mars 1939, à une mission scientifique sur l'avis *Bougainville* dans les mers Australes : quatorze radiosondages furent effectués aux Kerguelen, quatre à Saint-Paul et Amsterdam, quatre en mer, et un à Maurice. Les résultats firent l'objet d'un CRAS, co-signé par Bureau et Wehrli, le 1^{er} mai 1939. Enfin, il conduisit les trois premières expéditions françaises dans l'Antarctique qui aboutirent à la création de l'Établissement de la terre Adélie en 1951. Il termina sa carrière avec le grade d'amiral.



L'atelier de montage des radiosondes vers 1930 au Mont-Valérien. On distingue sur la table les appareils en cours de montage, sans doute pour la préparation de l'année polaire. Photo Météo-France.

1 - Failletaz a publié, en 1934, avec Bureau, une étude sur les enregistrements d'atmosphériques faits à Tamanrasset.

2 - La base reçut le nom de « Ker Doumer », sans doute en remerciement de l'appui que le président avait donné à l'ensemble du projet.

Scoresby Sund (Groenland) et Bangui (Afrique équatoriale française). L'ONM n'avait aucune expérience dans un tel domaine et il fallut tout organiser, tout improviser malgré le manque de moyens. Les radiosondes avaient jusqu'alors été fabriquées, à la main et à la pièce, dans les ateliers du Mont-Valérien. Contrairement à ce qui fut fait en Allemagne, aucun industriel français n'avait voulu s'intéresser à ce type d'instrument, dont le marché leur paraissait douteux. On dut donc passer à la hâte les commandes de pièces détachées à la société Préalé et assurer le montage dans les locaux de Trappes. Pour le personnel, ce fut plus difficile encore, par suite du manque de cadres qualifiés. Les problèmes de logistique furent d'autant plus malaisés à résoudre que, au matériel météorologique, s'ajoutaient les appareils nécessaires à la géophysique et aux études sur les « atmosphériques » chères à Bureau.

Tamanrasset

La mission de Tamanrasset fut confiée à Bruyère, alors en début de carrière. dont nous avons déjà parlé à l'occasion des sondages par fusées. Il eut pour adjoint Failletaz, jeune physicien suisse en fin d'études¹. Ils n'arrivèrent sur place que le 21 novembre 1932, et les observations débutèrent le 13 décembre. Mais un déluge, très exceptionnel en ce lieu, s'abattit sur la région entre le 9 et le 16 janvier, provoquant de sérieux dégâts et perturbant gravement l'exploitation. Sur soixante-dix sondages prévus, trente-huit ont été réussis avec une altitude moyenne de 12 300 m ; quatre ont atteint la stratosphère, à des altitudes variant entre 16 000 et 19 000 m. Les résultats de l'expédition furent exposés par Bruyère, le 12 juin 1934, au cours d'une réunion de la Société météorologique de France. Ils furent considérés comme très intéressants.

Scoresby Sund

L'expédition au Groenland établit sa base à Rosenvigen, dans le Scoresby Sund, sur la côte ouest, à un emplacement choisi l'année précédente par Charcot et Gain, sous-directeur de l'ONM. Elle fut assurée par la marine nationale, grâce au brise-glace *Pollux* et au *Pourquoi pas ?*, le navire de Charcot. Bien préparée, bien commandée, bien exécutée, cette mission bénéficia d'un soutien logistique considérable, surtout par rapport aux deux autres. Elle comprenait quinze membres dont douze marins placés sous les ordres du lieutenant de vaisseau Habert et de son adjoint Max Douguet qui était responsable de la partie météorologique ; il avait suivi une formation rapide à Trappes. J.-P. Rothé, qui succéda à son père à la tête de l'Institut de physique du globe de Strasbourg, et le géophysicien Dauvilliers se partageaient les recherches de géophysique. Lindbergh vint survoler la base en juillet 1933 et chercha vainement à se poser. Le commandant Charcot se rendit lui-même plusieurs fois sur place en 1931, 1932, 1933 et 1934. L'installation² des trois mille cinq cent tonnes de matériel se fit sur deux niveaux séparés par 500 m d'altitude et les participants furent soumis à des vents violents, les fameux vents catabatiques, et à des conditions météorologiques parfois sévères. Une tempête survenue au début de décembre 1932 provoqua de graves dégâts et nuisit à la pleine réussite de l'expédition. Durant janvier 1933, des tempêtes de nord-ouest se succédèrent et le vent ne s'abassa pas au-dessous de 20 m/s. Au total, il semble que la durée de plein fonctionnement ne dépassa guère sept mois. Sur cinquante radiosondages prévus, trente-cinq furent exécutés dont vingt-trois furent utilisables. Rothé a publié un tableau indiquant huit journées où la stratosphère a été atteinte, à des altitudes variant de 7 300 m le 14 mars à 11 000 m le 16 juin. En mai et en juin, trois sondages auraient dépassé 12 000 m sans trouver la tropopause.

