



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Comptes Rendus

Mécanique

Bruno Chanetz, Alain Broc et Philippe Jung

Audouin Dollfus, astronome du XX^e siècle

Volume 351, Special Issue S4 (2023), p. 57-71

Published online: 17 August 2023

Issue date: 15 September 2023

<https://doi.org/10.5802/crmeca.214>

Part of Special Issue: Hommage à Ismaël Boulliau

Guest editor: Bruno Chanetz (ONERA, BP 80100, 91123 Palaiseau Cedex, France)



This article is licensed under the
CREATIVE COMMONS ATTRIBUTION 4.0 INTERNATIONAL LICENSE.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*Les Comptes Rendus. Mécanique sont membres du
Centre Mersenne pour l'édition scientifique ouverte*

www.centre-mersenne.org

e-ISSN : 1873-7234



A tribute to Ismaël Boulliau / *Hommage à Ismaël Boulliau*

Audouin Dollfus, astronome du XX^e siècle

Audouin Dollfus, 20th century astronomer

Bruno Chanetz^{* a}, Alain Broc^b et Philippe Jung^c

^a ONERA, Université Paris Saclay, F-91123 Palaiseau, France

^b ONERA, Université Paris Saclay, F-92322 Châtillon, France

^c French Aeronautical and Astronautical Society (3AF), France

Courriels : Bruno.Chanetz@onera.fr (B. Chanetz), alainbroc@gmail.com (A. Broc), philippe.jung10@gmail.com (P. Jung)

Résumé. L'astrophysicien canadien Hubert Reeves (avril 2011) considère Audouin Dollfus comme un des plus grands astronomes français contemporains. Il a notamment découvert Janus, satellite de Saturne, déterminé la composition du sol de Mars, détecté un résidu atmosphérique sur Mercure et contribué à choisir le terrain d'alunissage de la mission Apollo 11, qui permit à Neil Armstrong de poser le premier pied de l'homme sur la Lune. Ce fut également un aéroplane de haute volée puisqu'il détient toujours le record du monde du plus haut vol habité avec un ballon muni d'un télescope astronomique.

Abstract. Canadian astrophysicist Hubert Reeves (April 2011) considers Audouin Dollfus to be one of the greatest contemporary French astronomers. In particular, he discovered Saturn's satellite Janus, determined the composition of the soil on Mars, detected atmospheric residue on Mercury and helped choose the landing site for the Apollo 11 mission, which enabled Neil Armstrong to set foot on the Moon for the first time. He was also a high-flying aeronaut, as he still holds the world record for the highest manned flight in a balloon equipped with an astronomical telescope.

Mots-clés. Astronomie, Lune, Mars, Espace, Ballons.

Keywords. Astronomy, Moon, Mars, Space, Balloons.

Published online: 17 August 2023, Issue date: 15 September 2023

1. Sa formation et le début de sa carrière

1.1. La famille Dollfus

Audouin Dollfus est né le 12 novembre 1924, d'une famille alsacienne, dont six de ses membres furent maires de Mulhouse. Il est le fils de Charles Dollfus, actif pilote de ballon libre [1], qui obtint son brevet civil en 1913 et son brevet militaire n° 333 le 15 novembre 1918. Ce dernier servit à Rochefort comme directeur de l'école des ballons libres. Arrivé de Saint-Cyr et commençant ses vols le 11 novembre 1917, jusqu'en 1918, il y accomplit également, bien que non pilote de dirigeable, 244 h de vol à bord de ceux-ci en 81 ascensions.

* Auteur correspondant.



FIGURE 1. Audouin Dollfus lors de l'envol historique de 1959.

Passionné par les débuts de l'aviation et possédant une collection unique d'objets idoines, Charles Dollfus est logiquement chargé par le général Hirschauer, créateur le 23 novembre 1921 du Conservatoire de l'Aéronautique à Chalais-Meudon, de s'occuper de l'aspect histoire et des collections de celui-ci. Il en est nommé conservateur en 1927, jusqu'en 1958, alors que le Conservatoire devient en 1936 le Musée de l'Air puis le Musée de l'Air et de l'Espace au Bourget. Premier français à réaliser un aller et retour sur l'Atlantique à bord du dirigeable *Graf Zeppelin* en 1932 [2], il publie la même année, avec Henri Bouché, une magnifique « Histoire de l'Aéronautique » (Edition L'Illustration), véritable référence, avec réédition en 1938. Lorsque pour les besoins d'un film anglais l'historique Montgolfière du 21 novembre 1783 de Pilâtre de Rozier est reconstituée en 1937, c'est lui qui la pilote avec G. Cormier. En 1932 il donne à son fils son baptême de l'air, en ballon. Audouin Dollfus confiera à Jean Tensi [3] lors d'une interview réalisée en 2010, quatre mois et demi avant sa mort : « *Mon père était un homme d'exception, un homme d'une grande culture* ». Charles Dollfus était un arrière-petit-fils de Marie Mieg et de Daniel Dollfus, lequel présida à la création de la firme textile Dollfus-Mieg Compagnie, bien connue des couturières sous la marque mythique DMC.

Audouin Dollfus (voir Figure 1) doit sa passion pour l'aérostation à son père. Il devient pilote dès qu'il a l'âge requis, juste après la Seconde Guerre mondiale. Sa fascination pour l'astronomie lui est venue lors de vacances dans la maison de ses grands-parents à Lyons-la-Forêt : « *J'ai vécu dans cette atmosphère familiale et grand-familiale très culturelle. Il y avait des bibliothèques d'une richesse extraordinaire, très éclectiques d'ailleurs. Un jour à l'âge de 8 ans, un peu par hasard, j'ai tiré de la bibliothèque de mes grands-parents un livre qui m'a attiré parce qu'il était bien décoré et qui s'appelait « Le Ciel » d'Amédée Guillemin. J'ai été stupéfait. Je n'ai pas pu le lire. Il y avait des illustrations, des hors-texte en couleur* » [3]. Ce sera le début d'une passion qui ne le quittera plus : « *A 14 ans, j'ai eu ma première lunette (astronomique). Je l'ai trouvée là aussi dans les vieux tiroirs de la propriété de campagne de mes grands-parents, en fouillant. Il y avait de tout, c'est l'illustration de la culture comme on l'avait autrefois* ». L'observation de Mars le 14 juillet 1941 avec l'astronome amateur Jean Dragesco [4] le confirme dans la voie scientifique.

