ONERA LUMNI

INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences







ACTES

Colloque Boulliau à Loudun

le 3 juin 2022



Colloque à Loudun
Vendredi 3 juin 2022 - 9h00-16h00
Entrée gratuite

ISMAËL BOULLIAU

Mathématicien, astronome, météorologue
Sa vie, son œuvre

ONERA LUMNI

INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Éditeur
Association Alumni-ONERA
6 chemin de la Vauve aux Granges
BP 80100
91123 Palaiseau Cedex

Directeur de la publication
Bruno Chanetz

Création graphique
Arnaud Le Ouëdec, Ici la Lune

Légendes photos

Couverture
L'échevinage et la Tour carrée à Loudun

Ci-contre
Château de la Grande-Jaille à Sammarçolles

4 Édito
par Bruno Chanetz

ACTES DU COLLOQUE BOULLIAU À LOUDUN LE 3 JUIN 2022

5 Colloque en hommage à Ismaël Boulliau à Loudun le 3 juin 2022
par Bruno Chanetz

11 Loudun à l'époque d'Ismaël Boulliau : trois décennies qui ont changé la ville
par Sylvette Noyelle

16 La vie d'Ismaël Boulliau
par Gérard Jubert

20 L'œuvre scientifique d'Ismaël Boulliau
par Marie-Claire Coët

25 Les traces d'Ismaël Boulliau dans la poussière de l'histoire
par Conor Maguire

30 Eiffel et la météorologie
par Martin Peter

34 Audouin Dollfus, astronome du XXe siècle
par Bruno Chanetz, Alain Broc et Philippe Jung

42 De la loi de la gravitation universelle à MICROSCOPE
par Manuel Rodrigues

44 Optique adaptative et télescopes géants
par Thierry Fusco

48 Colloque en hommage à Ismaël Boulliau à Loudun le 3 juin 2022
par Pierre Léna



Édito

Mars 2023



ACTES DU COLLOQUE DU 3 JUIN 2022 EN HOMMAGE À ISMAËL BOULLIAU (1605-1694)

La tenue de ce colloque doit beaucoup à la Ville de Loudun qui a mis à disposition l'Echevinage, magnifique demeure du XVIe siècle et à la communauté de communes du pays Loudunais (CCPL) qui a sponsorisé l'évènement. Que Joël Dazas, Maire de Loudun et président de la CCPL soit doublement remercié et une fois encore pour nous avoir si sympathiquement accueillis lors de la cérémonie d'ouverture. Nous devons également remercier le sénateur Bruno Belin, qui en tant que président du conseil départemental, avait apporté le soutien financier de la Vienne. Merci également à Jacques Rao, conseiller de la commission nationale pour l'UNESCO, d'être venu ouvrir ce colloque.

Cette manifestation était portée par Alumni-ONERA et la *Société historique du Pays de Loudunois* (SHPL). Sylviane Rohaut et Mauricette Oudart, respectivement présidente et trésorière de la SHPL ont assuré avec brio toute la logistique et organisé la distribution des rôles au sein d'une société savante qui compte historiennes et archiviste éminents : Sylvette Noyelle, Thérèse Dereix de Laplane et Gérard Jubert, ancien président.

Deux autres associations ont également contribué au programme et au financement de l'évènement :

Aero Eiffel 100 [1], dont le président Martin Peter, intervenait sur Gustave Eiffel et la météorologie ;

L'Association pour un centre européen des ballons et dirigeables [2] (ACEBD) qui rendait hommage à son fondateur, l'astronome et aéronaute Audouin Dollfus.

Je voudrais également remercier mes collègues de l'ONERA : Manuel Rodrigues et Thierry Fusco, pour leurs exposés scientifiques, faisant le point sur l'état des connaissances dans les domaines de la mesure de la gravité terrestre et des télescopes. Et j'ai une pensée particulière pour Conor Maguire, l'initiateur de ce type d'évènement, qui présenta un exposé sur *les traces de Boulliau dans la poussière de l'histoire.*

Enfin je voudrais faire part de notre chaleureuse reconnaissance envers Pierre Léna, membre de l'Académie des sciences, qui prononça un discours de clôture, tout en nuances, qui restera une magnifique synthèse de cette journée. Son article clôt ce recueil.

Mais revenons au XVIIe siècle, à Loudun, qui vit arriver en ce monde Ismaël Boulliau et partir pour l'autre dans les flammes du bucher son curé Urbain Grandier, au terme d'un procès en sorcellerie, qui défraya la chronique. Si Urbain Grandier représente la légende noire de la ville, Ismaël Boulliau l'éclaire déjà des lumières de la science en ce XVIIe siècle et cette Europe intellectuelle qu'il parcourut avec l'avidité de la connaissance.

Aussi ce colloque entendait retrouver l'image de cet astronome oublié, qui mit Isaac Newton sur la voie de la formule de la gravitation universelle. Sa passion pour l'astronomie le fit verser dans les mathématiques, ce qui est noble en tous les temps, mais aussi dans l'astrologie, ce qui l'est un peu moins avec le regard de notre époque. Marie-Claire Coët (ONERA) a présenté les différentes facettes de ce savant qui fut aussi un précurseur de la météorologie – c'est à lui que l'on doit les premiers relevés de température à Paris – mais surtout un inlassable épistolier, auteur d'une énorme correspondance avec tous les savants de son époque. S'il ne fit pas partie de l'académie des Sciences, naissante à la fin de son siècle, il fut un familier des conférences du bureau d'adresse de Théophraste Renaudot, même si l'anonymat des comptes rendus ne permet pas d'en apporter la preuve. Mais il fut assurément membre de l'académie de Montmort, qui constitue les prémices de l'académie des Sciences.

Cette journée, dédiée à la mémoire d'Ismaël Boulliau, permit de présenter sa vie et son œuvre. Ce fut également l'occasion d'évoquer deux personnalités, parmi les très nombreuses qui ont suivi ses traces, choix sentimental certes, mais qui permit également de rendre hommage à deux personnalités qui n'étaient pas attendus dans ce contexte. Ainsi au crépuscule du XIXe siècle, Gustave Eiffel mit en place les fondements de la science météorologique. Nous avons aussi évoqué la figure de l'astronome Audouin Dollfus, qui réalisa il y a 60 ans une ascension aérostatique et scientifique, à une hauteur toujours inégalée, pour observer la Lune. Ses travaux permirent également de choisir le lieu d'alunissage de la mission Apollo XI en 1969. Combien d'astronomes n'avaient jamais osé rêver d'une telle expédition, dont Boulliau, lui qui fut pourtant si fier qu'un cratère lunaire portât son nom de son vivant ?

Bruno Chanetz
directeur de recherche à l'ONERA,
vice-président de la SHPL

1. Bruno Chanetz, trésorier d'Aéro Eiffel 100
2. Bruno Chanetz, secrétaire général ACEBD

Colloque en hommage à Ismaël Boulliau à Loudun le 3 juin 2022

CÉRÉMONIE D'OUVERTURE

ACCUEIL PAR JOËL DAZAS, MAIRE DE LOUDUN

A 9 heures, Joël Dazas prononça un mot d'accueil en tant que Maire de Loudun et Président de la Communauté de communes du pays Loudunais (CCPL). Il a excusé le sénateur Bruno Belin, empêché de venir en raison d'obsèques.



Joël Dazas, maire de Loudun

INTRODUCTION DU COLLOQUE PAR BRUNO CHANETZ, PRÉSIDENT D'ALUMNI-ONERA

Monsieur Le Maire,

Je vous remercie de votre accueil à l'Echevinage, en ce bel édifice que vous mettez à notre disposition. Je vous remercie aussi du soutien que vous apportez en tant que Président de la CCPL, à ce colloque deux fois reporté, que nous sommes heureux de tenir enfin cette année grâce à un alignement des planètes favorable : une épidémie sur le déclin, un printemps précoce et surtout un contexte électoral qui nous épargne les rigueurs extrêmes de la terreur sanitaire.



Bruno Chanetz, président d'Alumni-ONERA

Ismaël Boulliau, que nous honorons aujourd'hui, a précisément beaucoup observé les planètes et les étoiles ainsi que notre satellite naturel. Juste récompense de ses travaux un cratère sur la Lune rappelle aux hommes l'astronome qu'il fut. Il s'intéressa également à la météorologie et mit Isaac Newton sur la voie de la loi de la gravitation universelle. Inlassable épistolier, il correspondit avec tous les savants de son époque. Mais il reste un homme du XVIIe siècle, empreint de toute la superstition des siècles qui l'ont précédé, tout en préfigurant le siècle des Lumières. Cette matinée lui est consacrée avec des exposés de membres de la Société historique du pays Loudunais (SHPL), présidée par Madame ***Sylviane Rohaut*** *sans qui rien n'aurait été possible et qui a préparé avec minutie cette journée.*

Nous poursuivrons cet après-midi avec l'œuvre scientifique de Gustave Eiffel en rapport avec la météorologie et celle d'Audouin Dollfus, qui fut également un éminent astronome. La journée se terminera par deux exposés scientifiques, qui feront le point sur l'état des connaissances dans les domaines de la mesure de la gravité terrestre et des télescopes géants.

Mais revenons à Boulliau. Familier des conférences du bureau d'adresse de Théophraste Renaudot, l'inventeur de la presse, comme lui enfant de Loudun, Ismaël Boulliau fut également membre de l'académie de Montmort, mais il ne fit pas partie de l'académie des Sciences, ce qui fut la désolation de ces dernières années. Aussi est-ce un honneur posthume pour lui - et bien réel pour nous - que la présence de Pierre Léna, membre de l'Académie des Sciences, qui interviendra en fin de journée au nom de L'Institut de France.

Comme pour la journée, qui s'était tenue en 2017 à Saumur en hommage au mathématicien Abraham de Moivre, les actes de ce colloque paraîtront dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences. C'est le Docteur ***Conor Maguire****, à l'occasion du colloque Abraham de Moivre, qui a mis à l'honneur ce concept de journée historico-scientifique, dont le présent évènement est le cinquième organisé par l'association Alumni-ONERA. Conor Maguire clôturera cette matinée en évoquant la notoriété d'Ismaël Boulliau au cours des siècles.*

Mais tout de suite je donne la parole à Monsieur ***Jacques Rao****, conseiller de la Commission Française pour l'UNESCO, qui nous fait l'honneur de sa présence.*



Jacques Rao, Conseiller de la commission nationale française pour l'UNESCO

INTERVENTION DE JACQUES RAO, CONSEILLER DE LA COMMISSION NATIONALE FRANÇAISE POUR L'UNESCO (CFNU), ANCIEN DIRECTEUR/ SECRÉTAIRE DES ORGANES DIRECTEURS DE L'UNESCO

L'Association Alumni de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA) tient ce jour un colloque sur la vie et l'œuvre du grand savant français du 17e siècle, Ismaël Boulliau (1605-1694) et je félicite son président, M. Bruno Chanetz pour l'avoir organisé. La CNFU est heureuse de parrainer cette rencontre également appuyée par le département de la Vienne, la ville de Loudun, l'AAAF et Aéro Eiffel, et c'est avec plaisir que je représente aujourd'hui son secrétaire général M. Alexandre Navarro, qui n'a pu se libérer comme il l'aurait souhaité. La CNFU apprécie particulièrement ce type d'évènement scientifique, qu'elle a moins l'occasion de parrainer que des évènements culturels et artistiques. Aussi encourage-t-elle la tenue d'un tel cycle de colloques historico-scientifiques.

Cette rencontre permet en effet de mettre en exergue l'apport considérable d'Ismaël Boulliau, astronome, mathématicien et précurseur de la météorologie, aux connaissances des sciences à la veille du siècle des Lumières et aux scientifiques qui l'ont suivi. Concernant Boulliau, qui fut aussi astrologue à ses heures, on se souviendra de la citation de Victor Hugo : "L'astronomie est la plus magnifique des sciences parce qu'elle se complique d'une certaine quantité de divination". Il est surtout de notoriété que c'est Boulliau qui mit Isaac Newton sur la voie de la formule de la gravitation universelle en se basant sur les travaux de Kepler, ou encore qui permit à Gustave Eiffel de mettre en place les fondements de la météorologie au XIXe siècle. Par ses multiples correspondances avec plusieurs savants de son époque (Huygens, Pascal, Grotius, Gassendi, Hévelius) et ses nombreux voyages à l'étranger, il contribua au progrès de la recherche scientifique à son époque.

Votre invitation à l'ouverture de ce colloque me permet d'évoquer les initiatives et textes normatifs adoptés récemment par l'UNESCO dans le domaine des sciences et qui rejoignent la vision universelle de ce savant pour un partage des connaissances scientifiques au profit de l'humanité :

- *recommandation de 2017 sur la science et les chercheurs scientifiques ;*
- *recommandation de 2021 sur une science ouverte ;*
- *proclamation par l'Assemblée générale de l'ONU de l'année 2022 comme "Année internationale des sciences fondamentales pour le développement durable" et désignation de l'UNESCO comme agence chef de file pour sa mise en œuvre ;*
- *lancement du programme "Astronomie et patrimoine mondial".*

J'ai également noté dans le programme du colloque qu'un volet serait consacré cet après-midi à Gustave Eiffel, considéré comme l'un des successeurs de Boulliau avec la création de la première station météorologique sur la Tour Eiffel. Je rappelle à cette occasion que l'UNESCO et la CNFU seront associées à la célébration du 100e anniversaire de la mort de ce très grand ingénieur en 2023. En souhaitant plein succès à vos travaux, je conclurais en rappelant le mot célèbre d'Aristote : " Sans l'astronomie, l'homme ignore la place qu'il occupe ".

DÉROULEMENT DU COLLOQUE

SESSION HISTORIQUE

La matinée fut présentée par Thérèse Dereix de Laplane (SHPL). Elle débuta par un exposé de Sylvette Noyelle, professeur agrégée honoraire d'Histoire-Géographie, qui forte de trente ans de recherches intensives sur l'histoire de Loudun et du Loudunais nous a présenté *Loudun à l'époque d'Ismaël Boulliau : trois décennies qui ont changé la ville.*



Présentation de Sylvette Noyelle

La parole a ensuite été donnée à Gérard Jubert, ancien archiviste aux Archives nationales et vice-président de l'Association des Écrivains catholiques de langue française. Chevalier des Arts et

lettres et lauréat de l'Institut, il a présidé la Société Historique de 1997 à 2004 et s'est beaucoup intéressé à l'histoire de Loudun et à plusieurs grands Loudunais. Il nous a entretenu de *La vie d'Ismaël Boulliau*. Cet exposé, préparé avec Sylviane Rohaut, faisait la part belle aux nombreux voyages de l'astronome Loudunais.



Gérard Jubert

Marie-Claire Coët a ensuite complété le tableau en nous parlant de *l'œuvre scientifique d'Ismaël Boulliau* et l'illustrant de quelques exemples. Marie-Claire Coët est ingénieure des arts et manufactures. Elle travaille à l'ONERA depuis 36 ans, où elle est actuellement directrice de l'information scientifique et technique de l'ONERA. Son parcours professionnel, ainsi que son appartenance à plusieurs associations historico-scientifiques lui donnèrent à plusieurs reprises l'opportunité de contribuer à des événements ou projets mêlant science et histoire.



Marie-Claire Coët et Thérèse de Laplane

La matinée s'est achevée par un exposé de Conor Maguire sur *Les Traces d'Ismaël Boulliau* dans la poussière de l'histoire. Conor Maguire partage son temps entre l'Irlande et la France. Il est membre de la *Société des Lettres, Sciences et Arts du Saumurois*, et de l'association *Bienvenue au Château* (environ 100 châteaux qui ont des chambres d'hôtes). Sa formation scientifique en Irlande l'a mené d'une licence en sciences (Physique) au doctorat.

Sa thèse *Programmes européens de science et technologie* présente l'évaluation de leurs impacts sur l'intégration et la cohésion européennes. Il fut également Délégué national de l'Irlande auprès de la Commission européenne à Bruxelles, à l'OCDE puis à l'UNESO à Paris, puis auprès de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe à Genève et, enfin auprès d'EUROSTAT à Luxembourg.



Assistance dans la salle basse de l'Echevinage



Menu



Mauricette Oudart, Gérard Leclerc, Sylviane Rohaut et Gérard Jubert

La matinée historique, durant laquelle nous avons découvert l'époque, la vie et l'œuvre scientifique d'Ismaël Boulliau, s'est poursuivie avec un repas gastronomique, superbement annoncé par un carton spécifiquement conçu pour Madame Rohaut, qui a lui seul était tout un programme !



Marie-Odile Peter, Martin Peter et Conor Maguire



De g. à d. M. Rodrigues, T. Fusco, B. Chanetz et M.-C. Coët

SESSION SCIENTIFIQUE

La session de l'après-midi, présentée par Marie-Claire Coët, fut scientifique avec quatre conférences présentant des focus sur la météorologie, l'astronomie et la théorie de la gravitation, telles qu'elles furent étudiées au 20e et le sont actuellement.

Le premier orateur fut Martin Peter, conservateur de la soufflerie Eiffel, sise rue Boileau à Paris dans le 16e arrondissement. Martin Peter a été embauché à la soufflerie Eiffel en 1959, cinquante ans après la création par Gustave Eiffel de sa première soufflerie, qu'il avait alors installée au Champs-de-Mars. Depuis lors, Martin Peter est toujours resté au laboratoire de la rue Boileau. Il en a été le directeur, puis le propriétaire durant près de 20 ans. En 2001, il a vendu l'installation au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) et occupe depuis lors le poste de conservateur de la soufflerie, installation qu'il a fait classer « Monument historique ». Martin Peter est le meilleur spécialiste de l'œuvre d'Eiffel météorologue et aérodynamicien. Il est aussi président de l'association Aéro-Eiffel 100, association partenaire de notre colloque et qui vise à faire connaître les travaux en aérodynamique et en météorologie de Gustave Eiffel.

L'exposé suivant fut réalisé par Bruno Chanetz, directeur de recherche à l'ONERA, où il a dirigé les souffleries du centre de Meudon. Il fut aussi professeur associé en Aérodynamique des universités de Versailles-Saint-Quentin et de Paris-Nanterre. Il préside actuellement l'association *Alumni-ONERA*, qu'il a fondée et qui co-organise cette journée avec la Société historique du pays de Loudunois (SHPL), présidée par Sylviane Rohaut, dont il est aussi le vice-président. Il est également trésorier d'*Aéro-Eiffel 100* et secrétaire général de l'*association pour un centre européen des ballons et dirigeables* (ACEBD) dans le Hangar Y de Meudon, association également partenaire de ce colloque. Son propos fut consacré à l'œuvre de l'astronome Audouin Dollfus, fondateur et premier président de l'ACEBD.