Bangui

La troisième expédition devait s'installer à Bangui (République centrafricaine) alors siège de la direction du Service météorologique de l'Afrique équatoriale française (AEF)¹. Elle fut confiée à deux étudiants en fin d'études, Capmas et Galand, qui reçurent à l'ONM une formation de six semaines ! Elle emportait soixante radiosondes. Nous n'avons retrouvé aucun compte rendu de cette mission et il n'est pas certain qu'elle ait reçu tout l'appui nécessaire des autorités locales. Le Service météorologique colonial, créé en avril 1929, était encore en période d'organisation, même si un réseau de stations existait bien avant cette date. R. Richard, surnommé « le père la Tornade », directeur du Service de l'AEF, a décrit de façon détaillée la participation de son service à l'API, en ce qui concerne les observations usuelles de la météorologie. Mais il distingue le travail des « membres coloniaux » de celui des « membres métropolitains », sans même citer les noms de ces derniers. Il semble qu'ils n'aient pu faire grand-chose, en partie au moins pour des raisons de santé. Et Richard indique, à la date du 28 mars 1934 : « Des essais de radiosondage vont être entrepris dans les mois à venir » !

Les conclusions de l'expérience

Malgré les conditions particulièrement sévères de leur utilisation, les radiosondes de Bureau avaient fait la preuve de leurs qualités et de la possibilité de leur utilisation opérationnelle sans difficultés majeures. Elles furent jugées, à l'échelon international, comme plus fiables, plus précises et moins onéreuses que leurs concurrentes étrangères. Mais le plus important sans doute était que la radiosonde avait fait la preuve de son intérêt scientifique et des possibilités qu'elle ouvrait dans l'exploitation quotidienne et la prévision : les

cartes quotidiennes d'altitude paraissaient désormais utilisables dans un proche avenir.

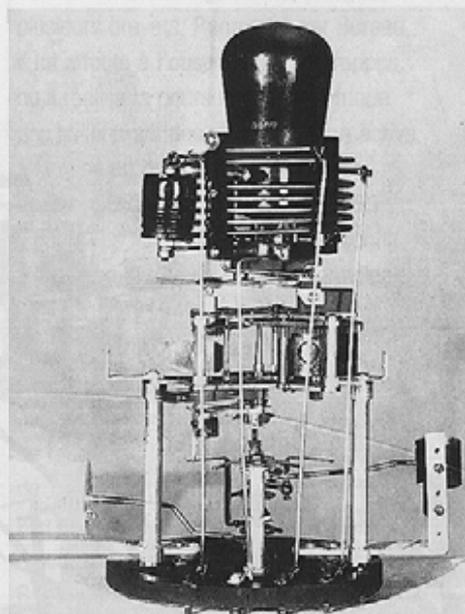
Ce fut l'avis unanime de tous les météorologistes, et, en 1937, le Comité météorologique international établissait un plan de réseau mondial de stations quotidiennes de radiosondages. Avec la sonde de Bureau, dont le perfectionnement se poursuivait lentement, la France paraissait bien placée pour assurer sa part dans l'aboutissement de ce projet. Mais l'ONM allait maintenant devoir procéder à la phase suivante de ce développement : la mise en exploitation régulière du radiosondage, qui marquait en fait les débuts de l'aérodologie opérationnelle. Il fallut pour cela près de cinq ans après la fin de l'API. Selon Viaut, il y avait en Europe, en 1939, quatre stations en opération : deux en URSS, une en Allemagne et une en France².

Peut-on porter un jugement sur l'important effort international que fut la deuxième API ? Il est certain que nombre d'expériences ou observations prévues n'ont pu être menées à bien, telle, pour la France, celle de Bangui. Cependant, l'API a permis la constitution à Copenhague d'une grande banque de données et a généré de nombreuses publications, dans lesquelles notre pays ne s'est guère distingué. Mais les difficultés dues aux problèmes européens, puis le déclenchement du conflit en 1939, ont certainement gêné la diffusion des résultats acquis et sans doute empêché l'élaboration des grandes synthèses que l'on avait espérées³.

1 - Il fallait à l'époque plus de six semaines pour se rendre de Paris à Bangui.

2 - On pourrait y ajouter la station du Carimaré, le premier navire météorologique stationnaire, dont nous parlerons bientôt.

3 - Ce n'est qu'en 1951 que Laursen a pu publier, pour le compte de l'OMM, une bibliographie sur la deuxième API, qui compte 253 pages.



La radiosonde de l'année polaire (1931-1932). Photo Météo-France.