1.2. *Le vol en ballon de Charles et Audouin Dollfus à 7 000 m d'altitude en 1954*

Ayant obtenu en 1946 un doctorat en mathématiques à la faculté des Sciences de l'Université de Paris, Audouin Dollfus entre la même année à l'Observatoire de Paris-Meudon, alors dirigé par

le grand astronome Bernard Lyot. Inventeur du célèbre coronographe, ce dernier avait mis au point une technique d'analyse des surfaces planétaires en étudiant la polarisation de la lumière réfléchie par ces corps.

Son baptême de l'air lui a aussi inoculé le virus du ballon : il obtient ses brevets de pilote de ballon et de montgolfière en 1947 [5]. Le 3 mai 1953 il bat à bord d'un ballon Zodiac les records de distance (208,6 km) et de durée (4 h) dans la catégorie A-3, puis dans la catégorie A-2 celui d'altitude avec 3 405 m à bord d'un autre Zodiac le 1^{er} mai 1955.

On sait que nous sommes protégés des diverses radiations cosmiques et des météorites par notre atmosphère, mais avec l'inconvénient de l'existence d'un trou de souris dans le spectre électromagnétique de l'infra-rouge à l'ultra-violet : le visible qui nous parvient sur Terre ne s'étend en effet que de 0,1 à 10 μm (au-delà, les ondes radio centimétriques passent aussi). Audouin Dollfus est naturellement conduit à imaginer emporter un télescope à bord de la nacelle d'un ballon.

Cette grande première a lieu le 30 mai 1954. L'objectif est d'analyser la composition du sol martien, et notamment tenter d'apporter une réponse à la sempiternelle question de la présence ou non d'eau — depuis l'annonce en 1877 par l'Italien Schiaparelli de « canaux », en fait une mauvaise traduction de *canali*. Il s'envole en ballon de Villacoublay avec son père, emportant un télescope dans la nacelle et s'élevant jusqu'à 6 400 mètres d'altitude. Il réussit ainsi la première observation astronomique depuis un ballon, mais ne parvient pas à déceler la présence d'eau sur Mars. Pour obtenir de meilleurs résultats, il faut atteindre la stratosphère, soit plus de 11 000 m. Le professeur Auguste Piccard et son coéquipier, Paul Kipfer, sont les premiers, le 27 mai 1931, à avoir pénétré dans la stratosphère, atteignant une altitude de 15 781 m, pour étudier l'atmosphère et le rayonnement cosmique, à bord de la première nacelle pressurisée.

Il faut donc réaliser un gros ballon, très léger et fragile, difficile à fabriquer et à mettre en œuvre. Les puissants moyens de l'US Air Force lui avaient certes permis à partir de mai 1955 de réaliser des ascensions à plus de 18 000 m avec des ballons *Moby Dick Hi* de type *Skyhook*, ce qui est totalement inenvisageable en France.

2. L'ascension en ballon d'Audouin Dollfus à 14 000 m d'altitude en 1959

2.1. Un exploit sportif

Il se trouve qu'une innovation majeure avait été apportée en juillet 1937 par le professeur américain Jean Piccard, frère d'Auguste, avec le *Pleiades* employant une grappe de quelques 98 ballonnets pour monter à 3 000 m, puis descendre en coupant les fils au couteau ou en tirant au pistolet sur les ballons ! [6].

En 1957, Audouin Dollfus s'inspirant du vol de Jean Piccard, conçoit un dispositif similaire destiné à emporter un télescope dans les airs avec un expérimentateur à bord. La capsule de survie est constituée d'une sphère de moins de 1,8 m de diamètre en aluminium de 1,2 mm d'épaisseur, recouverte de 20 mm de polystyrène. Le professeur Louis Leprince-Ringuet donne son appui pour cette réalisation. La structure portant le télescope est réalisée en tubes de duralumin, pour lesquels le professeur Auguste Piccard apporte son aide. Un télescope de type Cassegrain de 500 mm de diamètre est fixé au-dessus de la capsule. La masse totale de la cabine est ainsi de 105 kg.

Comme sustentateur, Audouin Dollfus choisit d'utiliser de multiples petits ballons en polyuréthane gonflés à l'hydrogène, chacun créant une poussée verticale de 100 N. Les essais de gonflement des enveloppes sont effectués dans le Hangar Y de Meudon. Pour réussir l'ascension, 105 ballons BéríteX de 2,7 m de diamètre sont donc assemblés par groupe de trois, constituant une immense grappe, qui se déploie sur 450 m de haut le long d'un câble central, muni de charges



FIGURE 2. Départ du vol d'Audouin Dollfus à Villacoublay le 22 avril 1959.

de poudre destinées à larguer progressivement les ballons pour ralentir l'ascension, permettre de stabiliser l'engin à la hauteur choisie pour l'expérience, et enfin effectuer une prudente redescente. Procédé ingénieux mais ô combien dangereux pour l'aéronaute !

Puis c'est le grand jour, le 22 avril 1959 (voir Figures 2 à 5), Denis Rakotoarijimy [7], alors jeune chercheur à l'Observatoire de Meudon témoigne : « A Villacoublay, nous avons alors gonflé successivement les 105 ballons de la grappe destinée à entrainer la nacelle dans les airs. La nacelle où Dollfus allait séjourner pendant toute la durée du vol, était une petite sphère de 180 cm de diamètre comprenant 7 hublots et une ouverture de seulement 46 cm de diamètre permettant son entrée à l'intérieur. C'était une drôle d'impression que de voir tous ces ballons alignés maintenus temporairement par des contrepoids avant d'être assemblés le long d'un câble de 450 m. A 20h10, l'aéronef s'envola. Le vol de Dollfus dura 5 heures avant de retomber en pleine nuit dans un champ. »

La vie à l'intérieur de la nacelle est précisément connue grâce au livre de bord tenu par Audouin Dollfus [8] depuis l'instant où il monte dans cette capsule sphérique à 20h et déclenche le largage à 20h05. La montée s'effectue à la vitesse de 9 km/h. A 20h30, il est à 3 000 m d'altitude. A 20h36, il atteint 4 200 m, applique le masque à oxygène. A 20h50 il atteint 6 000 m. La pression atmosphérique a diminué de moitié par rapport à celle du sol. Il doit fermer le trou d'homme. Le couvercle est appliqué et adhère aussitôt par dépression. La cabine est alors pressurisée par adjonction d'oxygène pur, ce qui modifie la composition de l'air de la cabine qui contient deux fois moins d'azote que l'air normal, d'où une sensation de bien-être pour l'occupant. A 21h10, Audouin Dollfus savoure un thé chaud à 7 000 m en admirant Versailles. A 21h25, un mouvement de descente s'amorce, quelques ballons ayant dû éclater. Audouin Dollfus s'allège en larguant un bac de 50 kg d'huile servant de lest. Manœuvre réussie, l'ascension reprend mais plus lentement. A 9 000 m d'altitude il teste l'observation de Vénus. A 22h10, il atteint 11 000 m, franchit la tropopause qui limite l'atmosphère ordinaire. Il est dès lors dans la stratosphère, but de ce voyage. A 22h20, il constate que dix ballons ont éclaté. A 22h30, la montée devenant plus lente, il vidange le second bac d'huile. La montée reprend et la capsule se stabilise à 13 720 m d'altitude. A cette



FIGURE 3. Le gonflage des ballons à Villacoublay.