Avec les des derniers exposés, on abordait la science du XXIe siècle. Manuel Rodrigues, diplômé de l'Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle, travaille à l'ONERA au sein du département *Physique, Instrumentation, Environnement et Espace* qui développe notamment des accéléromètres spatiaux ultrasensibles. Il a contribué à la réalisation et au succès de plusieurs missions spatiales internationales de physique fondamentale : pour détecter des ondes gravitationnelles, tester le principe d'équivalence ou encore cartographier le champ de gravité terrestre. En 2019, Manuel Rodrigues a été récompensé par l'Académie sciences pour ses travaux sur le *projet MICROSCOPE*, projet qu'il dirige à l'ONERA et qu'il nous a présenté.

Thierry Fusco, le dernier orateur, est directeur de recherches à l'ONERA et chercheur invité au laboratoire d'Astrophysique de Marseille. Depuis le début des années 2000. Il a été au cœur du développement de l'optique adaptative pour l'astronomie, sujet qu'il nous a présenté. Il a pris et continue de prendre part au développement des système d'optique adaptative des télescopes de l'observatoire européen du Chili. Il a notamment été responsable du développement d'une optique adaptative dédié à l'imagerie directe des exoplanètes planètes, qui est le système d'optique adaptative dédié à l'astronomie le plus performant au monde. Thierry Fusco s'investit actuellement dans un projet de télescope géant qui devrait être opérationnel d'ici la fin de la décennie. Il a remporté plusieurs prix scientifiques : pour ne citer que les plus récents, le prix de l'excellence scientifique de la 3AF et le grand prix "Charles Deforrey" de l'institut de France.

Pour achever le colloque, la parole fut donnée à Pierre Léna, membre de l'Académie des Sciences, qui fut le père de l'Optique adaptative, aventure qu'il a contée récemment dans un ouvrage intitulé *une histoire de flou.*

BILAN DE LA PARTICIPATION AU COLLOQUE

Au niveau de l'assistance, le présent colloque de Loudun, fut une réussite, une soixantaine de personnes étant présentes à l'ouverture avec maintien de ce niveau d'assistance avec quelques remplacements tout au long de la journée. Parmi eux des auditeurs locaux, mais aussi de toute la France :

- des universitaires de Marseille, Toulouse et Nantes, dont François Charru (IMFT) professeur à l'université de Toulouse, auteur d'ouvrages historico-scientifiques ;
- trois représentants de l'UNESCO, Jacques Rao étant accompagné de Stoyan Bantchev, Chef de la Section du Programme de participation et des bourses, Secteur des Relations extérieures à l'UNESCO et de Marietta Bantchev, présidente de l'*UNESCO community association* (UCA) ;
- Ariane Gilotte, membre du cabinet du délégué général de l'aviation civile, Damien Cazé ;
- Gérard Leclerc, journaliste à CNEWS.

VISITE DE LA TOUR CARRÉ À LOUDUN ET SOIRÉE MUSICALE AU CHÂTEAU DE LA GRANDE-JAILLE À SAMMARÇOLLES

A l'issue du colloque, la Mairie de Loudun proposa une visite de la Tour Carrée (fin du XIe siècle) qui témoigne de l'importance de la citadelle au moyen-âge. Culminant à son sommet, elle reste l'emblème de la ville. Haute de 31 mètres, elle domine aujourd'hui comme hier, la campagne environnante.

Puis les participants se sont rendus à Sammarçolles, à 6 kms de Loudun, au château de La Grande-Jaille (XVe-XVIe siècle) où une visite des lieux fut organisée avant un buffet dinatoire dans la cour basse.



B. Chanetz, M. Bantchev et J. Rao devant l'Echevinage



J. Rao et S. Bantchev devant le Châtelet de La Grande-Jaille



Gérard Leclerc et Bruno Chanetz



Stoyan Bantchev, Jacques Rao, Marietta Bantchev, Martin Peter, Marie-Odile Peter, Ariane Gilotte



Buffet au châtelet de La Grande-Jaille

La soirée s'est achevée par un récital de chants, donné dans la grande salle du château par Jean Tensi, président du Groupe 3AF Poitou-Charentes, partenaire du colloque. Il était accompagné au piano par son ami Philippe Meunier. Cette soirée musicale fut très appréciée et a permis de découvrir les talents musicaux de Jean Tensi, retraité du CNRS et chercheur à l'école d'ingénieurs ENSMA (Futuroscope) dont il était un ancien élève. C'est également lui qui organisa au début de ce siècle plusieurs salons Aerotop sur l'aérodrome de Poitiers-Biard, réunissant l'espace d'un week-end, des dizaines de milliers de visiteurs.



Visite – côté cour





Visite – côté parc



Récital de Jean Tensi (président GR 3AF Poitou-Charentes) et de Philippe Meunier





Jean Tensi et Philippe Meunier



Remerciements à Marietta Bantchev et Michèle Guérin pour les photos.

Loudun à l'époque d'Ismaël Boulliau : trois décennies qui ont changé la ville

PAR **SYLVETTE NOYELLE**, PROFESSEUR AGRÉGÉ D'HISTOIRE-GÉOGRAPHIE HONORAIRE

Ismaël Boulliau a passé le premier tiers de sa vie à Loudun où il né, cinq ans avant l'assassinat d'Henri IV, à la fin de septembre 1605. Lorsqu'il part pour Paris, au début des années 1630, Louis XIII, secondé par Richelieu, règne en maître. Loudun a bien changé. Il a vu le jour dans une ville prospère et active, il quitte une cité meurtrie. Pendant ses années loudunaises, le jeune Ismaël Boulliau a été le témoin des transformations que cet article se propose de décrire.

LOUDUN AU DÉBUT DU XVII[E] SIÈCLE - LA BUTTE LOUDUNAISE À L'ÉPOQUE D'ISMAËL BOULLIAU

Ismaël Boulliau voit le jour dans une cité qui ressemble sans doute beaucoup à ce « Loudun en 1550 », reconstitué en 1921 sur un bois gravé de Louis Charbonneau-Lassay.

Il fait apparaître une ville fermée, ceinturée de murailles et dominée par sa forteresse, un tissu urbain serré qui dégringole sur les pentes de la butte, d'où émergent les clochers des nombreux édifices religieux.

L'enfant, puis le jeune homme, ont dû en arpenter les rues étroites et sinueuses, le long desquelles les constructions se sont implantées au gré de l'espace disponible, sans grand souci d'alignement, où piétons, cavaliers et charrettes côtoient chiens, chats, pigeons, lapins ou cochons, des rues malpropres, avec des seuils irrégulièrement balayés, des tas de fumier devant les maisons et un ruisseau central censé évacuer eaux de pluies et eaux usées, dans lequel les habitants jettent les déjections les plus diverses.

Combien de Loudunais vivent dans cette cité qui déborde encore très peu de ses murailles ? Longtemps avancés les nombres de 14 000, 17 000, voire 20 000 habitants sont à oublier. En 1995, lors d'une conférence sur les protestants loudunais, le pasteur Vatinel avait surpris son auditoire avec 8 000 habitants, évaluation très proche de celles de deux historiens, Brigitte Maillard, entre 6 500 et 7 000 et Edwin Bezzina, entre 6 000 et 10 000 [1].

Force est de constater l'incertitude de ces évaluations et l'importance des écarts, explicables par l'imprécision des modes de calculs et les écrêtages pratiqués par des épidémies récurrentes (les pestes). Seul nombre connu grâce aux comptes tenus par Étienne Rousseau, enquêteur au bailliage, 3 623 victimes en 1563, mais combien en 1597 ? Et combien encore en 1603, deux ans avant la naissance d'Ismaël Boulliau ?



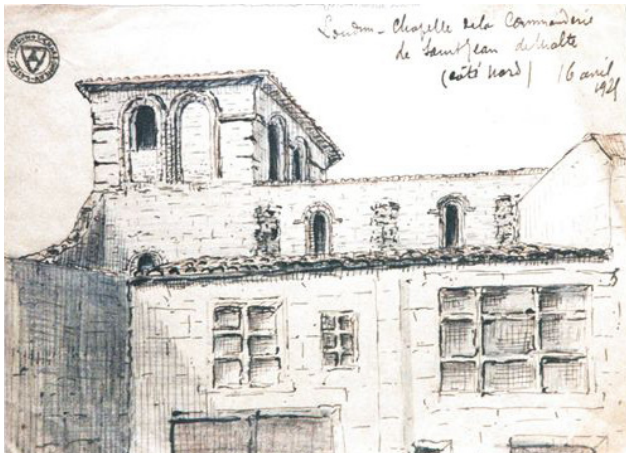
Bois gravé représentant Loudun vers 1550 de L. Charbonneau-Lassay (Collection Marie-Hélène Dvořák)
La reconstitution proposée par Louis Charbonneau-Lassay en 1921 fait apparaître une ville-forteresse, telle que l'a conçue Philippe Auguste, au début du XIIIe siècle, avec son enceinte de près de 2,500 km, bordée de douves, renforcée par des tours et des éperons et ouverte par 4 portes principales.
Autour du sommet de la colline, une seconde muraille, avec des murs de 2 m d'épaisseur et 20 tours, a repris le tracé d'une base gallo-romaine ou un peu plus tardive.
Au XVIIe siècle, on l'appelle « Le Grand Château [2] ». Elle enferme « Le Petit Château » : un puissant donjon philippien et son propre système de fortifications.

Le bois gravé de Louis Charbonneau-Lassay nous a montré une ville-forteresse. Loudun est également un maillon actif de l'administration royale, centre d'un bailliage, premier échelon de la justice royale, dont les appels relèvent sans intermédiaires du parlement de Paris, d'une prévôté chargée de la justice appliquée aux gens de guerre, aux voleurs et aux vagabonds, d'une élection qui assure la répartition des impôts entre les paroisses, d'un grenier à sel dévolu à la gabelle.

1. « Naissance d'une ville au XVIIe siècle, la création de Richelieu et ses conséquences », Brigitte Maillard, Vivre en Touraine au XVIIIe siècle, Rennes, 2003 - Edwin Bezzina, Étude sur les protestants loudunais, SHPL, 2013.

2. Les dénominations de Grand et Petit-Château sont définies dans *Jean II d'Armagnac, gouverneur de Loudun, et Urbain Grandier*, annoté et publié par Alfred Barbier, Poitiers, 1886.

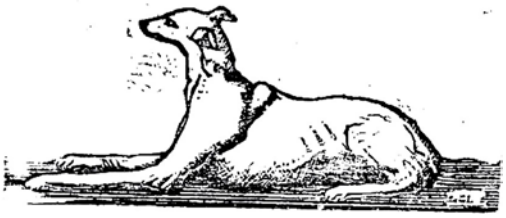
C'est aussi une ville protestante. En ce début du XVIIe siècle, les protestants représentent environ 40 % de la population mais ils sont majoritaires dans les élites[3]. Ismaël Boulliau, dont le père, procureur, appartient à cette minorité réformée, est vraisemblablement baptisé dans l'église Saint-Jean qui fait alors office de temple.



La chapelle de la commanderie des chevaliers de Saint-Jean-de-Jérusalem, devenus chevaliers de Malte.
Après la destruction d'un premier temple, et dans l'attente de la construction d'un second, elle accueille le culte protestant pendant tout le règne d'Henri IV. Dessin de Louis Charbonneau-Lassay, 1925

Loudun est enfin au cœur d'une campagne prospère favorable aux vignes et aux céréales (les « bleds »). À la fin du XVIe siècle, écrit Paul Raveau [4], c'est en Loudunais que terres arables et vignes atteignent les plus fortes valeurs de tout le Poitou.

Cette richesse agricole jointe à la présence d'une clientèle aisée (noblesse locale, nombreux juristes, etc.) a permis le développement d'un artisanat actif dont la réputation dépasse parfois largement les limites locales. En témoignent l'intérêt porté au travail des dentelières par Catherine de Médicis lors de son passage à Loudun en 1565 ou la commande de 24 000 rouleaux de parchemin passée en 1681 à trois parcheminiers loudunais par le bureau des Aides de Poitiers.



Un décor et une affirmation de fidélité
Louis Charbonneau-Lassay, Héraldique loudunaise, PSR Éditions, 1996.
En 1614, alors que la révolte gronde dans une grande partie du royaume, le roi et sa mère sont accueillis Porte-de-Mirebeau par un tableau représentant cette levrette avec la mention : « En quelque estat que je puisse estre je suis la fidèle à mon maistre ».

Loudun est donc une ville plus importante que sa population ne le laisse supposer. Objet de la sollicitude du pouvoir, elle reçoit la visite de nombreux souverains dont Louis XIII, à l'époque d'Ismaël Boulliau, accompagné de la reine-mère et en grande pompe en août 1614, plus discrètement, en août 1620.

Pendant la première partie de la vie d'Ismaël Boulliau, les protestants loudunais vivent une dernière période faste, mais ils ne le savent pas.

LE PROTESTANTISME EN SURSIS

Depuis la fin du XVIe siècle, plusieurs signaux ont pu alerter les plus perspicaces.

DE NOMBREUX SUJETS D'INQUIÉTUDE

En 1593, quelques années avant la naissance d'Ismaël Boulliau, des propos injurieux et le réveil des querelles entre catholiques et protestants accueillent la nouvelle de la conversion très politique d'Henri IV. L'intervention conjuguée du pasteur et du gouverneur de la ville rétablit rapidement le calme [5].

En 1606, il a un an lorsque les Jésuites de Poitiers remplacent les Bénédictins de Tournus dans un très ancien prieuré situé à l'intérieur de la forteresse. La fermeté de Marcantoine Marreau de Boisguérin, gouverneur de la ville et du château rassure. Jusqu'à la fin de son mandat, en 1617, il s'oppose à l'installation des soldats de la Contre-Réforme dans « sa » forteresse qu'il prétend, sans doute à tort à l'époque, être une place de sûreté protestante. Rien ne le fera céder, pas même les ordres royaux.

En 1610, l'assassinat d'Henri IV, qui propulse au pouvoir un roi de neuf ans et une régente pro catholique favorable à un accord avec l'Espagne, provoque une véritable déflagration. Marie de Médicis confirme très vite l'Édit de Nantes mais l'affaiblissement du pouvoir et le réveil des oppositions, inhérents aux périodes de régence, inquiètent.

En 1613, le changement d'atmosphère touche directement les protestants de Loudun. La gestion du collège fondé grâce à un don de Gui Chauvet leur échappe après trois ans de batailles juridiques pour savoir si le donateur, né à Loudun, avocat au parlement de Paris, est mort catholique ou protestant. Le parlement de Paris tranche en faveur d'une mort catholique et refuse aux protestants une cogestion du nouvel établissement.

L'année suivante, les États généraux, par souci d'économie, demandent le démantèlement des forteresses intérieures, inutiles pour la défense du pays mais repaires possibles de seigneurs rebelles, et dont les garnisons sont coûteuses à entretenir pour le trésor royal. Loudun pourrait se sentir directement menacée par cette proposition, mais elle figure au milieu de beaucoup d'autres et ne semble pas avoir provoqué l'inquiétude.

3. Pourcentage donné par Hervé Lemesle, cité par Jacques Marcadé, Les protestants dans la Vienne, 2009. Brigitte Maillard avance 42 % à la même époque.

4. Paul Raveau, L'Agriculture et les classes paysannes dans le haut Poitou au XVIe siècle, 1926, cité par B. Maillard.

5. François-Jacques Dumoustier de La Fond, Essais sur l'histoire de la ville de Loudun, tome 1, Poitiers, 1778, p. 73.

En 1617, le retrait du gouverneur Marcantoine Marreau de Boisguérin, homme à poigne, capable de concilier défense des intérêts protestants et fidélité sans faille au roi de France, laisse la place à Jean II d'Armagnac, fils d'un compagnon d'Henri IV et premier valet de chambre de Louis XIII. Les protestants viennent de perdre un de leur plus solide appui.

La même année, au cœur de l'été, une autre arrivée pourrait les inquiéter, celle de messire Urbain Grandier, nouveau curé de Saint-Pierre du Marché. Avec la nomination de ce brillant élève des Jésuites, la Contre-Réforme pourrait avoir marqué un point. Il n'en est rien, mais pour l'instant nul ne le sait.

À partir de cette année 1617, l'atmosphère ne va pas cesser de s'alourdir, mais, en attendant, les protestants loudunais ont encore quelques beaux jours devant eux.

LES DERNIERS BEAUX JOURS

Vers 1609-1610, à la fin du règne d'Henri IV, la construction d'un nouveau temple s'achève à l'angle des rues de la Croix-Bruneau et Villecourt. Jusqu'à sa destruction, en 1685, Loudun conservera ce grand temple qui pouvait, dit-on, accueillir deux à trois mille personnes.

En 1613, après avoir été évincés de la gestion du collège des Chauvet, les protestants créent leur propre collège de la rue de l'Abreuvoir. Alors que son rival catholique végète, cet établissement acquiert rapidement une excellente réputation.

En 1616, c'est Loudun qui accueille une importante conférence destinée à apaiser les tensions qui ont émaillé la minorité de Louis XIII. Les protestants vont discuter, sur un pied d'égalité, avec les représentants du roi et ceux des seigneurs catholiques. Gageons que le jeune Ismaël Boulliau de dix ans a pu voir défiler la fine fleur de la noblesse protestante, notamment Maximilien de Béthunes (Sully) et son gendre, le jeune chef politico-militaire, Henri de Rohan.

L'atmosphère n'est déjà plus la même en 1619 lorsque les réformés tiennent à Loudun une assemblée nationale, alors que le bruit court que le roi va intervenir militairement pour imposer le rétablissement du catholicisme en Béarn.

La contre-attaque catholique est en marche, marquée, sur le plan national, par l'élimination de la puissance politique et militaire des protestants. À Loudun, l'équilibre entre les deux confessions s'inverse, en faveur des catholiques.

LA CONTRE-ATTAQUE CATHOLIQUE À LOUDUN

La carte des établissements religieux de la ville reflète la vigueur de cette contre-attaque.

Dans les années 1620, elle est menée par les moines de la ville, très actifs et de plus en plus nombreux. Aux ordres anciens, se sont ajoutées quatre nouvelles congrégations, nées de la Contre-Réforme. Les premiers couvents de religieuses s'installent dans la ville, dont les Ursulines chargées de l'éducation des jeunes catholiques. D'autres ordres féminins suivront.