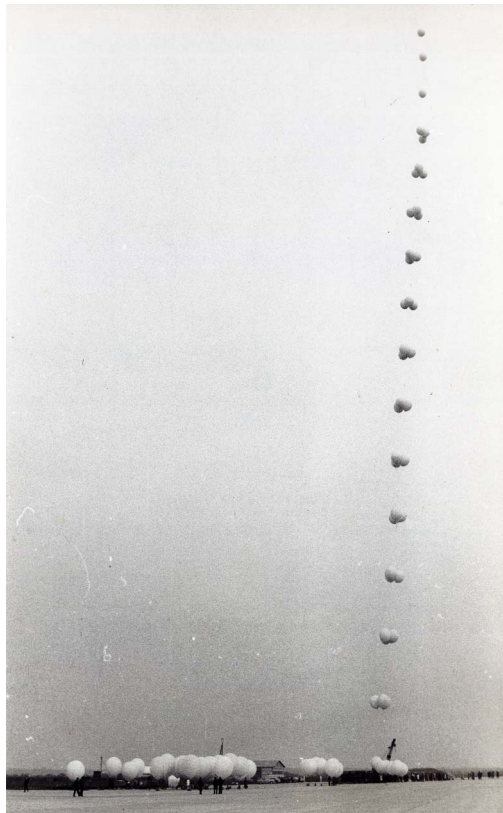


FIGURE 4. Le départ avec des ballons en vol et des ballons encore au sol.

altitude, la pression atmosphérique est sept fois moindre que celle du sol. Il effectue alors les mesures sur la Lune. A 23h45, grâce au radar de Brétigny qui a pris le relai de celui de Trappes pour localiser le ballon, il sait qu'il est localisé à 35 km au sud sud-est de Montargis et qu'il se déplace à 60 km/h en direction du Massif central.

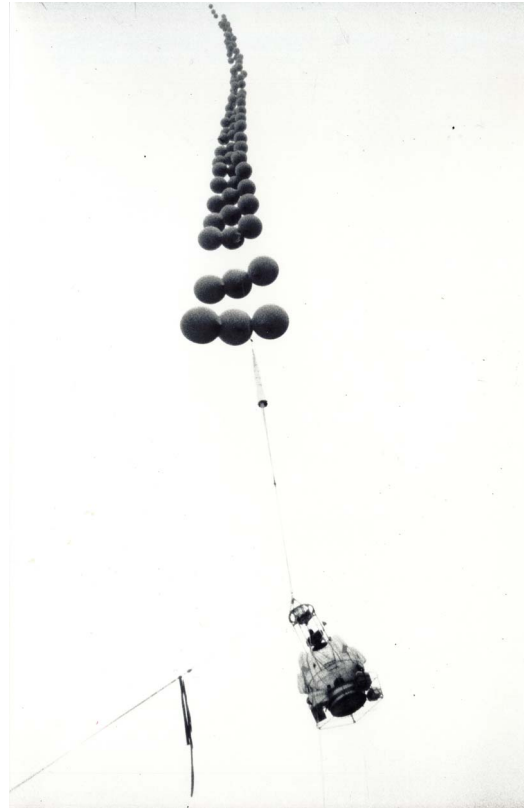


FIGURE 5. La nacelle en vol.

Son programme d'observation étant atteint, il songe à redescendre, active le dispositif de mise à feu, qui doit larguer des ballons dans le haut de la grappe par groupe de six. La mise à feu qui devait se faire au moyen d'une liaison radioélectrique depuis la cabine se révèle inopérante. Pas de bruit d'explosion. Il reste très serein, et appelle Trappes à 23h45 : « *J'ai tort car une réponse au sol à peine audible traduit une inutile émotion. J'ai tout le temps d'attendre, une descente spontanée est assurée. La consommation électrique est minime et l'oxygène abondant. J'ai devant moi encore la moitié de la France avant la mer.* » La manœuvre d'éclatement finit par réussir et la descente à une vitesse de 9 km/h s'amorce.

A 0h15 le 23 avril, à une altitude de 11 000 m, de nouveau la grappe est entraînée par un courant rapide à 120 km/h et ce jusqu'à 10 000 m. A 0h50, la capsule se trouve à 5 000 m. La pression intérieure étant devenue égale à la pression extérieure, le couvercle du trou d'homme s'abaisse de lui-même. A 1h00, la capsule n'est plus qu'à 3 000 m. A 1h15, Audouin Dollfus sort du harnais pour passer la tête dehors et inspecter rapidement la nature du sol qui monte vers la nacelle. Grâce au guiderope — corde qui traîne au sol pour stabiliser un aérostat — quand il ressent la corde toucher terre, il sait que la nacelle n'est plus qu'à 70 m du sol et qu'il faut se préparer à l'atterrissage. Aussi dès que la capsule racle le sol en se renversant, il actionne les éclateurs qui libèrent les ballons subsistants. Un grand calme succède aux violentes explosions. Se dégageant du harnais, Audouin Dollfus se retrouve dans l'herbe humide, ressentant presque aussitôt un corps chaud et visqueux appliqué contre sa poitrine. Après un bref instant de frayeur, actionnant sa lampe torche, Audouin Dollfus éclaire le museau d'une vache ! Se glissant ensuite sous des barbelés, il aboutit à un chemin et gagne le plus proche village, éclairé mais bien sûr désert à

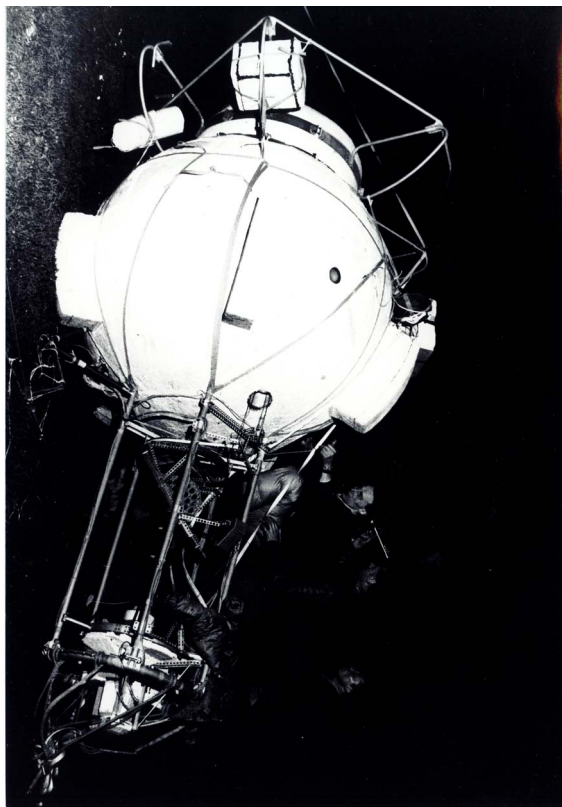


FIGURE 6. Arrivée de nuit de la nacelle dans le département de la Nièvre.

2 heures du matin. Reçu par la gendarmerie, il apprend qu'il est à Prémercy dans la Nièvre (voir Figure 6). Après cette nuit intense, il regagne son bureau de Meudon au petit matin, ainsi que le raconte Denis Rakotoarijimy [9] : « *Nous l'avons revu dès le lendemain matin à l'Observatoire, pressé de dépouiller ses observations qui allaient permettre de déduire par la suite la présence d'eau sur Mars.* »

Au niveau scientifique, la mission de 1959 était un succès. Au niveau sportif ce fut un exploit aéronautique ! Aussi en 2005, la Fédération Aéronautique Internationale (FAI) a nommé Audouin Dollfus *high flyer* aux côtés de Neil Armstrong et d'autres personnalités du monde de l'air et de l'espace ayant accompli un acte sans précédent [8]. Quand Jean Tensi lui demanda s'il avait eu peur durant son voyage aérien de 1959, il répondit : « *Ce n'est pas par vantardise. On n'a pas le temps d'avoir peur ! On est pris par tout ça. On est dans le feu de l'action. On n'a pas le temps ! Je ne me suis pas posé le problème* » [3].

Pierre Léna se souvient : « *L'admiration de ses jeunes collègues de l'Observatoire de Paris ne lui fut pas mesurée, même si sa courageuse technique ne permettait pas d'envisager une exploration détaillée de l'atmosphère de Mars avec des télescopes plus maniable ! Un récit courut alors à l'Observatoire, sans doute raconté par l'astronaute lui-même pour éclaircir les éclatements impromptus de ses ballons : lors du passage de l'aéronef non loin d'un puissant émetteur de radiodiffusion (sans doute Sainte-Assise), la fréquence de l'émetteur, accordée par coïncidence sur celle du déclenchement, provoqua les éclatements ...* » [10].

2.2. *Des retombées scientifiques importantes : la recherche de l'eau par des observations en altitude*

Par ses observations en ballon à très haute altitude, Audouin Dollfus est considéré comme le précurseur de l'astronomie spatiale. En 1948 il étudiait la planète Mars aux Observatoires du Pic du Midi et de Meudon. Les connaissances de l'environnement de la planète à sa surface commençaient à se préciser. Audouin Dollfus avait ainsi pu, par analyse polarimétrique depuis le Pic du Midi, préciser la nature du sol de Mars (poudre riche en fer très oxydée). La densité de l'atmosphère se précisait, ainsi que sa température.

La variation saisonnière de taches à la surface de la planète faisait penser à une action biologique. La planète était-elle viable pour accueillir la vie? Mais pour que la vie puisse se développer, même à un niveau microscopique, il faut la présence d'eau. La spectroscopie (étude des spectres des rayonnements électromagnétiques émis ou absorbés par une substance) était le seul moyen de déceler l'eau dans l'atmosphère de Mars. Or, l'atmosphère terrestre contient une quantité non négligeable de vapeur d'eau, et les bandes d'absorption observées depuis le sol ne permettaient donc pas de conclure quant à la présence d'eau dans l'atmosphère de Mars. Le seul moyen d'échapper à cela restait de monter en altitude au-dessus des couches humides de l'atmosphère afin que l'absorption ne soit due qu'à la vapeur d'eau martienne. D'où l'idée d'Audouin Dollfus, astronome et aéronaute, de transporter un télescope dans la haute atmosphère, en ballon.

Une première ascension eut donc lieu dans la nuit du 29 au 30 mai 1954, jusqu'à 6 400 m d'altitude, dans une nacelle en osier. Audouin Dollfus, l'astronome, fut accompagné de son père Charles, autre très grand aéronaute, pour piloter le ballon. Par une température de -40° et équipés de masques à oxygène, les deux aventuriers effectuent les mesures à l'aide du télescope fixé sur la nacelle, pendant un vol qui dura 7 h.

« Le vol fut magistral; toute l'affaire a duré sept heures. Avec mon père, la collaboration était totale. Le pilote assurait la conduite du vol, l'astronome s'occupait du télescope. L'altitude de 7 000 m en pleine nuit est une grande chose; c'est peut-être une de mes ascensions qui m'a le plus impressionné à la fois par son ampleur et par sa sécurité » [7].

Ces premières mesures à haute altitude n'ont pas permis de révéler la présence d'eau dans l'atmosphère de Mars. Ce qui ne voulait pas dire qu'il n'y en avait pas, mais que certainement sa quantité devait être très faible (il conclut que la teneur en eau de l'atmosphère martienne ne doit pas dépasser le centième de la nôtre), et que l'instrument utilisé lors de ce vol n'était pas assez sensible pour la détecter.

« J'ai donc décidé de continuer les expériences. Il fallait repousser les limites, et ce dans deux directions. Nous comprenions qu'il fallait un télescope capable de déceler un signal spectral encore plus faible, et aussi qu'il fallait monter encore plus haut dans l'atmosphère à l'aide d'un aérostat plus puissant ».