Les couvents de la Contre-Réforme

Toute la ville résonne du bruit des processions avec les prières et les chants. Les sermons des Carmes, des Cordeliers et des redoutables prédicateurs que sont les Capucins du Père Joseph multiplient les conversions, soigneusement mises en avant.

Le nouveau gouverneur, Jean d'Armagnac, Théophraste Renaudot, Ismaël Boulliau lui-même, abandonnent le protestantisme. L'ennemi irréductible des Jésuites, Marcantoine Marreau de Boisguérin, sera enterré catholique en 1632 [6].

Un homme semble insensible à cette atmosphère de reconquête, le curé de Saint-Pierre du Marché, Urbain Grandier. Certains commencent à murmurer qu'il pourrait être un *« protestant couvert »*...

Pendant ces années 1620, une autre menace pèse sur la ville, la destruction de sa forteresse.

LA DESTRUCTION DE LA FORTERESSE

C'est une idée déjà ancienne qui fait son chemin et que les évènements vont mettre à l'ordre du jour. Dans les années 1620, à l'échelle nationale, la reconquête catholique passe aussi par les armes.

LA CONTRE-ATTAQUE PAR LES ARMES

L'élément déclencheur sera le rétablissement du catholicisme en Béarn, où il avait été interdit par Jeanne d'Albret (1528-1572), mère d'Henri IV et protestante intransigeante. Amorcé par Henri IV, affirmé par Louis XIII en 1617, ce rétablissement complet sera effectif en 1620, après une intervention qui conduit le roi et ses troupes jusqu'à Pau.

6. Thérèse Dereix de Laplane, *Recherches sur l'histoire de Beuxes*, tome 1, Chinon, 2004.

C'est le début d'un nouvel épisode de guerres de Religion mené contre des chefs protestants de plus en plus arrogants [7], comme Henri de Rohan qui s'est arrogé le privilège royal de battre monnaie sur ces terres. Entre 1621 et 1629, trois campagnes militaires touchent le Sud-Ouest (Languedoc, Saintonge, Aunis), fief des Rohan. Elles se terminent par la Paix de grâce d'Alès (1629), qui établit la séparation entre le politique et le religieux dont avaient rêvé Catherine de Médicis et Michel de L'Hôpital dans les années 1560. Dépouillés des droits politiques et militaires accordés par l'Édit de Nantes, les protestants conservent une liberté de culte, très encadrée.

Ces évènements nationaux ont de lourdes conséquences pour Loudun. Deux épisodes militaires vont en effet accélérer la décision de détruire la forteresse, le siège de Royan devant laquelle Louis XIII est bloqué pendant cinq jours en 1622 et le siège de La Rochelle qui immobilise l'armée royale entre 1627 et 1628.

LOUDUN PERD SON GRAND ET SON PETIT CHÂTEAUX

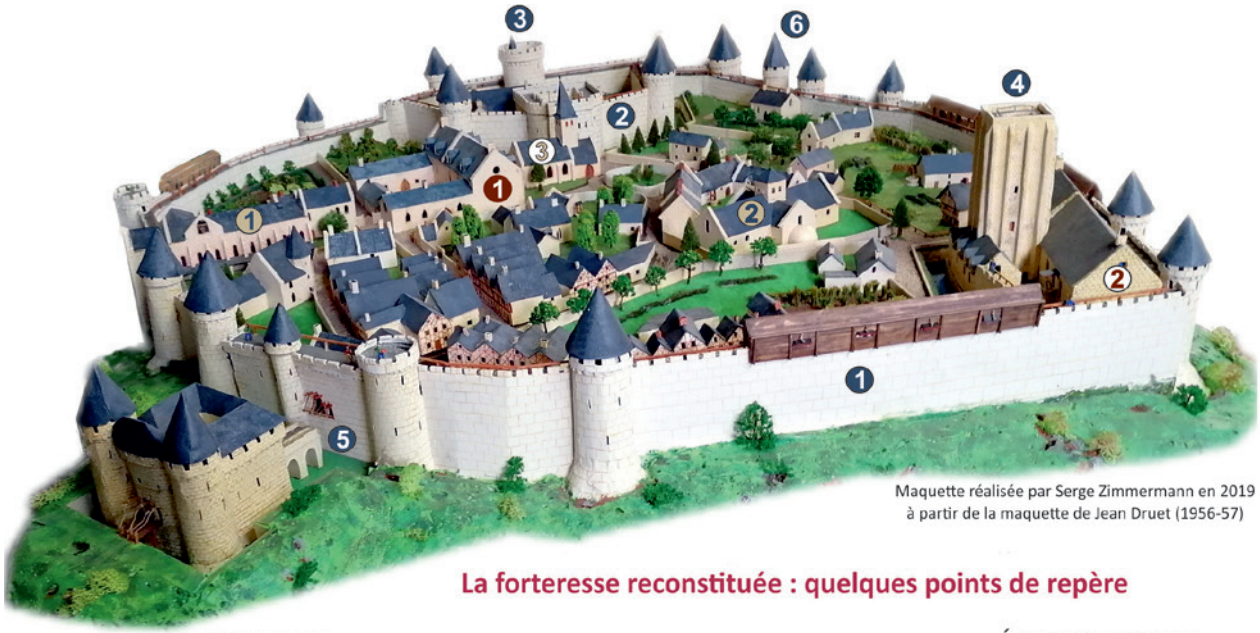
Envisagée en 1622, immédiatement après la fin du siège de Royan, la destruction du « Grand Château » qui ceinture la colline est décidée en 1629, après le siège de La Rochelle et réalisée en 1631, sous la direction de l'envoyé spécial du roi, Jean Martin de Laubardemont, qui vient de démanteler Royan.

Certains Loudunais sont soulagés en songeant aux dépenses nécessitées par l'entretien des murailles, d'autres sont déjà nostalgiques, aucun n'échappe au bruit des masses qui s'abattent sur les murs et à la poussière qui envahit la ville. Pourtant, contrairement au traitement réservé à Royan, la rebelle, la muraille qui ceinture la colline est abattue « proprement », en épargnant la vénérable Tour Carrée des Plantagenets et quelques tours ou pans de murs indispensables à l'intérêt de la cité ou au soutien des habitations adjacentes. Loudun peut encore s'en enorgueillir aujourd'hui.

Les espaces libérés, avec tout ce qu'ils supportent, y compris les pierres, deviennent la propriété de deux serviteurs de Louis XIII, le gouverneur Jean d'Armagnac et le secrétaire du roi Michel Lucas, fils d'un mercier de Loudun.

Parce que Loudun est une ville fidèle et que son gouverneur, Jean d'Armagnac, souhaite conserver sa fonction, Louis XIII hésite longtemps à se prononcer sur le sort du « Petit Château ». Une ultime bataille se livre au Louvre où le gouverneur a l'oreille du roi dont il est le premier valet de chambre. Elle se livre aussi à Loudun où Urbain Grandier, ami et obligé de Jean d'Armagnac, tente, sans grand succès, de mobiliser la population contre la destruction, à un moment où il aurait intérêt à se faire oublier.

7. Sous Louis XIII, les protestants se divisent entre loyalistes et rebelles.



Maquette de la forteresse

L'imposant donjon philippien et son système de fortification ne disparaîtront qu'à la fin de 1633. Les pierres serviront à la réparation des tours du Bailliage et de La Ville, destinées à devenir prisons et à la reconstruction des couvents des Carmes et des Jésuites détruits en 1568 par un contingent de l'armée protestante.

Ismaël Boulliau laisse donc derrière lui une ville en plein désarroi.

UNE VILLE EN PLEIN DÉSARROI

Le sort semble s'acharner sur Loudun. En 1632, une nouvelle épidémie de peste décime la population. Elle commence au printemps, s'atténue un peu pendant l'été, reprend à l'automne, au moment où une nouvelle affaire éclate.

Au cours de cet automne 1632, le bruit circule qu'il se passe des choses bizarres derrière les murs du couvent des Ursulines de la rue du Pasquin (la rue du Bout-du-Monde, à l'époque). Quelques Ursulines, dont Jeanne des Anges, la mère supérieure, seraient la proie du démon. L'intervention des exorcistes qui, dès le 11 octobre, contraignent le diable à dénoncer son complice, Urbain Grandier, marque le début d'une terrible affaire qui conduira le curé de Saint-Pierre du Marché sur le bûcher et ternira durablement l'image de la ville.

Mais cette année-là, on retrouve Ismaël Boulliau à Paris. Pour lui une autre vie a déjà commencé. Il a quitté une cité meurtrie, bien différente de la ville active où il est né vingt-sept ans plus tôt. Privée de ses châteaux, bientôt de son grenier à sel et de son collège protestant, elle amorce une longue période de déclin. Conformément à la prédiction de son dernier gouverneur, Jean d'Armagnac, la fière citadelle de 1605 est devenue une simple bourgade.

À l'origine de cet article :

Sylvette Noyelle/Sylviane Rohaut, Histoire des rues de Loudun, 13 brochures référencées, écrites entre 1999 et 2015 et éditées par la Société Historiques du Pays de Loudunois.

Ce travail, issu de nombreuses années de lectures et de recherches, a été complété, pour la période qui nous intéresse, avec les ouvrages et articles référencés en notes de bas de page. ■

La vie d'Ismaël Boulliau

PAR **GÉRARD JUBERT**, ARCHIVISTE HONORAIRE AUX ARCHIVES NATIONALES, ANCIEN PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ HISTORIQUE DU PAYS DE LOUDUNOIS



Portait d'Ismaël Boulliau par Jacobus Van Schuppen au musée des beaux art et d'archéologie de Besançon

L'ENFANCE ET LA JEUNESSE

Le 25 novembre 1694, mourrait, en l'abbaye Saint-Victor de Paris, dans la quatre-vingt-dixième année de son âge, l'un des plus notables astronomes et mathématiciens du grand siècle. Il était né le 28 septembre 1605 à Loudun, ville capitale du pays du Loudunois, aux confins de l'Anjou, de la Touraine et du Poitou, dans une famille protestante. Son père dont il portait également le prénom était procureur au baillage et sa mère, issue d'une vieille famille du lieu, avait nom Suzanne Motet. Il eut trois frères, Jean, Jacques et Daniel et cinq sœurs Marthe, Catherine, Dorothée, Jeanne et Suzanne. Que sait-on de la petite enfance et de l'adolescence d'Ismaël Boulliau ? On sait seulement qu'il fit de bonnes études classiques à Loudun, bien pourvues de bonnes écoles et de bons maîtres et notamment d'un collège de protestants. Il lisait et écrivait couramment le grec et le latin et tous ses ouvrages publiés furent rédigés en cette dernière langue.

Doué, dès son plus jeune âge, d'un savoir et d'une instruction fort vastes et variés dans les disciplines précitées, Ismaël Boulliau semble, dès sa vingtième année avoir centré ses recherches et ses travaux sur les mathématiques et sur l'astronomie. Son intérêt pour cette dernière lui fut apparemment inspiré par son père qui troquait volontiers le portefeuille du procureur contre la lunette de l'astronome et qui fit plusieurs observations – celles des comètes de 1607 et 1618 – que son illustre fils eut à cœur de publier plus tard, avec ses propres travaux.

Ayant quitté Loudun pour Paris en 1632, il ne fut, en aucune façon, mêlé aux misérables intrigues de la sordide affaire de possession qui secoua Loudun dans les années 1633-1634 et qui se termina si tragiquement par la mise au bûcher du son curé Urbain Grandier. Il n'en conserva pas moins – selon le témoignage de Gilles Ménage qui a pu apprécier ses belles et nobles qualités – une grande estime pour le supplicié [1]. Une belle lettre de Boulliau à son ami Gassendi en date du 7 septembre 1634, trois semaines après le supplice de Grandier, nous donne, en même temps que la relation directe de l'évènement faite par un témoin oculaire en l'occurrence son frère Jean Boulliau, intendant des biens du marquis d'Escoubleau de Sourdis, marié catholiquement avec Jeanne Tabart, son contrat de mariage précisant la présence d'Urbain Grandier en tant que premier témoin. Ismaël Boulliau, après avoir rapporté à Gassendi le texte même de la relation qui lui avait été faite, par son frère, de cette triste journée du 18 août 1634, « à la lueur même des flammes qui dévorèrent le curé de Saint-Pierre-du-Marché », Boulliau conclut : « *Voilà l'histoire succincte de la mort de cet homme qui avait de grandes vertus mais accompagnées de grands vices, humains néanmoins et naturels à l'homme. Il était docte, bon prédicateur, bien disant, mais il avait un orgueil et une gloire si grande que ce vice lui avait fait pour ennemis la plupart de ses paroissiens et ses vertus lui ont accueilli l'envie de ceux qui ne peuvent paraître vertueux si les séculiers ne sont diffamés parmi le peuple. La rage de ses ennemis est si grande qu'ils n'ont eu de plaisir s'assouvissant de vengeance de le voir périr* ». Et Boulliau tirant la philosophie de de drame, achève ainsi sa lettre : « *D'ailleurs, je déplore la condition en laquelle on veut mettre les chrétiens de les faire mourir sur la disposition des diables, doctrine impie, erronée, exécrable et abominable* – notons au passage la richesse remarquable du vocabulaire – *qui rend les chrétiens idolâtres, ruine la religion chrétienne dans ses fondements, ouvre la porte à la calomnie et fera, si Dieu, par sa providence, ne remédie à ce mal, que le diable se fera immoler par les hommes des victimes humaines, non plus sous le nom de Moloch, mais à la faveur d'un pacte diabolique et infernal [2]* ».

L'ARRIVÉE À PARIS

Il quitta Loudun dans le cours de l'année 1632. Il n'avait alors que 27 ans, arrive à Paris. Il loge d'abord près du Louvre chez Charles d'Escoubleau, marquis de Sourdis, dont la famille avait des terres en Loudunois, la seigneurie de la Chapelle-Bellouin notamment. Dès son arrivée entre en rapport avec les savants qui s'y trouvent. D'abord, deux plus grands et ses confrères dans le sacerdoce :

Pierre Gassendi qui devait quitter Paris, dès le mois d'octobre 1632, et avec lequel Boulliau entretiendra une correspondance aussi nombreuse qu'instructive et l'illustre père Martin Mersenne. Il ne manqua pas d'assister aux conférences que son compatriote – et allié – Théophraste Renaudot avait organisé, dès le printemps de 1633, dans son bureau d'adresse de la rue de la Calandre, au cœur de la Cité, près du Palais de Justice de Philippe-Auguste et de Saint-Louis. On ne soulignera jamais assez l'importance de ces conférences pour la connaissance de la pensée moyenne de la société cultivée et du monde savant de cette époque [3].

Ces conférences se tinrent une fois par semaine jusqu'en 1642 et leurs comptes rendus furent heureusement publiés par le gazetier en recueils, de cent conférences chacun, dits centurie. Certes ces conférences restaient anonymes. C'était l'un des principes que Théophraste Renaudot avait fixés à ces réunions. Mais dès le 24 octobre 1633, l'un des deux sujets proposés porte sur le mouvement de la terre et l'un des intervenants soutient que dans l'examen de cette question l'opinion de Copernic – *à savoir que la terre se meut à l'entour du soleil, lui demeurant immobile au centre du monde – est la plus vraisemblable – laquelle opinion, ajoute-t-il, était déjà celle d'Aristarque et de Philoaus.* Quand on sait quelle importance Ismaël Boulliau attachait aux idées de ce Pythagoricien qu'il reprit dans plusieurs de ses ouvrages, il n'est pas, semble-t-il, hasardeux d'avancer que notre savant prit certainement part à la conférence tenue ce jour-là ; comme il prit très vraisemblablement aussi à celle du 29 mai 1634 sur les comètes ou à celle du 19 mai 1636 sur l'arc-en-ciel ou même encore à celle du 27 avril 1637 sur la voie lactée ou à celle enfin du 2 avril 1640 sur le feu central.

Boulliau fut, au reste, en rapport avec Théophraste Reanaudot, dès son arrivée à Paris. Une lettre de Gassendi, datée de Digne, le 12 décembre 1632 adressée à son ami Luillier à Paris, est à cet égard, sans ambiguïté. Gassendi écrit : *« A propos, envoyez, s'il vous plait, quelqu'un de vos gens vers le sieur Renodot (sic) afin qu'il vous indique où loge M. Boulliau de Loudun parce qu'il est, ce me semble, son parent, afin de de faire prier de vous aller trouver et quand il vous verra, priez-le, de ma part, d'envoyer M. Schickard – un autre astronome de ses amis – toutes les observations qu'il a de Mercure [4] ».*

C'est à cette même époque que Boulliau rencontre les savants bibliophiles, les frères Jacques et Pierre Duruy, futurs gardes de la Bibliothèque du Roi et, pour l'heure, gestionnaires de la très belle et très riche bibliothèque de leur parent, le grand magistrat et historien Jacques-Auguste de Thou, comportant 8 000 volumes et 1 500 manuscrits, en même temps que promoteur d'un fameux cabinet de lecture, lieu de rencontre de prédilection du monde savant et érudit du temps.

À L'HÔTEL DE THOU

Dès 1636, Ismaël Boulliau quitte le logement que lui avait accordé depuis 1632 le marquis de Sourdis, pour se rendre en l'Hôtel de Thou, rue des Poitevins où il restera jusqu'en 1652. Profitant de la très riche bibliothèque qui s'y trouve, il devient vite un collaborateur assidu et dévoué des frères Dupuy dans la gestion de leur fameux cabinet et quand ceux-ci, en 1645, seront nommés gardes de la Bibliothèque du Roi, c'est à Ismaël Boulliau qu'ils confièrent la bibliothèque de Thou, assistée par un certain Jacques de La Rivière. Cette période, on l'imagine aisément, fut pour notre savant une période bénie. Ayant tout naturellement le plus libre accès à tous les trésors de cette bibliothèque

SES VOYAGES EN ITALIE, AU LEVANT

C'est durant son séjour au côté des frères Dupuy qu'Ismaël Boulliau décida d'entreprendre au Levant. Toujours par l'intermédiaire des frères Dupuy, il obtint un poste de prêtre à l'ambassade de France à Venise, dirigée par Nicolas Bretel, seigneur de Grémonville. Au bout d'un séjour d'une année à Venise, son voyage au départ de cette ville ne put se réaliser à cause de la guerre Gréco-turque à Candie (Chypre). Mais il eut une compensation de choix séjournant deux mois à Florence, auprès du grand-duc de Toscane Ferdinand de Médicis, côtoyant son frère le prince Léopold, l'un des hommes les plus savants de la péninsule et le mathématicien Toricelli qui lui donna le premier baromètre qu'il venait de créer. Le grand-duc lui offrit pour sa part deux longues vues. Il entretiendra par la suite une importante correspondance avec le prince Léopold. De même il rencontre à Padoue un Français, le savant Gabriel Naudé, son prédécesseur à la bibliothèque Mazarin. Il partit ensuite de Livourne pour rejoindre Constantinople. En 1651, il visite les savants allemands et hollandais.