C'est ce qu'il fait lors de son vol du 22 avril 1959 décrit précédemment. Ce jour-là les observations sont consacrées à Vénus et la Lune, car la planète Mars n'est pas placée favorablement dans le ciel pour les observations. Cependant, ces observations lui permettent d'expérimenter et d'étalonner l'instrument final (basé sur le principe du filtre polarisant de Lyot [11], très monochromatique et très lumineux) éclairé par un télescope de 50 cm de diamètre et réglé pour isoler la forte bande à $1,4 \mu\text{m}$ de la vapeur d'eau. Elles lui permettent également de recueillir une donnée importante, la teneur en eau de la haute atmosphère terrestre, ainsi que l'intensité de la bande d'absorption spectrale de Vénus dégagée des effets de la vapeur d'eau terrestre [6].

Le résultat a également montré que l'instrument pourrait être utilisé en haute montagne, si les conditions sont favorables. En janvier 1963, le télescope est alors séparé de la nacelle, et transporté à la station de montagne du Jungfraujoch en Suisse à 3 700 m d'altitude. En effet,

un anticyclone s'est installé sur l'Europe, et une dépression sur la Finlande. En résultent un fort vent du nord, un air très sec et une température de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. La bande spectrale de l'eau n'est ainsi plus saturée par la vapeur d'eau de l'atmosphère terrestre, et laisse ainsi la possibilité à la vapeur d'eau d'une planète d'en accroître l'intensité.

Il écrit dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences en 1963 : « *Ces circonstances permettent de chercher la vapeur d'eau dans les atmosphères planétaires par simple comparaison photométrique des bandes telluriques entre l'astre et la lumière de comparaison données par le Soleil, la Lune ou certaines étoiles* » [12].

Il utilise, entre autres, la Lune comme étalon. Elle se situe, lors de ses observations, au voisinage immédiat de Mars et de Vénus.

Audouin Dollfus écrit également dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences en 1965 : « *L'appareil fut ensuite utilisé en haute montagne et permit pour la première fois, à la faveur des nuits exceptionnellement sèches rencontrées au Jungfraujoch en janvier 1963, de déceler la vapeur d'eau sur Vénus et sur Mars* » et « *Fait capital, de l'avis des biologistes, la quantité d'eau décelée est jugée suffisante pour autoriser le développement d'une forme de vie dans les conditions martiennes* » [13].

3. La suite de la carrière d'Audouin Dollfus

3.1. Sa contribution à la conquête de la Lune et de Mars

Le 4 octobre 1957 était intervenu le coup de tonnerre de *Sputnik 1*, les Soviétiques en orbite, le mouvement perpétuel réalisé, mais aussi le début de la course à l'espace, qui allait profondément modifier le cours de l'humanité.

Dès le 17 août 1958 l'US Air Force échoue avec *Pioneer 0* dans la première de trois tentatives de satellisation d'un orbiteur lunaire, avant que l'US Army ne tente un survol le 6 décembre avec *Pioneer III*. L'URSS, après trois échecs secrets, est la première à atteindre la deuxième vitesse cosmique et donc quitter la Terre, *Luna 1* ratant cependant l'impact sur la Lune le 4 janvier 1959.

Alors que les Etats-Unis multiplient les avancées, récupérant notamment pour la première fois un satellite, *Discoverer XIII* le 11 août 1960, après de nombreux échecs l'URSS lance le premier homme dans l'espace, Youri Gagarine le 12 avril 1961. Six semaines plus tard, John Fitzgerald Kennedy lance le 25 mai le programme le plus incroyable de l'histoire, *Apollo*, un homme sur la Lune avant la fin de la décennie.

Or s'il faut beaucoup pour passer de la première vitesse cosmique de satellisation (8 km/s) à la deuxième de libération de l'attraction terrestre (11 km/s), un petit supplément suffit pour aller plus loin. C'est donc aussi le début de la plus extraordinaire retombée scientifique de l'astronautique, une exploration *in-situ* de notre système solaire, une révolution sans précédent depuis l'invention de la lunette.

Le 14 décembre 1962, pour la première fois une sonde spatiale survole une planète, notre sœur jumelle, la mystérieuse Vénus entourée d'une épaisse couche nuageuse impénétrable : en fait un véritable enfer avec une température de $237\text{ }^{\circ}\text{C}$ en altitude, impliquant de probables températures d'environ $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ et pression d'environ 100 atmosphères au sol ! Au point que certains pensent que *Mariner II* a été endommagée par son voyage de six mois dans l'inconnu milieu intersidéral, avant confirmation par *Mariner V*.

Devant l'ampleur de la tâche, une coopération internationale est une évidence, d'autant plus qu'elle avait commencé de longue date entre scientifiques : *International Geophysical Year* (IGY) (du 1er juillet 1956 au 31 décembre 1958), (*Committee On Space Research* (COSPAR) créé en 1958 à Paris. Là où précisément avait eu lieu dès 1950 le premier Congrès International d'Astronautique annuel, créé par le Français Alexandre Ananoff, à la Sorbonne, et qui déboucha sur la création lors du 2^e Congrès à Londres de l'*International Astronautical Federation* (IAF), basée à Paris.

Or Audouin Dollfus est bien connu au niveau international. Depuis la disparition prématurée de son mentor Bernard Lyot en 1952, il est le spécialiste mondial de l'analyse de la lumière polarisée réfléchie : à partir d'observations au Pic du Midi. Dès le 8 février 1948, il découvre ainsi la présence d'eau et d'oxyde de fer sur Mars, résultat considérable qu'il présente lors de la soutenance de sa thèse en 1955, reproduction d'un échantillon compris [7]. Il montre ce dernier peu après aux Etats-Unis. Certaines sources mentionnent une controverse avec le célèbre astronome Gérard Kuiper, alors à l'Université de Chicago — dont le nom a été donné à la ceinture de corps célestes au-delà de Pluton dans le système solaire que la sonde *New Horizons/Pluto Kuiper Express* explore depuis 2019 — selon lequel le sol martien serait constitué de roches ignées brunâtres à grains fins, ce qui se révélera faux [14]. Kuiper connaissait d'ailleurs Lyot, et reçut la Médaille Janssen de la SAF en 1947.

Puis en 1956, Audouin Dollfus annonce, le premier, que le sol lunaire est un basalte pulvérisé en fine poussière. Là encore, il réalise un échantillon afin de corréliser ses mesures (voir Figure 7). Ainsi peut-il énoncer, dix ans avant le premier alunissage, que la Lune a un sol adéquat : sol porteur, meuble et granulaire, pas de fracassement sur un socle en granite, pas d'enfoncement dans une couche molle !

Dans ces conditions, Theodor von Karman, créateur le 16 août 1960 de l'*International Academy of Astronautics* (IAA) et son directeur, couplée à l'IAF, toutes deux basées à Paris, écrit à Audouin Dollfus le 29 décembre 1961 pour l'informer de son élection à l'Académie, en sa Section 1 (Basic Sciences). Inconnu du grand public, le congrès annuel IAF/IAA est pourtant unique par sa concentration de chefs d'agences spatiales, décideurs et experts du monde entier, tels à l'époque Robert Esnault-Pelterie, Hermann Oberth, Wernher Von Braun, William Pickering (*Jet Propulsion Laboratory JPL*), ...

Après la sélection le 11 juillet 1962 de la technique du Lunar Orbital Rendez-vous (LOR) pour le programme *Apollo*, et l'attribution du contrat correspondant pour le *Lunar Excursion Module* (rebaptisé *Lunar Module LM* dès 1966) à Grumman le 7 novembre suivant, il est temps de se préoccuper de la nature supposée du sol lunaire. La NASA crée donc en septembre 1962 un *Joint Working Group*, dirigé par Eugene M Shoemaker, de l'US *Geological Survey Astrogeology Branch*.

C'est le 28 mai 1964 que le programme lunaire habité entre en scène, avec la mise en orbite par une *Saturn I d'Apollo 1*, une maquette du *Command and Service Module CSM*. Le 31 juillet 1964 la première de trois sondes *Ranger* du célèbre JPL s'écrase sur la Lune après avoir transmis jusqu'à la dernière seconde 4 316 photos centimétriques de la surface, dont trois des six objectifs sont français (Angénieux). Puis le 2 juin 1966 la première de cinq sondes Hughes *Surveyor* réalise le tout premier alunissage en douceur, confirmant bien la présence d'une fine couche de poussière. Enfin, le 14 août 1966 la première de cinq sondes Boeing *Lunar Orbiter* débute la procédure de sélection des futurs sites d'alunissage *Apollo*.

A cette fin, suite à la recommandation de *Bellcom* société d'ingénierie système créée en 1962 par AT&T à la demande de la NASA, pour vérifier différents aspects du programme *Apollo*, George Mueller, directeur des vols habités de la NASA, avait créé en juillet 1965 un *Apollo Site Selection Board ASSB* [15]. Dirigé par le général de l'US Air Force Samuel Phillips, directeur du programme *Apollo*, il comprenait des membres de l'*Office of Space Science & Applications* (Oran Nicks et Lee Scherer), des trois centres de vols habités (John Claybourne du *Kennedy Space Center KSC*, William Stoney du *Manned Spacecraft Center MSC*, Ernst Stuhlinger du *Marshall Space Flight Center MSFC*), du *Langley Research Center* (Israel Taback, Lunar Orbiter) et du *Surveyor/Lunar Orbiter Utilization Committee* (Everett Christensen, Edgar Cortright, Lee Stoney). Sa première réunion a lieu le 16 mars 1966. D'autres spécialistes sont naturellement consultés, tels Harold Urey, et à l'international Audouin Dollfus.

Egalement grand vulgarisateur, Audouin Dollfus raconte qu'il se promène dans les congrès scientifiques avec un petit tube contenant de la poudre lunaire, certifiée conforme par le polari-

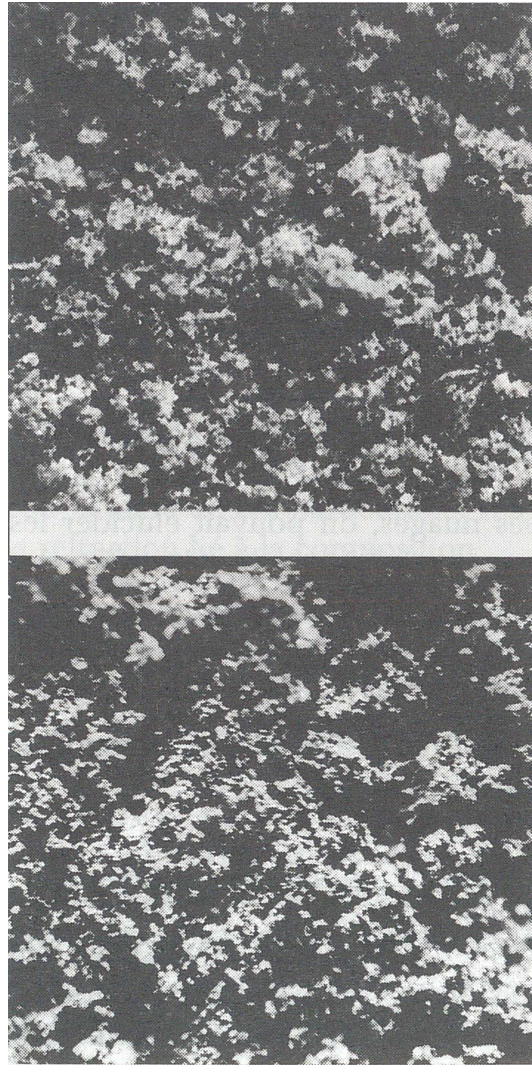


FIGURE 7. Prédiction polarimétrique de 1956 (en haut) et échantillon Apollo 11 de 1969 (en bas) [7].

mètre ! Et de rajouter que cela n'a pas échappé aux ingénieurs chargés d'étudier les atterrisseurs lunaires. En l'occurrence non seulement les pieds du *Surveyor* et du *Lunar Module*, mais aussi les bottes des astronautes.

Après les remarquables réussites des alunissages d'Apollo 11 et 12 les 20 juillet et 19 novembre 1969, ce sont respectivement 22 kg et 34 kg d'échantillons lunaires qui sont rapportés, pour analyse dans le monde. Audouin Dollfus en est naturellement un des *Principal Investigators* (PI) jusqu'en 1995 (voir Figure 8). Non moins de 142 PI's se réunissent lors de la première *Lunar Science Conference* annuelle du 5 au 8 janvier 1970 à Houston, où il est l'une des vedettes, exhibant le témoin planimétrique et ses échantillons Apollo : il est impossible de les distinguer, même à la loupe ! Seuls microscope et microsonde permettent de les différencier (voir Figure 7).