Ses lettres à son ami Jacques Dupuy, de 1645 à 1648, et en 1651, pendant ses voyages en Orient, en Allemagne et dans les Pays-Bas sont du plus grand intérêt. Celles qui sont datées de Venise contiennent de nombreux détails sur la politique intérieure et extérieure de la Sérénissime République. Celles qu'il écrit de Smyrne et de Constantinople n'offrent pas moins d'intérêt au point de vue de l'état du monde grec et musulman au XVIIe siècle. Une de ses lettres en particulier, écrite d'Amsterdam en 1651, doit être ici rappelée. Le tableau qu'il y donne de la prospérité et de la richesse du peuple hollandais comparé à celui de la France, ainsi que les judicieuses réflexions que lui suggèrent l'état politique, alors si troublé, de notre pays, sont assez remarquables : *« C'est en ce pays,* écrit-il, *où l'industrie de ces Messieurs les Bataves paraît le mieux, eux qui ont gagné sur la mer des pays entiers et ont fait des prairies si belles et si fertiles que, deux fois le jour, ils font leurs vendanges, j'entends de lait, jusque-là qu'il y a une telle vache qui rend par an deux tonnes de lait ou peu s'en faut. Et ce pays enseveli dans les eaux est habité de paysans, riches en assez bon nombre de trois et quatre tonnes d'or, dont les logis sont propres et ornés de tableaux et lambris avec grande quantité de porcelaines jusqu'à tel point que dans leurs cuisines plusieurs en ont en plus grand nombre que nos dames les plus curieuses dans leurs cabinets … Je me représentais alors le déplorable état de nos paysans et de nos campagnes, qui surpassent de beaucoup en beauté et en bonté de pays-ci, et certainement c'était avec un sentiment de regret de voir que par mauvais ménage nous gâtions un bon pays, pendant que par une sage conduite et bonne économie, les autres en ont bonifié un si mauvais qui ne porte pour tout fruit que de l'herbe [5]. »*

LE SECRÉTAIRE D'AMBASSADE

La disparition de son ami Pierre Dupuy, le 14 décembre 1651, va apporter quelques changements dans son existence. Il quitte alors où il résidait depuis 15 ans pour se rendre rue de la Harpe, près de Jacques Dupuy, frère du défunt, qu'il continue à aider dans la gestion de la bibliothèque de Thou et du célèbre cabinet jusqu'à la disparition de ce dernier, survenue le 17 novembre 1656. En 1657, le Président de Thou ayant été nommé ambassadeur auprès des Provinces-Unies, prit Boulliau comme secrétaire. À cette occasion, notre savant astronome adressa à Mazarin la lettre suivante, aussi habile que pratique, le 19 février 1657 : « *Le Roy, écrit-il, ayant fait l'honneur à M. Le président de Thou de le choisir pour son ambassadeur ordinaire vers les Estats généraux des Provinces-Unies et Votre Eminence ayant porté Sa Majesté à faire ce choix, M. de Thou m'a faict l'honneur de me recevoir pour luy servir de premier secrétaire sans son ambassade, et ce qui l'a principalement, et ce qui l'a principalement porté à lever les yeux sur moy, c'est qu'il a cru que Votre Eminence aurait pour agréable que je rendisse au Roy dans l'employ que Sa Majesté luy procure ; et je suis persuadé que Votre Eminence croira que m'estant attaché à ses intérêts, je servirai le Roy comme un bon et fidèle sujet est obligé de faire. Ainsi Monseigneur, je suppllie très humblement Votre Eminence qu'elle ait la bonté de me procurer un favorable traitement dans cette occurrence et qu'il lui plaise de me faire donner les appointements que l'on a accoustumé de donner aux Secrataires de l'Ambassade. [6]* ». Comment pourrait-on mieux dire plus concrètement les choses ? Le secrétariat de l'ambassadeur dura excatement cinq mois, d'avril au mois d'août 1657. Pendant la durée de son séjour aux Pays-Bas, Boulliau rencontra Huygens qu'il avait déjà vu, quelques années plus tôt, à Paris et avec lequel il entretint une correspondance suivie.

LE BIBLIOTHÉCAIRE DE MAZARIN

A son retour à Paris et vers la fin de l'année 1657, Boulliau devint le bibliothécaire de Mazarin, succédant en cette fonction à La Poterie, lui-même successeur de Naudé. Une belle lettre du Président de Thou adressées au cardinal-ministre, le 7 mars 1658, de La Haye – où il était en poste pour quatre années encore – nous révèle ce choix prestigieux en même temps qu'elle fait l'éloge de notre savant : « *Monseigneur,* écrit de Thou à Mazarin, *je me trouve bienheureux d'avoir élevé une personne dans ma maison que Votre Eminence aie jugé capable d'avoir la conduite et gouvernement de la plus nombreuse bibliothèque de l'Europe en toutes sortes de langues et de sciences et que M. Boulliau soit celuy que Votre Eminence a honoré d'un choix si glorieux et avantageux et j'ose bien dire à Votre Eminence qu'il n'y a qu'elle seule qui eût été capable de luy faire quitter le recueil de livres qui est dans la maison de son très obéissant serviteur [7].* » Et l'ambassadeur termine sa lettre en se réjouissant « *de la belle pensée* (de Mazarin) *de faire bastir un collège public* (celui des Quatre-Nations qui deviendra le Palais de l'Institut) *pour y déposer cette fameuse bibliothèque* (qui deviendra la Bibliothèque Mazarine) ».

Parallèlement aux soins qu'il donnera à la bibliothèque de Mazarin, Boulliau continuer de s'occuper de la bibliothèque de Thou. Il fera également à cette même époque (1660) un long voyage en Pologne. D'abord à la cour de Varsovie où il rencontra son ami et correspondant Pierre Des Noyers, secrétaire de la reine Marie-Louise de Gonzague, puis à Dantzig où il ira visiter Helvetius. L'impression qu'il fit à la cour de Varsovie fut, semble-t-il, des plus favorables, puisque la reine lui fera, plus tard, un présent considérable d'une valeur de 1000 livres.

LA RUPTURE AVEC DE THOU

Au printemps 1666, une tragique rupture se produit dans la vie de Boulliau, d'autant plus sensible que notre savant vient d'atteindre ses soixante ans. Il se brouille avec le Président de Thou, son protecteur et son ami depuis trente ans. Il semble que cette rupture eut son origine dans le rôle que Boulliau voulut tenir dans une affaire de famille opposant son protecteur à l'un de ses fils, Jacques-Auguste, abbée de de Samer-aux-Bois.

AU COLLÈGE DE LAON

Après sa regrettable brouille avec le Président de Thou, Boulliau, muni d'une faible pension, se retire au collège de Laon à Paris, au pied de la Montagne Sainte-Geneviève. Il y restera jusqu'en 1689. Dans ce contexte et cet environnement, non moins favorables, Ismaël Boulliau put continuer, tout à loisir, ses chères études astronomiques. Il est, à cette époque, reconnu comme le plus grand astronome et mathématicien du royaume. La société de Londres, plus reconnaissante de ses mérites que l'Académie royale de Paris, l'accueillit parmi ses membres, à titre étranger, au cours de l'été 1667. Notre savant venait alors de trouver une étoile nouvelle, Mira, dans la constellation de Cetus et faisait de nouvelles découvertes sur la nébuleuse Andromède.

Mais la charge des ans se faisait de plus en plus pesante et sa santé s'affaiblissait. Il souffrait de rhumatismes qui le clouaient au lit dans d'insupportables souffrances. Cependant ainsi qu'il l'écrit à sa belle-sœur, en juillet 1783 : « *Pour peu que la constitution de l'air change, je ressens des douleurs beaucoup moindres … Je sors quelques fois pour ne pas perdre l'usage de mes jambes et afin de voir le peu d'amis qui me restent [8]* ».

En septembre 1688, répondant à une lettre de son neveu, Urbain Boulliau, fils de son frère aîné, il lui avoue un « *tremblement des mains* » pour se faire pardonner une écriture que son correspondant et ami, Des Noyers qualifie de « *sy brouillée qu'il ne l'a pu deviner* ».

SA MORT À L'ABBAYE SAINT-VICTOR AUX BOIS

Au printemps 1689, il quittait le collège de Laon pour l'abbaye Saint-Victor, à l'emplacement de laquelle s'élève aujourd'hui la faculté des Sciences près du quai Saint-Bernard, non loin du Jardin des Plantes et de la gare d'Austerlitz dont l'air, assez curieusement, était réputé très bon pour ses terribles rhumatismes, bien qu'en bordure de Seine. On lui donnera un logement au second étage du premier corps de logis dans la cour d'entrée. Sa chambre près de laquelle se trouvait un cabinet contenant, ce qui ne saurait nous surprendre, plusieurs instruments d'astronomie, avait pour mobilier une petite table en bois de chêne posée sur son pied à colonne et couverte d'une toile ; un fauteuil de commodité de pareil bois couvert de toile ; un lit à hauts piliers en bois de hêtre garni de

son rideau ; et tout autour de la chambre, cinq pièces de tapisserie de Bergame [9]. C'est dans ce cadre qu'Ismaël Boulliau mourut, le 25 novembre 1694. Il avait eu 89 ans, le 28 septembre précédent.

ELOGE POST-MORTEM

L'éloge qui fut publié sur lui dans le Journal des Savants de 1695 mérite qu'on s'y arrête, en terminant, quelques instants. Il commence ainsi : « *Notre siècle tout fertile qu'il est en gens de lettres, en a peu produit qui ayent réuni autant de qualitez que M. Boulliau. La nature lui avait donné un corps robuste et propre au travail, un esprit vif, une mémoire heureuse, un jugement solide et un désir de réussir par le bon usage qu'il fit de ces avantages et par le soin qu'il prit à cultiver ses talents.* »

Son esprit de prêtre éclairé le portait à souhaiter une réforme catholique mais dans un esprit libéral, ni mystique comme celle prônée par les nouveaux spirituels, ni sévère comme celle louée par les jansénistes.

La réputation que ses nombreux et savants travaux lui avaient value ne diminua en rien sa modestie naturelle. À l'un de ses amis, qui au soir de sa vie, lui avait témoigné par une lettre la haute opinion qu'il avait de lui, il répondit simplement en ses termes : « *Si ce que j'ai fait est approuvé par les honnêtes gens, intelligents dans les matières que j'ai traitées, cela suffit, et cette approbation pure et simple, sans des éloges et des paroles de complaisance trop affectée, vaut plus que tous les panégyriques.* »

[1] Robert A. HATCH, the collection Boulliau – Biographical Introduction, p. XXVI, n°1

[2] Philippe TAMIZEY de LARROQUE, Document sur Urbain Grandier (Cabinet historique n°2)

[3] Simone MAZAURIC, thèse de doctorat ès-lettres (Philosophie) soutenue le 19 novembre 1994 à la Sorbonne, éditée en 1997 par les éditions de la Sorbonne – série Philosophie – 3, université de Paris I – Panthéon Sorbonne, sous le titre Savoirs et philosophie à Paris dans la première moitié du XVIIe siècle. Les conférences du bureau d'adresse de Théophraste Renaudot (1633-1642).

[4] Pierre GASSENDI, Lettres familières, pp. 30-31 ; cf HATCH, op. cit. p. XXVII.

[5] Henri OMONT, trois lettres de Boulliau à Dupuy (1645-1651), Archives historiques, artistiques et littéraires, tome II (1890-1891) p. 137), Paris Charavay

[6] BNF, Manuscrits Français Fr. 13027, fol 243, cf. HATCH, op. cit., P. XLV.

[7] Alfred FRANKLIN, Les anciennes bibliothèques de Paris, tome III, p. 91 (Paris, 1873)

[8] Arch. Nat., Min. centr., Et. C, I. 422, lettre jointe au partage du 21 mars 1695 (Annexe 1) cf Elzbieta ZILHERBOGEN-CHAPDELAINE, Le testatemnt de Boulliau, pp. 25-26 (IIIe Congrès des Sociétés savantes, Poitiers, 1986 – Sect. Sci. 1987, pp 21-31.

[9] Arch. Nat., Min. centr., ET. XIII, 226, inventaire du 29 décembre 1694 ; cf ZILBERBOGEN-CHAPEDELAINE,op. cit., pp. 28-29 et pa. 31, n. 36-41.

L'œuvre scientifique d'Ismaël Boulliau

PAR **MARIE-CLAIRE COËT**, DIRECTRICE DE L'INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE À L'ONERA

Cet article présente l'œuvre scientifique de celui qui fut, à la fois et tour à tour, mathématicien, astronome, astrologue, météorologue, mais surtout un intermédiaire scientifique qui échangea une importante correspondance avec les plus grands savants et intellectuels de son temps. Il se base principalement sur la thèse du hollandais Henricus Johannes Maria Nellen traduite 14 ans plus tard en français, à l'occasion du 3e centenaire de la disparition d'Ismaël Boulliau.

« Une rue à Loudun et un cratère sur la lune, voilà les seuls endroits qui rappellent aux hommes l'existence de l'astronome du XVIIe siècle, Ismaël Boulliau. » (H. Nellen)

INTRODUCTION

Bien que son nom soit aujourd'hui seulement connu des Loudunais et des « Séléniens », Ismaël Boulliau eut au 17e siècle une renommée, qui dépassait les frontières de sa ville natale pour s'étendre sur toute l'Europe, à tel point qu'un cratère – et non des moindres – lui fut dédié sur notre satellite naturel. Astronome, épistolier, nouvelliste et intermédiaire scientifique, Ismaël Boulliau fut, à travers ses passions scientifiques, en rapport avec les milieux du « libertinage érudit » de son siècle.

L'ASTROLOGIE

Cette discipline était encore à l'époque couplée ou associée à l'astronomie. Néanmoins dans le milieu religieux et scientifique d'Ismaël Boulliau, l'astrologie valait parfois à ses adeptes des sourires apitoyés. Il faut donc l'imaginer « tiraillé » entre la religion, l'astronomie et l'astrologie, qui deux à deux avaient des antagonistes, des rapports complexes, voire une certaine continuité, porosité ou complémentarité.

Son livre d'horoscope, qui compte 371 feuillets, montre qu'Ismaël Boulliau s'adonna très tôt à l'astrologie et y resta fidèle. Vers la fin de sa vie, il tenait encore à jour les horoscopes de certaines personnes, qu'ils avaient antérieurement tirés, en notant les principales vicissitudes de leurs vies. Ses commentaires constituent de véritables petites biographies.

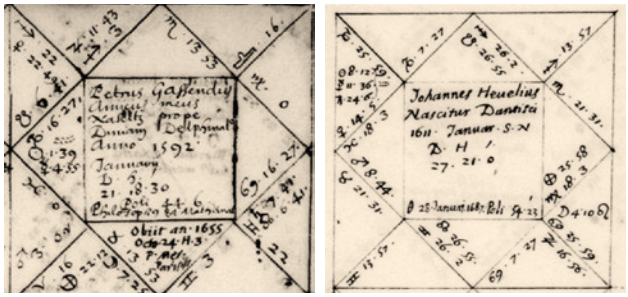
Sa jeunesse et ses années d'études sont entourées d'un voile de mystère, car il ne reste que peu de lettres de cette époque, sa correspondance avec sa famille ayant disparu. Cependant les horoscopes qu'il tira des membres de sa famille renseignent quelque peu sur cette période. Mais les notes ne concordant pas toujours aux évènements laissent penser que ses rapports avec ses parents, restés à Loudun, étaient peu fréquents.

Ismaël Boulliau serait né le 27 septembre 1605 à 16h45, comme l'indique son horoscope. Plus tard, il prétendra être né le 28 septembre. Etant donné qu'il ne peut s'agir d'une erreur, on doit supposer que ce sont des calculs et des considérations astrologiques qui ont incité Ismaël Boulliau à opérer ce glissement de date. En effet, à mesure qu'il avançait en âge, Ismaël Boulliau était obsédé par la vieillesse et il gardait le souvenir d'une vie pleine de déceptions et de revers. Il ne fut jamais reçu à l'Académie des Sciences, ce qui fut une déconvenue majeure. Il peina également à obtenir une pension qui lui aurait permis de mener avec plus de facilité tous les travaux qu'il ambitionnait de réaliser. Ismaël Boulliau était persuadé que c'était parce qu'il était né sous une mauvaise étoile qu'il n'avait pu réaliser la brillante carrière scientifique qu'il estimait mériter et sans doute essayait-il de conjurer le sort en reculant sa date de naissance d'un jour. Il s'agirait dès lors d'un tour de passe-passe astrologique qui devait lui permettre d'annihiler l'action supposée néfaste d'une éclipse de lune, qui avait commencé à la 16e heure du 26 septembre. En postdatant sa naissance et en la fixant au 28 septembre, Ismaël Boulliau éloignait le moment de sa venue au monde de l'éclipse.

Ismaël Boulliau a tiré de nombreux horoscopes : d'amis, de connaissances ou de personnalités en vue, dont Gassendi et Hevelius.

Pierre Gassendi était un mathématicien, philosophe, théologien et astronome français, qui adhérait aux théories de Galilée, à qui Boulliau écrit le 20 juillet 1625 : *« Tout d'abord, ami Galilée, je voudrais que vous soyez bien convaincu du plaisir de l'âme avec lequel j'embrasse votre opinion en astronomie, sur le système de Copernic. »*. En astronomie, Gassendi s'est consacré à l'observation et à la description du mouvement des planètes, des éclipses solaires et à l'évolution des taches solaires. Une de ses observations les plus marquantes eut lieu le 7 novembre 1631 lors du transit de la planète Mercure devant le Soleil. Alors que l'on ne peut observer la planète à l'œil nu, il a l'idée de faire projeter son image sur une feuille de papier. Cela lui permet de se rendre compte de la petitesse de la planète.

Hevelius est un astronome polonais, auteur d'une topographie de la Lune, découvreur de comètes et auteur d'un catalogue d'étoiles. Il construisit des instruments scientifiques et entretint une large correspondance avec les savants de l'époque, notamment avec Ismaël Boulliau dont il était ami. Dans l'histoire de sa discipline, il se situe entre Galilée et Newton.

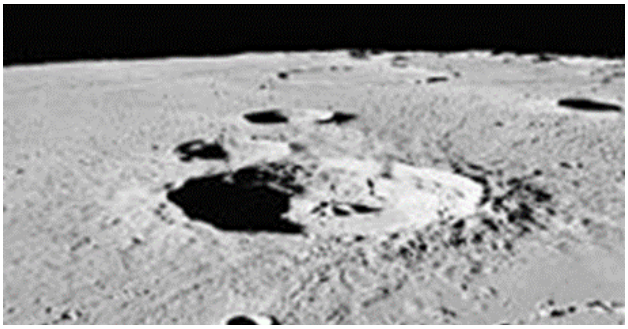


Horoscopes de Gassendi et Hevelius

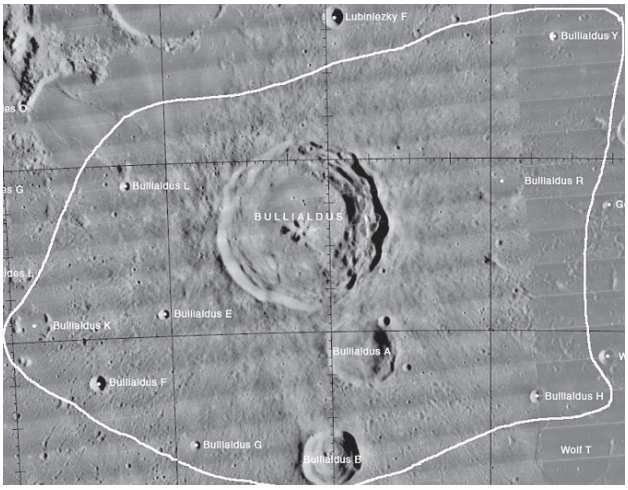
La pratique de l'astrologie valut parfois quelques déboires et déceptions à Ismaël Boulliau, telle cette mésaventure, reconstituée et contée par Nellen, à partir de la correspondance entre Ismaël Boulliau et Christian Huygens. La correspondance entre les deux savants rend compte de leurs bons offices constants et réciproques. Par exemple, Huygens procura à Boulliau une paire de lentilles qu'il avait lui-même taillées ; Boulliau de son côté servit d'intermédiaire au profit de Huygens et se chargea notamment de la diffusion de ses ouvrages parmi les savants parisiens. Boulliau avait dit un jour à Huygens, avec une certaine « précaution oratoire » qu'il croyait que les prédictions astrologiques n'étaient pas tout à fait absurdes. Huygens se souvint de cette confidence lorsqu'une dame de grande condition lui demanda de faire son horoscope. Huygens donna donc la date de naissance de la personne, mais à la demande expresse de celle-ci, il cacha son identité afin que Boulliau pût procéder dans les règles de l'art sans être gêné dans ses prédictions par des égards à avoir pour elle. Il ajouta le lieu de naissance de l'inconnue ainsi que le méridien et la hauteur du pôle, indispensables aux finesses du métier. Il révéla toutefois en partie l'identité de sa cliente, pensant que cela aiderait Boulliau. En effet, sa cliente étant déjà mariée, il voulait absolument éviter que Boulliau prédit par maladresse une date de mariage. Boulliau tire l'horoscope sans tarder à demander une rétribution : *« ce que je feray mériteroit bien quelque marque d'estime, comme serait quelques bijoux des Indes »*, car la mystérieuse cliente n'était autre qu'Albertine Agnès d'Orange-Nassau (1634-1696), princesse régente de Friesland, Groningen et Drenthe. Mais l'analyse faite par Boulliau du caractère d'Albertine-Agnès ne correspondait pas à l'image qu'on se faisait généralement de la princesse, qui avait la réputation d'être douce comme une colombe et nullement querelleuse. Boulliau reconnut qu'il s'était peut-être fourvoyé, à moins qu'elle travestît sa véritable personnalité. Le coffre à bijoux d'Albertine-Agnès resta fermé. Sans doute s'était-elle refusée à admettre les choses désagréables révélées par l'horoscope de Boulliau ?

L'ASTRONOMIE

C'est dans cette science que les talents d'Ismaël Boulliau s'exercèrent le mieux. Comme récompense de ses travaux, un cratère sur la Lune porta son nom de son vivant ce qui lui conférait une légitime fierté. Ce nom fut officiellement adopté par l'Union astronomique internationale (UAI) en 1935. Les caractéristiques de ce cratère sont impressionnantes avec un diamètre de 60 km et une profondeur de 3 500 m. Une vue intéressante du cratère Bullialdus fut prise par la mission Apollo XVI.



Lunar and Planetary Institute, Apollo Image Atlas Mapping Camera Image Catalog, Apollo 16



Bulliadus est un cratère d'impact situé sur la face visible de la lune dont l'observation fut rapportée pour la première fois en 1645

Les travaux scientifiques menés en astronomie par Ismaël Bouilliau sont ici illustrés à travers quatre exemples.

L'OBSERVATION DE L'ÉCLIPSE DU SOLEIL AVEC HEVELIUS LE 30 MARS 1661

En 1661, Boulliau visite Hevelius à Dantzig. Là, pendant plusieurs mois, il l'assiste dans ses observations. Amis proches pendant près de cinquante ans, Boulliau et Hevelius furent de fidèles correspondants et se dédièrent plusieurs publications.



A g. : ouvrage en latin, décrivant l'observatoire d'Hevelius. Au centre : gravure issue de cet ouvrage montrant l'observation par Boulliau et Hevelius de l'éclipse solaire du 30 mars 1661

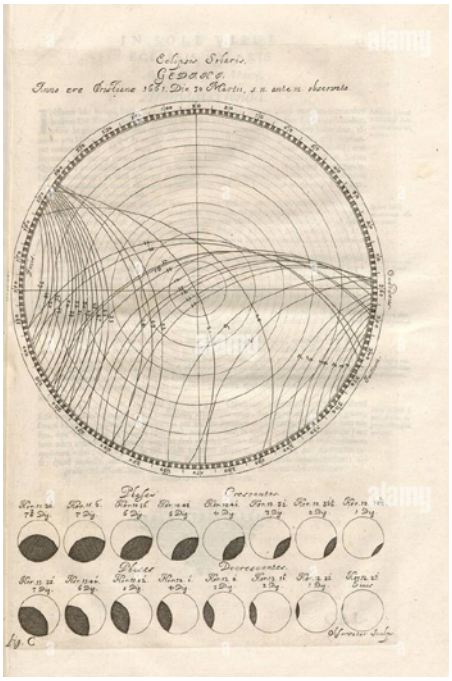
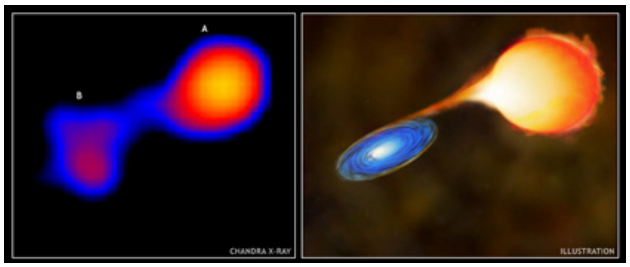


Illustration des différentes phases de l'éclipse solaire du 30 mars 1661

Dans un ouvrage en latin d'Hevelius, intitulé *Machinae coelestis*, on trouve une gravure représentant Boulliau et Hevelius observant l'éclipse solaire du 30 mars 1661 et relevant ses différentes phases au moyen d'un l'héliosCope, instrument utilisé pour observer le soleil et les taches solaires. Les différentes phases de l'éclipse solaire du 30 mars 1661, relevées par Hevelius et Boulliau ont été dessinées dans l'ouvrage.

LA DÉTERMINATION DE LA PÉRIODE DE L'ÉTOILE MIRA-CÉTI

Mira est une étoile dont la luminosité varie. Au XVIIe siècle, Mira-Ceti était connue des astronomes pour être une étoile merveilleuse, dont l'éclat pouvait changer de manière spectaculaire en 11 mois environ. C'est Ismaël Boulliau qui détermina sa période (333 jours). Située dans la constellation de la Baleine, cette étoile est composée de deux éléments : une géante rouge (MIRA) et une naine blanche (CETI).

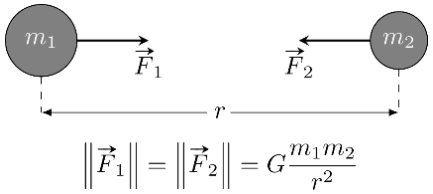


Source : X-ray: NASA/CXC/SAO/M. Karovska et al.; Illustration: CXC/M.Weiss

Des études de la NASA ont révélé que l'étoile perd de la matière, créant une queue de 13 années-lumière de longueur, qui se serait formée pendant ces 30 000 dernières années, à la manière d'une comète. On sait aujourd'hui que Mira, qui est beaucoup plus volumineuse que le Soleil, se gonfle et se dégonfle régulièrement. Cette étoile mourante voit se dilater et se contracter son enveloppe externe composée d'hélium et d'hydrogène, autour d'un cœur constitué de carbone et d'oxygène en fusion et c'est ce qui est à l'origine de ses variations d'éclat et non pas, comme le pensait Boulliau, la rotation de l'étoile sur elle-même qui nous montre tantôt une partie plus lumineuse ou tantôt une partie plus sombre.

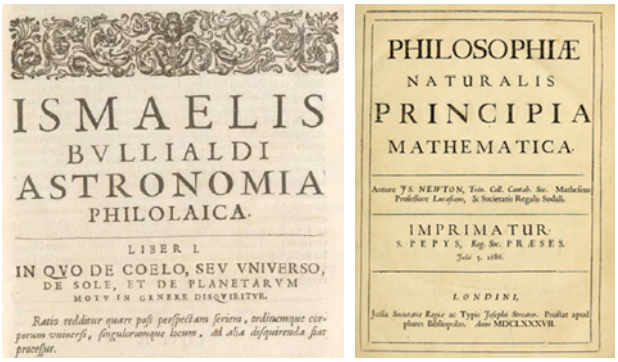
SON APPORT À LA THÉORIE DE LA GRAVITATION

Ismaël Boulliau publie un traité d'astronomie en 1645, dans lequel il indique que la force de gravitation doit suivre une loi en carré inverse des distances.



Loi de la gravitation universelle qui stipule qui stipule que la force qui attire les corps entre eux est proportionnelle au produit des deux masses et inversement proportionnelle au carré de la distance

Isaac Newton (1643-1727) publie, en 1687, son ouvrage fondamental, portant le titre Principes mathématiques de la philosophie naturelle *(Philosophiæ naturalis principia mathematica)* en 1687. Il pose les fondations d'une nouvelle physique, expose son système du monde et démontre les lois de Kepler à partir de la loi d'attraction universelle des masses. Selon celle-ci, deux points massiques quelconques de l'univers s'attirent avec une force qui est inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare, et la force agit le long de la direction qui les joint. Cette loi fait depuis référence dans les domaines de la mécanique, de la mécanique céleste, de la géodésie et de la gravimétrie. Newton cite les travaux d'Ismaël Boulliau qui l'ont mis sur la voie de la loi en carré inverse des distances.



Livres respectifs en latin de Boulliau (1645) et Newton (1687)

L'ÉVECTION DE LA LUNE

Le livre III d'*Astronomia Philolaica* est consacré à l'étude du mouvement de la Lune et son chapitre 6 à la seconde « perturbation » ou « inégalité » de celui-ci : l'évection, mot qu'Ismaël Boulliau a créé pour nommer ce phénomène et qui est encore employé de nos jours pour le désigner.

Le mouvement de la Terre autour du Soleil, peut être considéré en première approximation comme képlérien, c'est-à-dire le mouvement d'un astre par rapport à un autre respectant les trois lois de Kepler.

1. Les planètes du système solaire décrivent des trajectoires elliptiques, dont le Soleil occupe l'un des foyers.
2. Des aires égales sont balayées dans des temps égaux.
3. A^3/T^2=constante (A étant le demi grand-axe de l'ellipse et T la période de révolution)

Le mouvement de la Lune, lui est plus complexe. Une première approximation du mouvement de la Lune est donnée par la résolution d'un problème dit « à trois corps » (Soleil, Terre et Lune). Dans ce problème le mouvement de la Lune est obtenu en tenant compte de l'attraction de la Terre et des perturbations induites par le soleil. La solution complète doit tenir compte de très nombreuses perturbations faisant que les éléments elliptiques décrivant l'orbite lunaire ne sont pas constants, mais varient avec le temps. La première perturbation est connue depuis Hipparque (~150 av. J.-C.) et répertoriée sous le nom d'équation du centre (écart entre le mouvement de la Lune et celui d'un mobile fictif qui décrirait l'orbite à vitesse constante)

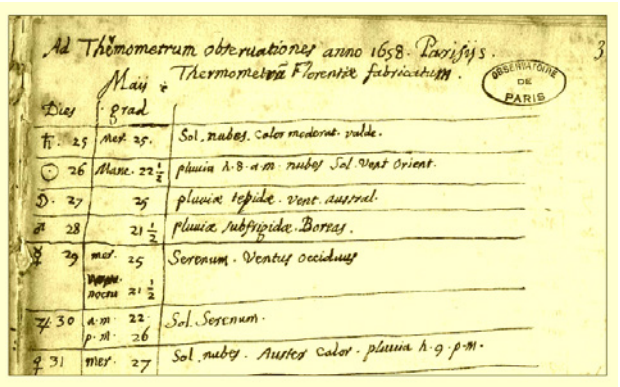
C'est Ismaël Boulliau qui a créé le nom d'évection, employé depuis pour désigner la seconde perturbation du mouvement de la Lune, découverte par Ptolémée (milieu du IIe siècle). Si la théorie d'Ismaël Boulliau, ses calculs et ses explications du phénomène, ne se sont pas révélés totalement exacts, du moins la dénomination qu'il lui donna a traversé les siècles.

LA MÉTÉOROLOGIE

Utilisant le premier thermomètre introduit en France, c'est Boulliau qui a réalisé les premières mesures météorologiques faites à Paris. Pour cela, il utilise un instrument offert par le grand-duc de Toscane à la reine de Pologne. C'est en effet à Florence que fut inventé en 1654 le premier véritable thermomètre. Grace à l'utilisation conjointe du thermomètre et du baromètre, inventé aussi à Florence, par Torricelli, il est dès lors possible d'étudier l'atmosphère. Aussi Ferdinand II de Médicis (1610-1670) mit en place le premier réseau d'observatoires, avec des stations instrumentées dans onze villes. Lors d'une mission effectuée en Italie par le physicien Burattini, attaché à la cour de la reine de Pologne, ce dernier rapporte à la reine un thermomètre, qu'elle offre aussitôt à Ismaël Boulliau. Pierre des Noyers, secrétaire de la reine, l'expédie alors à Paris, où il parvient deux mois plus tard, le 24 mai 1658.

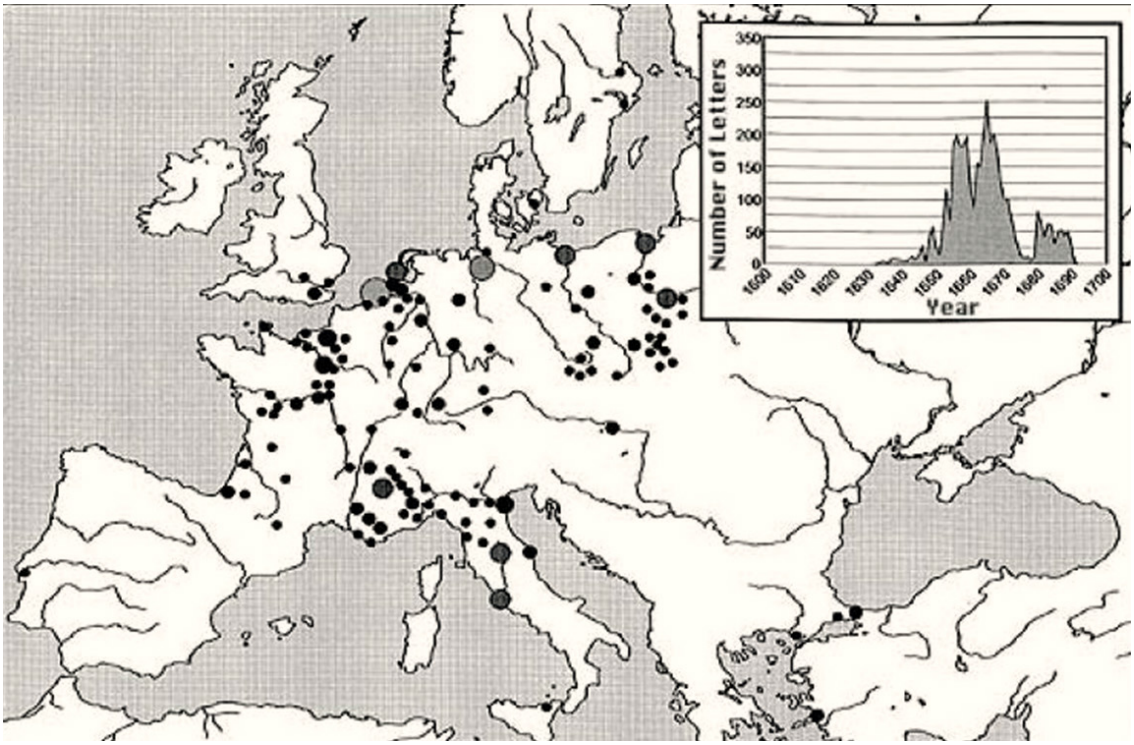
Comme en témoigne la première page de son cahier d'observations météorologiques, Ismaël Boulliau s'est mis à l'œuvre dès le 25 mai 1658, lendemain même du jour où le thermomètre lui fut livré. Ismaël Boulliau suit une démarche expérimentale d'observation et d'enregistrement. Durant deux années, il relève quotidiennement à son domicile parisien les températures de l'atmosphère. Au fil des 68 pages écrites en latin, Ismaël Boulliau note, jour après jour, ses observations, parfois complétées ou remplacées par des éléments d'actualités. Ainsi le 26 août 1660, jour de l'arrivée à Paris de Louis XIV et de la nouvelle reine Marie-Thérèse, Ismaël Boulliau omit d'effectuer ses relevés !

En tout il fit 2 005 mesures de température, effectuées sur une période de 849 jours, du 25 mai 1658 au 19 septembre 1660, avec toutefois quelques jours sans observation et presque un mois sans mesure du 11 octobre 1659 au 8 novembre 1659. L'heure d'observation est variable selon les jours : prédominance le matin « mane » sans indication précise de l'heure, vraisemblablement peu après le lever du jour, à midi « *mer* », et à 11 heures du soir.