Après que les Soviétiques ont à leur tour rapporté en automatique 326 g de sol lunaire avec les *Luna 16* (24 septembre 1970), 20 (25 février 1972) et 24 (23 août 1976), Audouin Dollfus



FIGURE 8. Diplôme NASA du 19 mars 1979 [Ariane Dollfus].

est bien sûr destinataire d'échantillons. D'autant plus qu'il y a depuis l'escadrille commune Normandie-Niemen de la guerre une forte amitié franco-soviétique, amplifiée au même moment par l'exceptionnelle première coopération spatiale Est/Ouest de l'histoire le 10 novembre 1970 avec *Luna 17* et le tout premier astromobile, *Lunokhod 1*, équipé d'un réflecteur laser cannois.

La polarimétrie est bien entendu applicable à tout le système solaire. En fait, dès 1955 il avait donc identifié que le sol de Mars était constitué de petits fragments d'oxyde de fer fortement hydratés déposés en une couche très lisse. Ce que confirmeront 21 ans plus tard les atterrisseurs *Viking* les 20 juillet et 3 septembre 1976.

Afin de préparer la conjonction inférieure de Mars en 1971, il constitue un groupe polarimétrie international de nationalités belge, britannique, française, grecque, japonaise et américaine. C'est le japonais Shiro Ebisawa qui le 11 juillet détecte une tache jaune qu'Audouin Dollfus identifie immédiatement comme une tempête, telle qu'il en avait déjà observée une dès 1956. Quatre mois plus tard le premier orbiteur martien, *Mariner 9*, se satellise le 13 novembre avec plein succès. C'est en fait la plus grosse tempête jamais observée, et la NASA est stupéfaite (selon les propres mots du modeste Audouin Dollfus) de découvrir alors les travaux d'Audouin Dollfus.

Une visite en 1966 à l'Observatoire d'Abastumani en Géorgie, où il discute avec Leonid Ksanfomaliti, jeune ingénieur très au fait de cette technique, va être lourde de conséquences. Quelques années plus tard, s'apprêtant à s'endormir à l'issue d'une journée de travail scientifique en URSS, il est appelé à son hôtel par Ksanfomaliti, qui désire le voir de suite ! Ce dernier lui explique alors qu'il fait à présent partie du nouvel Institut de Recherche Spatiale IKI (*Institut Kosmicheskoy Isledovaniy*) de Moscou, et que la présence d'un polarimètre à bord d'une sonde orbitale martienne serait très liée au succès de la mission. Vu la réussite des deux *Lunokhod*, l'affaire est promptement menée, le polarimètre réalisé en coopération en URSS avec plusieurs voyages à Moscou, puis envoyé à Meudon pour étalonnage avant réexpédition à l'Est, où deux exemplaires de série sont fabriqués. C'est seulement à la mise en orbite de *Mars 5* le 12 février 1974 qu'Audouin Dollfus a confirmation de la présence des deux polarimètres VPM-73 à bord.

Ainsi, dix ans avant le premier alunissage, c'est un français, Audouin Dollfus, qui prédit dès

1956 avec une étonnante précision la nature du sol de la Lune, telle que vérifiée par les sondes *Surveyor* et *Luna*, et les quelque 8 t des LM *Apollo*.

Spécialiste mondial de la polarimétrie, inventé par son mentor français Bernard Lyot, il identifie dès 1955 eau et oxyde de fer pour le sol de Mars 21 ans avant les *Viking*, et en 1956 les tempêtes martiennes 15 ans avant *Mariner 9*!

3.2. *Autres apports d'Audouin Dollfus à l'astronomie*

Audouin Dollfus a travaillé dès 1946 à l'Observatoire de Meudon, et il observe très vite au Pic du Midi où il met au point des techniques nouvelles de polarisation de la lumière et de spectroscopie afin d'étudier la nature des sols et atmosphères planétaires. Il fut l'élève de Bernard Lyot, inventeur du coronographe.

3.2.1. *Le soleil*

Grâce au coronographe, et à de nouveaux développements qui ont permis d'en élargir les possibilités, Audouin Dollfus effectue de nombreuses observations au Pic du Midi en 1960, lui permettant de déterminer avec précision la structure thermique de la couronne solaire. De jeunes chercheurs s'associent à ces recherches, dont Jean-Louis Leroy qui deviendra Directeur scientifique du Pic du Midi et Eric Maurice qui deviendra le responsable de l'un des grands télescopes de l'Observatoire européen austral, au Chili. Audouin Dollfus poursuit l'étude de la couronne solaire en associant les ballons au télescope. Entre 1960 et 1973, d'abord seul puis en collaboration avec le CNES, une série de vols (« non habités ») jusqu'à 32 000 m d'altitude ont pu être réalisés et ont ainsi permis d'obtenir les premières photographies des grands jets de la couronne solaire, grâce à l'utilisation du coronographe à occultation externe développé par Audouin Dollfus, mais également développé aux Etats-Unis, technique plus tard utilisée dans de nombreux satellites d'observation solaire.

Déjà en 1957, le 1^{er} avril, Audouin Dollfus avait étudié le Soleil, et avait pris, à bord d'un ballon à 6 000 m d'altitude, la première photographie astronomique du Soleil au télescope réalisée en dehors de la surface terrestre. Les éléments granulaires à la surface du soleil étaient observés : des cellules d'un diamètre inférieur à 1 500 km. L'uniformité d'aspect ainsi observé décidait pour la convection (et non la turbulence) dans les phénomènes se déroulant sous la surface. La finesse des clichés a pu être obtenue grâce à l'observation en altitude, loin du sol, permettant de s'affranchir de la turbulence atmosphérique. De nos jours, l'observation depuis l'espace grâce aux satellites, ou l'optique adaptative pour les observations au sol, permettent de s'affranchir de ces effets.

3.2.2. « *Janus* », le dixième satellite de Saturne

Les anneaux de Saturne présentent un certain nombre de divisions. Par exemple, la division de Cassini sépare l'anneau A externe, de l'anneau B interne et plus large. Les observations à la lunette du Pic du Midi montrent qu'il existe bien d'autres divisions.

La structure des anneaux est gouvernée par les interactions gravitationnelles entre les petits blocs de glace dont ils sont formés, et la planète Saturne et ses satellites. Audouin Dollfus a observé, dans les anneaux de Saturne, de nombreuses bandes sombres et fines (les divisions). Il essaye alors d'expliquer leur présence grâce aux interactions gravitationnelles et aux perturbations créées par les satellites connus de Saturne. Mais la théorie ne colle pas aux observations. Une explication de cet écart : la présence d'un nouveau satellite non encore observé, proche du bord extérieur de l'anneau A.