Première page du cahier de relevé de températures d'Isamël Boulliau

Quelques années après le médecin et botaniste Louis Morin de Saint-Victor, prend la suite d'Ismaël Boulliau. C'est ainsi que, nous disposons à Paris de la plus longue série de mesures des températures. En reconstituant et en complétant les données manquantes, notamment à partir de mesures en Angleterre entre la fin des observations de Boulliau et le début de celles de Morin, en corrigeant les effets de variabilité des heures de mesure, Daniel Rousseau a publié, en mai 2013, dans le n°81 de la revue La Météorologie, un article fort intéressant, intitulé « *Les moyennes mensuelles de températures à Paris de 1658 à 1675. D'Ismaël Boulliau à Louis Morin* ». Ces nouvelles données thermométriques ont permis d'identifier et de préciser quantitativement la fluctuation, dénommée « fluctuation Colbert », laquelle avait déjà été mise en évidence par les dates très tardives des vendanges en Bourgogne. S'agissant des quatre années 1672 à 1675 : les vendanges y furent effectuées en date moyenne au 2 octobre, ce qui témoigne du manque de maturité du raisin dû au rafraîchissement, sensible dès 1672, très net en 1673, plus net encore en 1674, et terriblement évident en 1675 avec une vendange bourguignonne au 14 octobre. La marquise de Sévigné a commenté le phénomène dans des lettres de juin-juillet 1675 : « *Le rafraîchissement fut très sensible à Paris en juin, avec ensuite un réchauffement en juillet qui a sauvé les moissons* ». Dans une lettre à sa fille datée du vendredi 19 juillet 1675, elle écrit : « *… J'ai été … voir passer la procession de Sainte-Geneviève…Vous allez me demander pourquoi on a descendu cette châsse : c'était pour faire cesser la pluie, et pour demander le chaud…* ». En revanche en Provence et en Vaucluse, le rafraîchissement dure plus longtemps. Cette fraicheur atteint aussi l'Espagne, où les vendanges à Valladolid se firent au 26 octobre. [Source http://www.berthomeau.com/article-les-fluctuations-du-climat-de-l-an-mil-a-nos-jours-au-travers-des-dates-de-vendanges-et-la-qualite-d-87450251.html]



Le réseau des correspondants de Boulliau à travers les lettres qu'il a envoyées et reçues (tiré de « Les moyennes mensuelles de températures à Paris de 1658 à 1675. D'Ismaël Boulliau à Louis Morin » par Daniel Rousseau – La Météorologie - n° 81 - mai 2013)

BOULLIAU, SAVANT ET INTERMÉDIAIRE SCIENTIFIQUE

Ismaël Boulliau fut, le 7 avril 1667, l'un des premiers associés étrangers de la Royal Society, fondée sept ans auparavant, mais il ne fit pas partie de l'Académie royale des sciences, fondée par Colbert l'année précédente, en 1666.

Aux savoirs de Boulliau en astronomie étaient associées de grandes connaissances dans le domaine des mathématiques, notamment en géométrie et sur les coniques, compétences indispensables à la description et à la mise en équations des phénomènes célestes. Ses travaux, même s'ils ne furent pas toujours justes, sont néanmoins importants et font référence avant tout dans le domaine de l'histoire de l'astronomie, plutôt que dans la science astronomie elle-même. Parfois, il compliquait : ainsi, pour expliquer les trajectoires elliptiques des planètes du système solaire, Ismaël Boulliau imagina que ces dernières se déplaçaient, autour du soleil, à la surface d'un cône.

Si certains louèrent en lui un grand astronome, d'autres lui reprochèrent de faire rétrograder les sciences, car son grand tort fut de réfuter les trois lois fondamentales de Kepler, pourtant vérifiées un siècle plus tard par Isaac Newton avec sa découverte de la gravitation universelle. S'il ne reconnut pas l'importance et la justesse des lois de Kepler, il prit en revanche le parti de Galilée, condamné par la sainte Inquisition et défendit le mouvement de la Terre, qui avait encore à son époque de nombreux adversaires, même parmi les astronomes.

En ce qui concerne la loi d'attraction des corps, Boulliau ne fut pas le premier à penser que l'action diminuait avec la distance comme l'inverse du carré. Pour Roger Bacon, savant et alchimiste anglais du 13e siècle, considéré comme l'un des pères de la méthode scientifique, toutes les actions à distance se propagent en rayons rectilignes, comme la lumière. L'astronome allemand Johannes Kepler (1571 – 1630) reprit cette analogie. Or, on savait depuis Euclide que l'intensité lumineuse émise par une source varie en raison inverse du carré de la distance à la source. Selon cette analogie optique, la force émanant du Soleil et agissant sur les planètes devait donc suivre la même loi. Ismaël Boulliau (1605-1691) pousse lui jusqu'au bout l'analogie optique dans son ouvrage Astronomia Philolaïca, paru en 1645 : il y soutient que la loi d'attraction est inversement proportionnelle au carré de la distance, sans toutefois pouvoir le démontrer. Et pour Boulliau, l'attraction est normale au rayon vecteur, tandis qu'en réalité et pour Newton, elle est centrale.

La carte ci-dessus visualise le réseau des correspondants d'Ismaël Boulliau. Cette cartographie a été dressée à partir des lettres qu'il a envoyées et reçues et dont la trace est connue. La courbe du haut quantifie le nombre d'échanges selon les années. Cette carte, établie en 1998 par l'historien américain Robert Hatch, donne une idée de l'abondance de sa correspondance et indique la localisation de ses correspondants en Europe. La correspondance manuscrite de Boulliau est conservée à la Bibliothèque nationale ; elle compte 41 volumes, soit 22 000 pages ! Parmi les correspondants et amis de Boulliau, on trouve en particulier Huygens, Hévelius, le prince Léopold de Médicis, Pierre Desnoyers, secrétaire de la reine de Pologne, et en France, Gassendi, Mersenne ainsi que le grand Pascal. Ayant participé au cabinet Dupuy, qui réunissait les grands esprits de l'époque - à l'instar de ce que sera plus tard l'Académie des Sciences - et ayant rencontré lors de ses voyages les plus grands savants, Boulliau a joué un rôle important pour la diffusion des idées, grâce à la correspondance qu'il échangeait. ■

Les traces d'Ismaël Boulliau dans la poussière de l'histoire

PAR **CONOR MAGUIRE** [1], DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LIMERICK (IRLANDE), MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ DES LETTRES SCIENCES ET ARTS DU SAUMUROIS [2]

INTRODUCTION

L'histoire de la vie d'Ismaël Boulliau (1605-1694), autrement nommé Bullialdus, est à la fois fascinante et instructive. Il a vécu pendant ce que nous appelons maintenant la Révolution Scientifique et a survécu assez longtemps pour voir l'émergence des Lumières *(The Enlightenment).* L'histoire commence avec lui alors qu'il était un jeune garçon regardant le ciel nocturne de Loudun avec son père astronome amateur au début des années 1600. Ce garçon deviendra plus tard un célèbre astronome qui apportera d'importantes contributions au développement de la science en Europe. Dans le contexte du soutien de l'UNESCO [3] et de l'Académie des Sciences [4] au colloque d'aujourd'hui, l'histoire de sa vie est un excellent exemple de la valeur d'encourager les jeunes esprits à s'engager dans les sciences. Cela correspond à la reconnaissance contemporaine de l'importance d'impliquer les jeunes dans les sciences et, plus généralement, la vulgarisation scientifique.

Pour suivre les traces d'Ismaël Boulliau [5] dans la poussière de l'histoire nous adoptons une approche quantitative basée sur une analyse de cette littérature qui a été numérisée et est donc ouverte à l'application de techniques bibliométriques informatisées pour détecter des modèles et des tendances dans le temps. Accéder à ce Big Data numérisé équivaut en quelque sorte à étudier l'ADN de notre culture, scientifique ou non [6]. Nous utilisons notamment la base de données Google Books qui contient des millions de livres, rapports, etc. numérisés en plusieurs langues. Nous recherchons également Google Scholar qui est une base de données bibliographiques académiques et un moteur de recherche

1. cm@chateaudebeaulieu.fr
2. http://slsas.saumur.free.fr/accueil.htm
3. UNESCO. *La Vulgarisation scientifique dans un monde qui change.* https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000082308_fre
4. Académie des Sciences. *Exposition Sciences à l'école : quelle histoire !* https://www.academie-sciences.fr/fr/Promouvoir-l-enseignement-des-sciences/exposition-sciences-a-l-ecole.html
5. Jubert, Gérard. 2000. *Ismaël Boulliau, sa vie, son œuvre.* Bulletin de la Société Historique du Loudunois, 31 mai, p. 10-28.
6. Erez, Aiden et Jean-Baptiste Michel. 2013. *Uncharted: Big Data as a Lens on Human Culture.* Riverhead Books, New York.

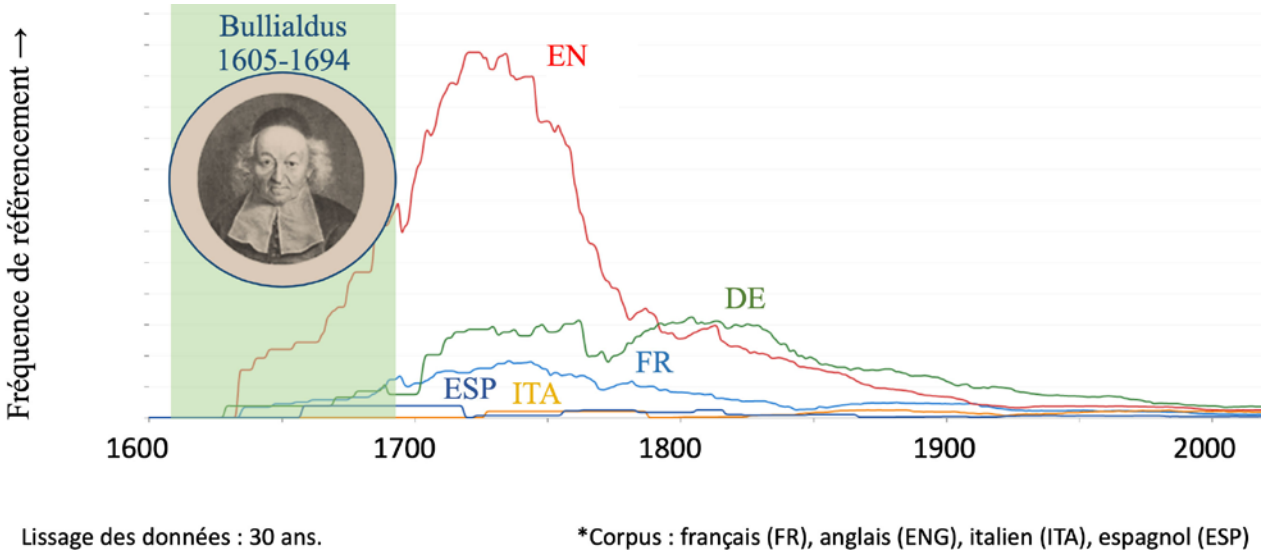


Figure 1 : Fréquence d'utilisation du nom Bullialdus, dans cinq corpus européens, respectivement, 1600-2019.*

et qui est dans de nombreux cas la source la plus complète [7]. Dans cette analyse, nous nous concentrons sur les deux formes que nos recherches indiquent être les plus fréquemment référencées de son nom : Ismaël Boulliau et son nom latinisé Bullialdus.

Le graphique Google Ngram de la Fig. 1 montre qu'au cours de sa vie, il a été le plus fortement référencé dans le *corpus* anglais, et cela a continué pendant plus d'un siècle après sa mort. Dans le corpus anglais, son taux de référencement culmine vers 1720-1730 et décline par la suite. Dans d'autres corpus européens, français, allemand, italien et espagnol, il a continué à être référencé bien après sa mort. Cela est particulièrement notable dans le cas du corpus allemand où il a continué à être référencé à un rythme relativement constant jusqu'en 1830 environ et ensuite a commencé à décliner : soit plus d'un siècle après sa mort.

L'INTERFACE DE DEUX MONDES L'ANCIEN ET LE NOUVEAU

Bullialdus a été initié à l'astronomie en tant que jeune garçon, par son père. Cette éducation aura probablement influencé le développement de son intellect et son approche de la méthode scientifique émergente. Une grande partie de la longue vie de Bullialdus, qui est devenu le Père Ismaël Boulliau, a duré une partie de la période connue sous le nom de Révolution Scientifique, une période fascinante dans le développement de la pensée européenne, une époque où la lumière du raisonnement scientifique émergeait et se croisait avec les idées et hypothèses religieuses traditionnelles sur l'univers et sur l'existence [8]. Bullialdus est profondément impliqué dans cette période qui pose les bases des Lumières *(The Enlightenment)* qui vont suivre vers la fin de la vie de Bullialdus. Néanmoins, Bullialdus occupait un monde où la superstition et la sorcellerie étaient encore très répandues parmi les populations d'Europe. L'ampleur du phénomène de la sorcellerie était extraordinaire [9, 10]. Ben-Yehuda (1980) écrit que « *Depuis les premières décennies du 14e siècle jusqu'en 1650, les Européens continentaux ont exécuté entre 200 000 et 500 000 sorcières* » [11]. Johnsdon et Koyama (2014) écrivent qu'entre 1550 et 1700, il y a eu plus de 2 000 procès de sorcières en France. La Fig. 2 montre le nombre de personnes accusées ou exécutées pour sorcellerie en Europe de l'année 1300 à 1850 [12]. Ces chiffres étaient à un sommet à l'époque de la jeunesse de Bullialdus ; cependant, il vivra assez longtemps pour voir un déclin drastique de cette pratique au moment de sa mort.

Dans cette ambiance générale, Bullialdus est exposé très directement à l'âge de 29 ans à l'enivrante « possession démoniaque de masse » qui accompagne l'exécution sur le bûcher du prêtre catholique Urbain Grandier à Loudun en 1634. Cela a dû profondément affecter Bullialdus puisqu'il aurait été, mais c'est loin d'être prouvé, vicaire de Grandier dans la paroisse Saint-Pierre du Marché à Loudun. Le notoire procès de sorcellerie, *l'Affaire des possédées de Loudun* [13], a eu lieu à une époque où Bullialdus, un jeune homme à l'intellect très actif, embrassait des domaines

7. Martín-Martín A, Thelwall M, Orduna-Malea E, Delgado López-Cózar E. 2021. *Google Scholar, Microsoft Academic, Scopus, Dimensions, Web of Science, and OpenCitations' COCI: a multidisciplinary comparison of coverage via citations. Scientometrics.* 2021;126(1):871-906. doi: 10.1007/s11192-020-03690-4. Epub 2020 Sep 21. PMID: 32981987; PMCID: PMC7505221.

8. Stanford Encyclopedia of Philosophy. 2017. *Scientific Revolutions.* https://plato.stanford.edu/entries/scientific-revolutions/ First published Thu Mar 5, 2009; substantive revision Tue, Nov 28, 2017.

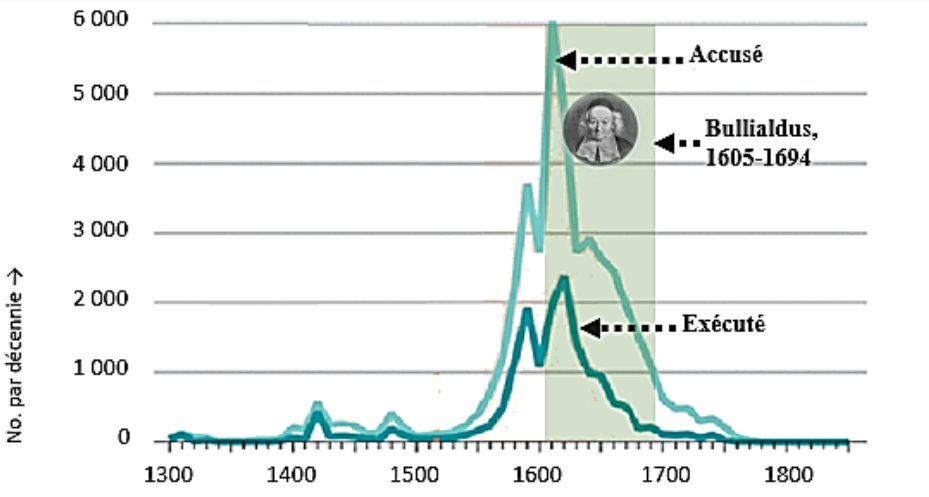
9. Bailey, Michael David. 2007. *Magic and superstition in Europe: a concise history from antiquity to the present.* Lanham: Rowman & Littlefield Pub.

10. Levack, Brian P. (editor). 2013. *The Oxford Handbook of Witchcraft in Early Modern Europe and Colonial America.* Oxford University Press. ISBN: 9780199578160.

11. Ben-Yehuda, N. 1980. *The European Witch Craze of the 14th to 17th Centuries: A Sociologist's Perspective.* American Journal of Sociology, 86(1), 1–31. http://www.jstor.org/stable/2778849

12. Leeson, P and Jacob Russ. 2017. *Witch Trials.* Economic Journal, August.

13. *Quelle est l'histoire des possédées de Loudun au XVIIe siècle ?* Futura-Sciences. 23.09.2018. https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/histoire-histoire-possedees-loudun-xviie-siecle-5640/



Source : Adaption de "*Witch Trials*", par Peter Leeson et Jacob Russ, Economic Journal, août 2017.

Figure 2 : Sorcellerie européenne, 1300-1850

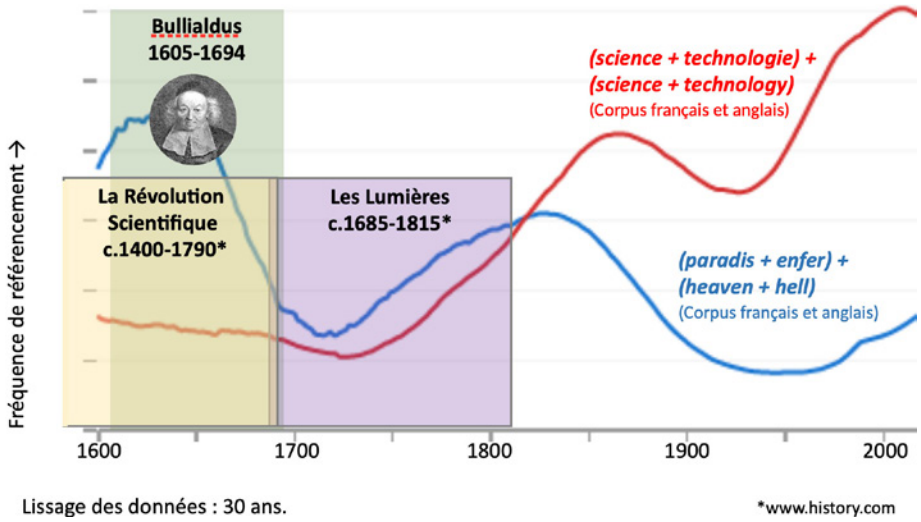


Figure 3 : Fréquence de référencement de science + technologie et paradis + enfer dans les deux corpus, francais et anglais (cumulativement), 1600-2019.

tels que l'astronomie et les mathématiques ; de plus, il devint prêtre catholique et s'intéressa à la théologie et à la philologie, mais il continua aussi à faire confiance à l'astrologie. Il nous est difficile aujourd'hui d'imaginer les profondes contradictions et rationalisations qui ont dû occuper l'esprit curieux du jeune Boulliau. Même Isaac Newton a été décrit comme un « *mystique rationnel et un philosophe* »[14]. L'humanité n'est pas passée des ténèbres à la lumière de la science d'une manière soudaine ; pendant plusieurs siècles, il y a eu chevauchement entre ces deux mondes. Clare (1999) a vu l'interface entre la science et le surnaturel reflétée dans la théorie de la sorcellerie anglaise qui n'a pas rejeté la sorcellerie mais souhaitait en fait l'étudier [15]. L'analyse du corpus français de la base de données Google Scholar [16] montre que la littérature est 8 fois plus susceptibles de lier la ville de Loudun au nom de Boulliau plutôt qu'au nom de Bullialdus. En revanche, le nom Bullialdus est 7,8 fois plus susceptibles d'être lié, plutôt que Boulliau, à un cratère lunaire [17].

Le monde de la religion, ainsi que la sorcellerie et la superstition, était le milieu dans lequel Bullialdus a vécu sa vie. Néanmoins, la Fig. 3 montre le déclin rapide de concepts tels que *le paradis* et *l'enfer* dans les corpus français et anglais du vivant de Bullialdus, au 17e siècle. Une analyse plus approfondie montre que c'était le cas dans toute l'Europe. Du vivant de Bullialdus, les idées étaient en mouvement en Europe. Les philosophes et les scientifiques ont lutté avec des concepts qui couvraient l'univers mystique et observable (les techniques émergentes renforçaient leur capacité à effectuer des mesures sur le monde physique et à tester des hypothèses). Les Lumières ont émergé en grande partie vers la fin de la vie de Bullialdus, mais lui et d'autres avaient jeté les bases et, par conséquent, apporté des contributions vitales au développement de la société humaine.

L'ASTRONOMIE ET LA GRAVITÉ

Bullialdus deviendra un astronome si accompli qu'il sera reconnu par Johannes Kepler (1571-1630) et Galilée (1564-1642), comme « *l'astronome le plus célèbre de sa génération* », et Robert Hooke (1635-1703) l'appelait le « *Bullialdus instruit et ingénieux* » [18]. Même Isaac Newton, en référence à la loi du carré inverse de la gravité, écrivit à Edmond Halley en 1682 [19] :

« Bullialdus a écrit que toute force respectant le Soleil comme son centre et dépendant de la matière doit être réciproquement dans un rapport dupliqué de la distance du centre ».

C'était la reconnaissance du pas de géant de la perspicacité intellectuelle de Bullialdus qui avait dévoilé la forme de l'une des quatre forces fondamentales de la nature, la gravité. Néanmoins, Bullialdus est largement désigné comme « l'initiateur, et non le l'auteur, de la loi de la gravité en carré inverse » qu'Isaac Newton a ensuite formalisé et fait des observations [20]. Cependant, Newton (1643-1727) dans son célèbre ouvrage (trois livres) *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, publié en 1687, a rendu hommage à Bullialdus pour sa contribution à la théorie de la gravité [21]. Ce sera environ un siècle plus tard que Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806) présentera sa théorie de l'action à distance entre charges électriques [22], montrant que la force électrostatique

14. Gleisner, Marcelo. 2022. *Newton's life was one long search for God.* Big Think, 13.8 - February 2. bigthink.com/13-8/Isaac-newton-search-god/
15. Clark S. 1999. *Thinking with Demons: The Idea of Witchcraft in Early Modern Europe.* Oxford University Press.
16. L'index Google Scholar comprend la plupart des revues et livres universitaires en ligne évalués par des pairs, des documents de conférence, des thèses et des mémoires, des prépublications, des résumés, des rapports techniques et d'autres publications savantes, ainsi que des avis de tribunaux et des brevets.
17. Remarque : l'élément lunaire le "Cratère Bullialdus" a été nommé en son honneur.
18. Gal, Ofer and Raz Chen-Morris. 2005. *The Archaeology of the Inverse Square Law: (2) - The Use and Non-use of Mathematics.* History of Science, vol. 44, p.54.
19. Cohen, I. Bernard and George E. Smith, editors. 2002. *The Cambridge Companion to Newton*, p. 204.
20. Weinberg, Steven. 1972. *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity.* John Wiley & Sons. ISBN-13: 978-0471925675
21. Stanford's Encyclopedia of Philosophy. 2007. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica.*
22. Williams, Richard. 2016. June 1785: Coulomb Measures the Electric Force. APS Physics, June. Volume 25, Number 6.

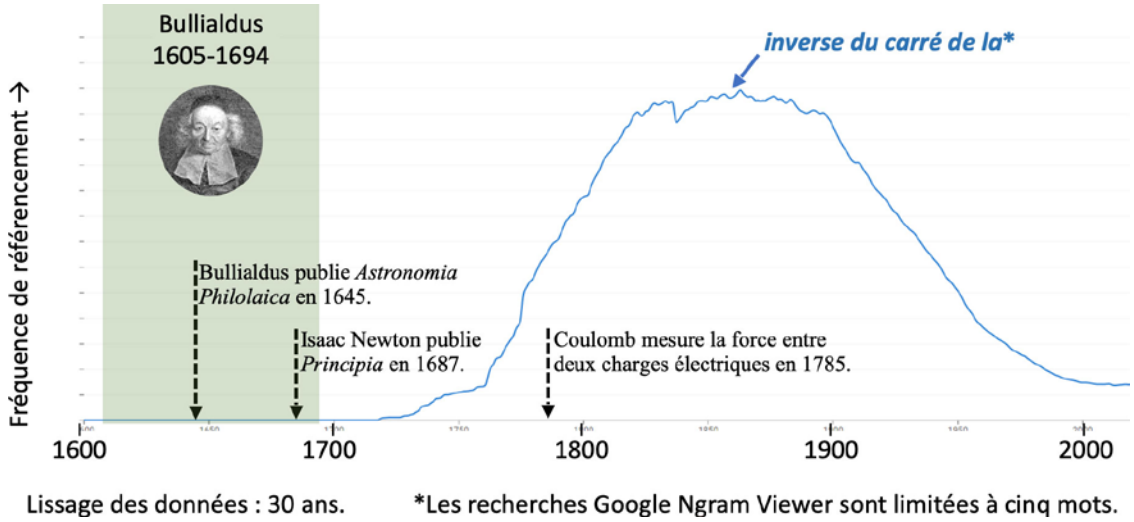


Figure 4 : Fréquence de référencement d'inverse du carré de la dans le corpus français, 1600-2019.*

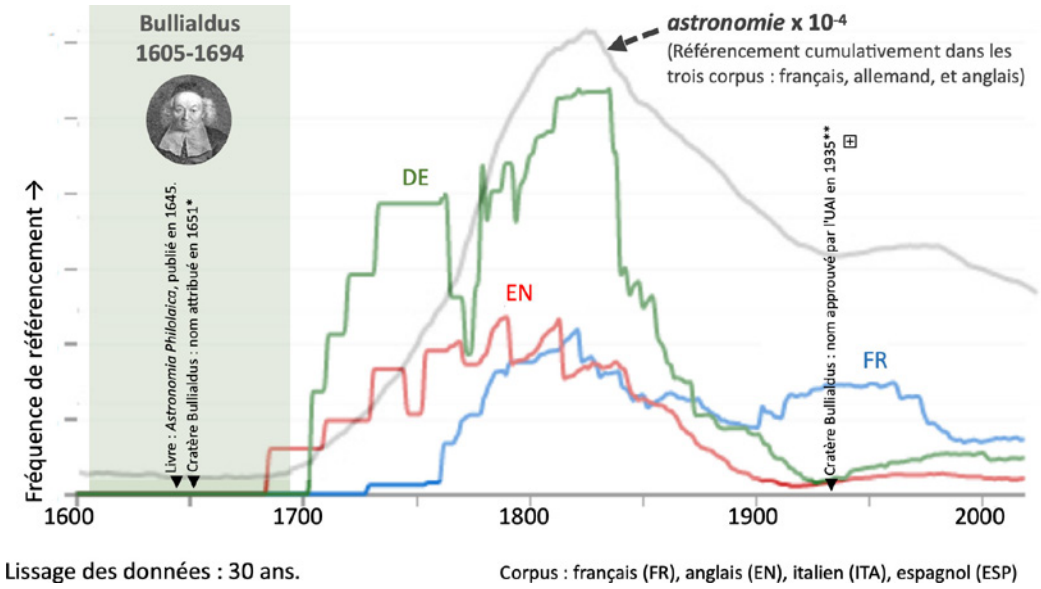
aussi suivait la même forme que celle de la force gravitationnelle même si la force électrostatique est 10^{42} fois plus forte - un chiffre colossal ! Dans ce contexte, la contribution intellectuelle de Bullialdus a eu une importance énorme pour l'avancement de notre compréhension du monde physique. La Fig. 4 montre la croissance de la référence dans la littérature à l'expression *inverse du carré de la (distance,* par implication) au cours des siècles qui suivirent. Notre compréhension et notre exploitation des forces de gravité et d'électricité doivent beaucoup au saut intellectuel de Bullialdus.

Bullialdus publie dans les domaines de l'astronomie et des mathématiques. Son ouvrage le plus célèbre est *Astronomia Philolaica*, publié en 1645 (dans lequel il inclut des observations faites par son père de 1605 à 1608 [23]). Le livre est considéré par certains historiens des sciences modernes comme le livre le plus important en astronomie entre Kepler et Newton (1643-1727) [24].

Bullialdus était parmi les premiers astronomes d'Europe, et en 1651, alors qu'il avait 46 ans, il fut honoré par Giovanni Battista Riccioli qui nomma un cratère lunaire le « *Cratère Bullialdus* »

23. Taussig, S. et A. Turner. 1655. *Mémoire de Gassendi - Vies et célébrations écrites avant 1700.*

24. Newton, Sir Isaac, Edleston, J., and Cope, R. 1970. *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes* (1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315032542



* Giovanni Battista Riccioli. 1651. *Almagestum novum.* Dans cette publication, un élément lunaire est nommé Bullialdus.

** Mary A. Blagg and K. Müller. 1935. *Named Lunar Formations.* Percy Lund, Humphries and Co. Ltd., London. Nom approuvé en 1935 par l'International Astronomical Union (IAU) Working Group for Planetary System Nomenclature (WGPSN). https://planetarynames.wr.usgs.gov/Feature/917

Figure 5 : Fréquence de référencement du livre de Bullialdus, Astronomia Philolaica, dans le contexte du taux de référencement du mot astronomie dans les trois corpus français, allemand, et anglais, 1600-2019.

dans son opus *Almagestum novum* [25] . L'intérêt pour l'astronomie s'est accéléré rapidement au cours du siècle qui a suivi la mort de Bullialdus. Il a été l'un des premiers précurseurs. La croissance de l'intérêt européen pour l'astronomie est clairement mise en évidence dans la Fig. 5 qui présente la fréquence cumulée de référencement du sujet de l'astronomie dans trois corpus européens, d'avant la naissance de Bullialdus à l'ère moderne (à noter pour des raisons de comparaison avec le référencement de livre de Bullialdus, le taux de référencement astronomie est divisé par 10^4). La Fig. 5 montre également le taux de référencement du livre de Bullialdus *Astronomia Philolaica* dans trois corpus. Son livre a laissé ses traces dans la littérature et a continué à être référencé longtemps après sa mort pendant la période de montée rapide de l'astronomie ; et ce n'est que 150 ans après sa mort que les références à ce livre ont commencé à décliner.

REMARQUES FINALES

Bullialdus, un prêtre catholique, astronome et mathématicien, qui a vécu des temps si turbulents, a été attiré par la méthode scientifique qui émergeait comme un outil pour aborder les grandes questions du monde physique. Notre analyse de la littérature numérisée montre clairement comment ses traces dans la poussière de l'histoire ont persisté longtemps après sa vie dans la littérature scientifique, et il faisait partie de ce groupe rare d'esprits qui ont échappé aux limitations des anciens paradigmes et ont ainsi apporté d'importantes contributions à l'illumination européennes.

Le jeune garçon de Loudun, Ismaël Boulliau (plus tard Bullialdus), guidé par son père, a ensuite apporté d'importantes contributions à la pensée européenne. Parmi les réalisations les plus importantes de Bullialdus figurait son élaboration de la loi du carré inverse pour la force de gravité - ce fut un bond intellectuel géant et fut explicitement reconnu par Isaac Newton (1642-1727). Un siècle plus tard, Coulomb découvrira que cette loi fondamentale du carré inverse s'applique également aux charges électriques.

En reconnaissance de son travail astronomique, le cratère lunaire Bullialdus a été nommé en son honneur. Respecté par de nombreux grands scientifiques de son temps, il a laissé sa marque dans la littérature scientifique française et dans divers corpus internationaux. Ces traces ont duré des siècles après sa mort.

Sa longue vie a traversé une période de tension entre la religion et la science, lorsque la sorcellerie était répandue, avec des procès de sorcières notoires se produisant dans de nombreux pays. Pourtant, il a vécu à une époque fascinante qui comprenait une partie de la Révolution Scientifique et une partie de ce qui allait suivre, Les Lumières. Bullialdus était profondément impliqué dans le développement de la pensée à cette époque et faisait partie de ce groupe rare d'esprits qui ont échappé aux limitations des anciens paradigmes.

Mots-clés : Ismaël Boulliau, Bullialdus, Révolution Scientifique, Les Lumières, astronomie, gravité, Big Data, bibliométrie, Google Books, Ngram.

25. Giovanni Battista Riccioli. 1651. Almagestum novum.

Eiffel et la météorologie

PAR **MARTIN PETER**, CONSERVATEUR DE LA SOUFFLERIE EIFFEL

LES MOTIVATIONS D'EIFFEL

Avant tout, il n'est pas vain de s'interroger sur les raisons qui ont amené Gustave Eiffel, le magicien du fer, à s'intéresser à la science de la météorologie jusqu'à en devenir un éminent spécialiste ! C'est sans doute en premier lieu parce que le vent a toujours été pour lui une préoccupation majeure par ses effets sur les constructions métalliques de grande dimension qu'il réalisait. « *Le vent, mon ennemi* » , disait il.

Il venait d'autre part de quitter la direction de sa société de constructions métalliques de Levallois à la suite, notamment de ses déboires lors de la construction du Canal de Panama et sa soif de savoir l'incitait à s'intéresser à cette science encore balbutiante. Il avait 60 ans.

Il estimait enfin que la Tour qui porte son nom, objet de certaines critiques à l'époque, pouvait servir de support pour le développement de sciences et de techniques comme la météorologie. C'est ainsi que pendant 20 ans, Eiffel va se consacrer avec la rigueur et l'opiniâtreté qu'on lui connaît à l'étude du vent et des phénomènes météorologiques tout en menant de front ses activités dans l'aérodynamique.

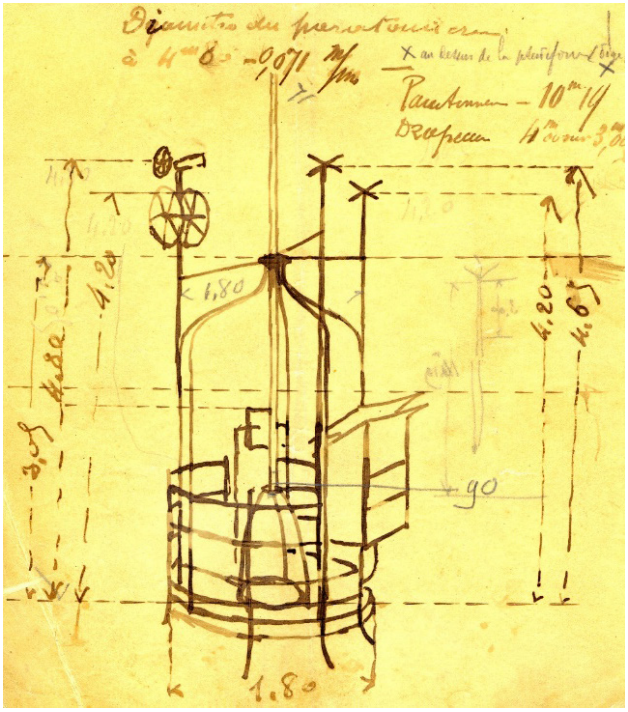
Eiffel exprime à travers ses discours sa volonté de mettre la science au service de la technique. La météorologie doit aider l'aviateur, le paysan ou le marin. C'est pour les hommes que Gustave travaille. Il préconise ainsi de simplifier les pratiques pour que les résultats soient accessibles à tous. Ainsi la météorologie doit donner des informations exploitables immédiatement

CONSTRUCTION DE 5 STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

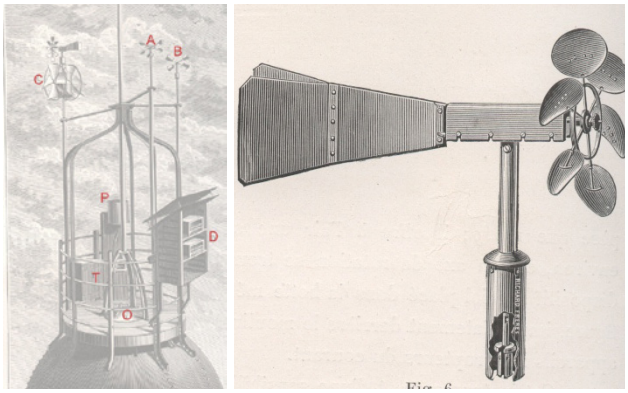
Cinq stations météo vont d'abord être construites, l'une sur la Tour et quatre autres dans des propriétés familiales.