Il profite alors, en 1966, d'une configuration de la Terre qui la place exactement dans le plan des anneaux de Saturne. Ils deviennent alors quasiment invisibles. Grâce à un instrument qu'il

met au point et basé sur le principe de la coronarographie, Audouin Dollfus peut ainsi observer l'environnement des anneaux en occultant la forte luminosité de Saturne. Un petit point apparaît sur les clichés, qui se déplace d'un cliché à l'autre et situé à l'endroit prédit. Il vient de découvrir le dixième satellite de Saturne, « Janus ». Les précédents satellites avaient été découverts par Christiaan Huygens (*Titan* — 1655), Jean-Dominique Cassini (*Japet* — 1671, *Rhea* — 1672, *Téthys et Dioné* — 1684), William Herschel (*Mimas et Encelade* — 1789), William Bond (*Hyperion* — 1849), William Pickering (*Phoébé* — 1898).

3.2.3. L'anneau E de Saturne

En 1966, des clichés américains mettent en évidence un filin de lumière qui se prolonge au-delà de la limite des anneaux, indiquant la possible présence de matière. Audouin Dollfus décide d'aller plus loin et utilise l'instrument qu'il a mis au point et qui lui a permis de découvrir le satellite « Janus ». Il réussit alors à observer, dans le télescope du Pic du Midi le 1^{er} novembre 1979 le nouvel anneau, qui se dénommera « anneau E ». Ses observations ont été confirmées entre autres par les sondes spatiales *Voyager*.

3.2.4. La polarimétrie

Audouin Dollfus la décrit ainsi : « *Il s'agit en effet de quelque chose de très curieux. Quand la lumière éclaire un objet, elle subit tout un ensemble de réflexions, de diffusions, de réfractions, d'absorptions, avant d'être renvoyée au loin. Elle garde alors les traces de ce traitement. On trouve en elle un réarrangement des vibrations : il s'agit de la polarisation. On peut analyser cette polarisation. Chaque surface polarise la lumière à sa manière, ce qui permet de reconstituer, à distance, l'état de la surface éclairée* » [16].

Il en fait sa spécialité pour l'étude des planètes, et l'a utilisé pour analyser avec un télescope la polarisation de la lumière à la surface des planètes afin d'en déduire l'aspect du sol comme s'il avait un microscope. L'idée vient de son maître Bernard Lyot, précurseur de la polarimétrie astronomique qui forme Audouin Dollfus à cette technique prometteuse dès 1946.

Grâce à cette technique, il était possible, à distance, d'analyser les planètes, leurs sols, leurs nuages, leur atmosphère.

Les travaux se sont poursuivis avec l'étude du sol de Mercure, des nuages de Vénus, les anneaux de Saturne mais aussi des comètes, permettant de caractériser les poussières cométaires.

Quant à la planète Mars, il décrit : « *...la planète Mars est un astre très vivant. Outre l'identification de son sol, de son givre et de ses nuages, on pouvait élucider les caprices de son atmosphère, suivre les effets des saisons, les changements dans les configurations observées. Nous devons donc monter une surveillance polarimétrique* » [16]. L'analyse polarimétrique a ainsi permis de caractériser la surface mais également ses nuages.

4. Conclusion

Nous concluons en rappelant que ses travaux valurent à Audouin Dollfus d'être membre de la New York Academy of Sciences du Board of Trustees de l'International Academy of Astronautics et du Conseil d'Administration de l'Aéro-Club de France. L'astéroïde 2451 fut baptisé de son nom. Il reçut en 1972 le Prix International d'Astronautique Galabert, en 1988 le Grand Prix de l'Académie des Sciences, en 1991 le Diplôme Tissandier remis par la Fédération Aéronautique Internationale et en 1993 la Médaille d'or Janssen remise par la Société Astronomique de France. Enfin en 2009, il fut reçu chevalier dans l'ordre de la Légion d'honneur par l'astronaute et ministre Claudie Haigneré.

Conflit d'intérêt

Les auteurs n'ont aucun conflit d'intérêt à déclarer.

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement Ariane Dollfus, fille d'Audouin Dollfus pour la fourniture des photos illustrant ce texte.

Références

- [1] R. Feuilloy, *Les dirigeables de la Marine française (1915–1937)*, ARDHAN, Paris, 2008.
- [2] L. Robineau, ANAE, *Les Français du ciel*, Le Cherche Midi, Paris, 2005.
- [3] J. Tensi, « Audouin Dollfus, l'homme qui voulait s'approcher des étoiles », 2011, interview du 17 mai 2010, film Université de Poitiers, ACEBD et 3AF.
- [4] J. C. Falque, « DOLLFUS AUDOUIN (1924–2010) », Encyclopædia Universalis [en ligne]. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/audouin-dollfus/>.
- [5] Bibliographical note (International Academy of Astronautics, 31 mai 1998).
- [6] J. Piccard, « Egg shell landing » (Time 16 août 1937).
- [7] A. Dollfus, *50 ans d'Astronomie - Comprendre l'Univers!*, EDP Sciences, Les Ulis, 1998.
- [8] H. Gérard, « L'exploit du 22 avril 1959 », <https://www.hydroretro.net/etudegh/lexploitdu22avril1959.pdf>.
- [9] D. Rakotoarijimy, E. Kaftan, site de l'Observatoire de Paris, <https://www.obspm.fr/22-avril-1959-l-ascension-en-ballon-d-audouin-dollfus.html>.
- [10] P. Léna, communication privée.
- [11] B. Lyot, « Le filtre monochromatique polarisant et ses applications en physique solaire », *Annales d'Astrophysique* 7 (1944), p. 31.
- [12] « Mesure de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère de la planète Mars par simple comparaison photométrique des bandes telluriques », note d'Audouin Dollfus présentée par André Allemand le 1er avril 1963, t. 256, C. R. Acad. Sci., Paris, 1963.
- [13] « Analyse des mesures de la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère de la planète Mars » note d'Audouin Dollfus présentée par Jean Coulomb, 18 août 1965, t. 261, C. R. Acad. Sci., Paris, 1965.
- [14] <https://www.astrofiles.net/astronomie-audouin-dollfus>.
- [15] W. David Compton, *Where no man has gone before — A history of Apollo Lunar Exploration Missions*, NASA Special Publication-4214, NASA, Etats-Unis, 1989.
- [16] A. Dollfus, *Les autres Mondes*, Belin, Paris, 2008.