LA STATION DE LA TOUR

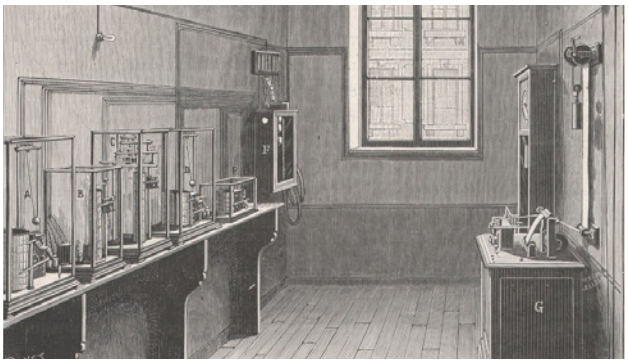
Dès 1889, année de l'inauguration de la Tour, Gustave Eiffel, aidé par son ami Emile Mascart, directeur du Bureau Central de la Météorologie, fait installer à son sommet à 334 mètres d'altitude, un observatoire météorologique. La plate-forme ne mesurait pas plus de 1,60 mètre de diamètre. Cette installation permettait de recueillir des informations sur la température, la pression atmosphérique, la pluviosité, la vitesse et la direction du vent. Ces informations étaient transmises électriquement par un câble qui courait le long de la structure de la Tour puis, passant par les égouts de la ville allait jusqu'au Bureau Central de la météorologie situé dans un immeuble voisin...



Croquis établi par Eiffel pour l'agencement de la station météorologique de la Tour



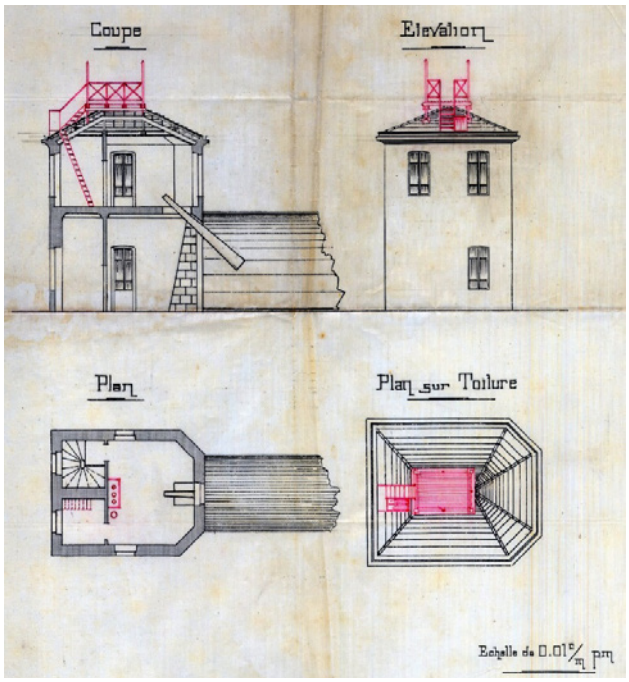
L'observatoire au sommet de la tour – détail l'anémomètre girouette Richard (installé en C).



Salle des enregistrements à la tour Eiffel

LA STATION DE SÈVRES

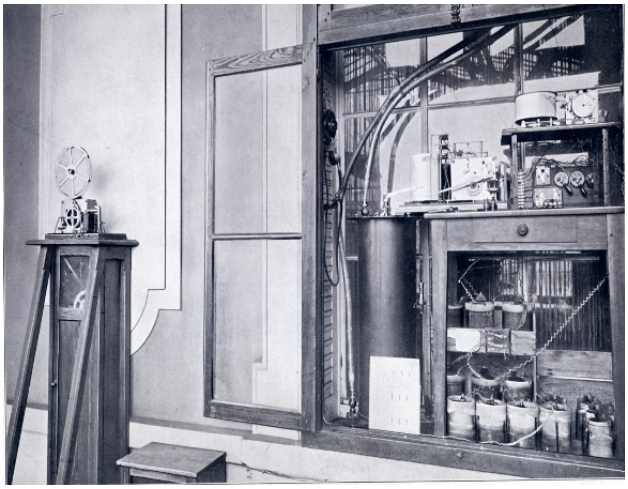
C'est dans son château des Bruyères à Sèvres qu'Eiffel installa en 1891 un second observatoire pilote qui va lui permettre d'étalonner ses équipements de mesure.



Plan de l'observatoire de Sèvres

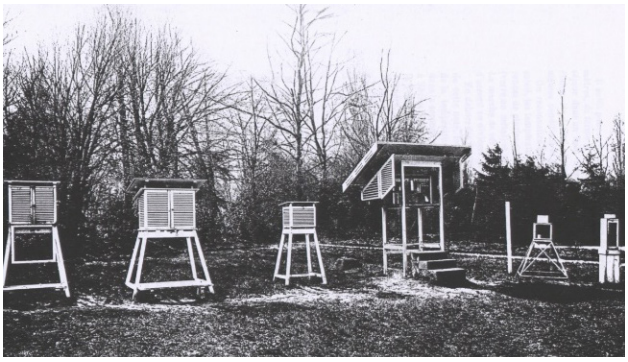


Eiffel et un collaborateur aux Bruyères (Sèvres)



Local des enregistreurs de Sèvres

Il va remettre en cause « l'abri français » qui protège les instruments, lui préférant l'abri anglais qu'il va adapter et qu'on appellera «l'abri de Sèvres » .



Abris et pluviomètres dans le parc de Sèvres

Eiffel publia en 1901 un ouvrage ayant pour titre *« Dix années d'observations météorologiques à Sèvres ».*

LES STATIONS DE BEAULIEU-SUR-MER, VACQUEY ET PLOUMANACH

Puis vint l'installation de trois autres stations d'observation, l'une à Beaulieu-sur-Mer en 1901 où Eiffel possédait une propriété, une autre près de Bordeaux en 1902 sur le domaine de Vacquey qui appartient à son fils Edouard; et en 1905 une troisième, en Bretagne dans le hameau de Ploumanach où vivait son fils Albert. Cette dernière était installée dans sa maison qui s'appelait « Ker Awell », la maison du vent.. Un nom prédestiné !

Ce petit réseau construit sur les terres familiales va lui permettre de faire progresser cette science encore balbutiante, qu'est la prévision du temps.

Pour 1902 et les trois années suivantes, il fit éditer une *« Étude comparée des stations météorologiques de Beaulieu, Sèvres et Vacquey ».*

Il va également publier l'étude comparée des paramètres météorologiques recueillis dans ses stations sous forme de courbes et de graphiques, ce qui va le conduire à étendre cette

étude comparative aux 24 stations du Bureau Central réparties sur le territoire français. Les relevés météo étaient consignés dans des atlas qu'Eiffel publiera pendant 7 ans. Il va en interrompre ensuite la publication car elle s'est révélée trop lourde à gérer. Ces atlas, très appréciés des météorologistes entreront en 1914 dans les archives du Ministère de l'Agriculture, conscient de l'intérêt de ces précieuses informations.

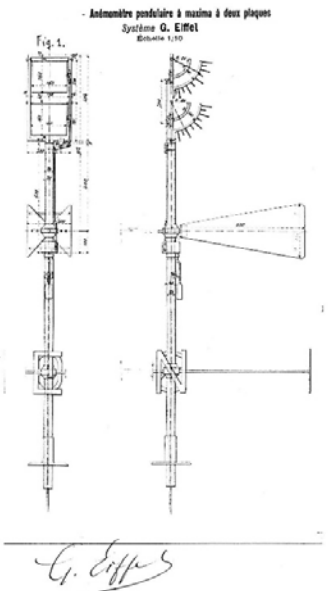


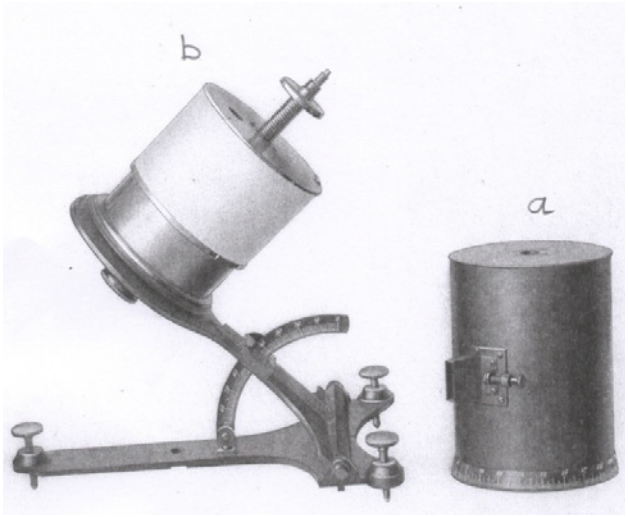
Villa Eiffel à Beaulieu-sur-Mer

LES PRINCIPAUX RÉSULTATS D'EIFFEL

INVENTION DE L'ANÉMOMÈTRE PENDULAIRE

Gustave Eiffel invente aussi un anémomètrependulaire à doubles plaques oscillantes. L'une, légère, pour les vents faibles; l'autre pour les vents forts. Ces plaques sont portées par une Girouette qui les oriente face à la brise. L'appareil mesure la pression maximale du vent entre deux observations. Pour Eiffel, c'est la pression du vent qu'il importe le plus de connaître, soit en raison des services que l'on peut en attendre, soit à cause des dangers que les hommes doivent à tout prix éviter pour sauvegarder des vies et pérenniser leurs bâtiments. Eiffel a également déterminé que plus encore que la vitesse, c'est la direction du vent qui est essentielle





car c'est elle qui détermine l'évolution du temps.

Anémomètre pendulaire

Héliographe photographique

INVENTION DE L'HÉLIOGRAPHE PHOTOGRAPHIQUE

A l'époque, même les météorologues avaient tendance à observer de manière subjective l'état du ciel selon sa nébulosité. On parlait de ciel couvert, nuageux ... Eiffel préconise la mesure de l'insolation qui est « l' inverse » de la nébulosité et du temps d'insolation. Il utilise pour cela des héliographes dont il a d'ailleurs breveté un modèle très performant.

IMPORTANCE DE L'ENREGISTREMENT

Observer et mesurer ne suffisent pas. Les observations personnelles sont toujours sujettes à erreur. Elles échappent au contrôle objectif. Eiffel préconise l'emploi quasi systématique des enregistreurs. Conserver les données recueillies est indispensable aussi bien pour la température que pour les autres phénomènes météorologiques. On peut en tirer des courbes d'évolution et des tracés qui donnent des indications précieuses pour anticiper les phénomènes.

MESURE DE L'HUMIDITÉ DE L'AIR

Eiffel a distingué l'humidité absolue de l'humidité relative. La première mesure le poids de la vapeur d'eau en grammes contenue dans un m3 d'air, la seconde étant le rapport entre l'humidité absolue et l'humidité contenue dans un m3 d'air saturé. Il en a conclu que l'humidité varie comme la température mais indépendamment du vent.

MESURES DE TEMPÉRATURE

Eiffel comparait les minima et maxima quotidiens représentés par des graphiques superposables. Les valeurs moyennes mensuelles ou saisonnières faisaient l'objet de tableaux qu'il appelait « expression de la température ».

EIFFEL, PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ MÉTÉOROLOGIQUE DE FRANCE

Eiffel tira la conclusion de ses expériences l'importance de la variation des phénomènes traduite en courbes et graphiques et non pas les seules mesures ponctuelles. C'est ce constat qu'il a appliqué à la prévision du temps, laquelle est le fondement même de la science météorologique.

Les progrès qu' Eiffel avait permis de réaliser en météorologie furent reconnus par ses pairs au point qu'en 1910, il est nommé Président de la Société Météorologique de France. D'autres distinctions étrangères l'ont également honoré pour ses travaux en météorologie , reconnus et appréciés à travers le monde.

Pour illustrer la pensée de Gustave Eiffel , voici ce qu'il écrivait en 1905 : « *Je n'ai qu'un but, c'est de permettre à toutes les bonnes volontés de se produire dans le domaine de la météorologie. La notation patiente des phénomènes météorologiques , l'étude toujours plus attentive de leurs relations et de leurs causes nous permettront sans doute de nous rapprocher de plus en plus du but auquel doivent tendre tous nos efforts : la connaissance du temps qu'il fera.* »

CONCLUSION

On peut dire que l'ingénieur de la Tour et des nombreuses constructions qui avaient fait sa renommée laissa aux techniques météorologiques des bases qui continuèrent à exister. Eiffel a notamment préconisé :

- la généralisation de l'utilisation d'enregistreurs
- la suppression des observations à l'estime
- l'emploi de l'année météorologique du 1/12 au 30/11 de l'année suivante (correspondant aux saisons) plutôt que l'année civile du 1/01 au 31/12
- l'adoption de l'heure locale, le soleil étant le moteur des phénomènes météorologiques
- l'utilisation de vitesses en km/h au lieu des m/s

Le perfectionnement des systèmes de relevé et d'acquisition des données permit de constituer au fil des années une documentation précieuse. Ces documents, largement diffusés dans les milieux scientifiques, incitent Eiffel à donner une nouvelle ampleur à ces observations. C'est alors qu'en 1906, il décide de faire paraître son premier Atlas Météorologique. Dans cet ouvrage, il donne les graphiques des valeurs quotidiennes, mensuelles, saisonnières et annuelles des éléments météorologiques indispensables dans vingt quatre régions de France, de Dunkerque à Alger.

On peut affirmer que l'œuvre de Eiffel en météorologie n'aura pas été vaine. Ses méthodes ont été appréciées par un grand nombre de spécialistes, tel Georges Barbé, ingénieur en chef de la météorologie qui écrivait en 1925: « *Dans cette voie de l'utilisation pratique de la météorologie, Eiffel a été le précurseur le plus actif et le mieux avisé; la forte impulsion qu'il a donnée dans ce sens au cours de son intervention énergique mais trop courte a contribué pour une large part aux heureux débuts constatés à ce jour.* »

Et Georges Barbé d'ajouter : « *C'est un laurier de plus qui vient s'ajouter à ceux déjà nombreux que l'homme éminent avait su conquérir pendant sa longue existence toute entière consacrée au travail, opiniâtrement et sans défaillance , animée par la forte volonté de réaliser les grandes œuvres auxquelles le nom d'Eiffel restera perpétuellement attaché* ». ■

Audouin Dollfus, astronome du XXe siècle

PAR **BRUNO CHANETZ**, ALUMNI-ONERA, **ALAIN BROC**, ALUMNI-ONERA ET **PHILIPPE JUNG**, 3AF

L'astrophysicien canadien Hubert Reeves [1] 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 aéronaute de haute volée puisqu'il détient toujours le record du monde du plus haut vol habité avec un ballon muni d'un télescope astronomique.



Audouin Dollfus lors de l'envol historique de 1959

SA FORMATION ET LE DÉBUT DE SA CARRIÈRE

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 [2], 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.

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 [3], 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 [4] 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 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* [4]. 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 [5] le confirme dans la voie scientifique.

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 [6]. 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 1er 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 microns (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 leur avait fallu 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.

L'ASCENSION EN BALLON D'AUDOUIN DOLLFUS À 14 000 MÈTRES D'ALTITUDE EN 1959

UN EXPLOIT SPORTIF

Il se trouve qu'une innovation majeure avait été apportée dès 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 ! [7].

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 Béritex de 2,7 m de diamètre sont donc assemblés par groupe de trois, constituant une immense grappe, qui se déploie sur 450 mètres de haut le long d'un câble central, muni de charges 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 !



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

Puis c'est le grand jour, le 22 avril 1959, Denis Rakotoarijimy [8], 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. À 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 [9] 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. À 20h30, il est à 3 000 m d'altitude. À 20h36, il atteint 4 200 m, applique le masque à oxygène. À 20h50 il atteint 6 000 m. La pression atmosphérique a diminué de moitié par rapport à celle du sol. Il doit fermer

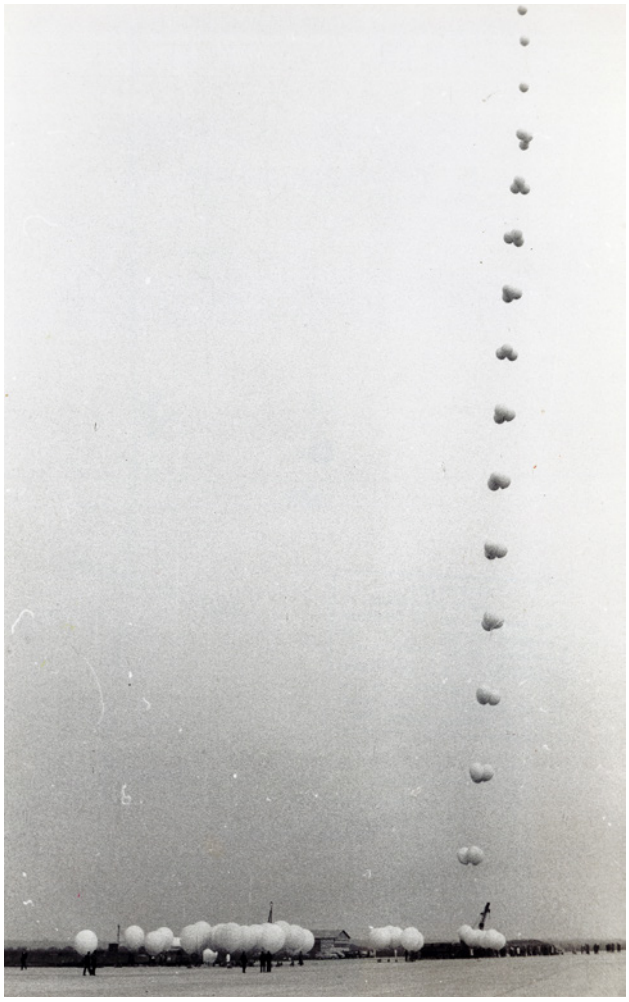
le trou d'homme. Le couvercle est appliqué et adhère aussitôt par dépression. La cabine est alors pressurisée par adjonction d'oxygène pur, ce qui modifie la composition de l'air de la cabine qui contient deux fois moins d'azote que l'air normal, d'où une sensation de bien-être pour l'occupant. À 21h10, Audouin Dollfus savoure un thé chaud à 7 000 m en admirant Versailles. À 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. À 9 000 m d'altitude il teste l'observation de Vénus. À 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. À 22h20, il constate que dix ballons ont éclaté. À 22h30, la montée devenant plus lente, il vidange le second bac d'huile. La montée reprend et la capsule se stabilise à 13 720 mètres d'altitude. À cette altitude, la pression atmosphérique est sept fois moindre que celle du sol. Il effectue alors les mesures sur la Lune. À 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.



Le gonflage à villacoublay

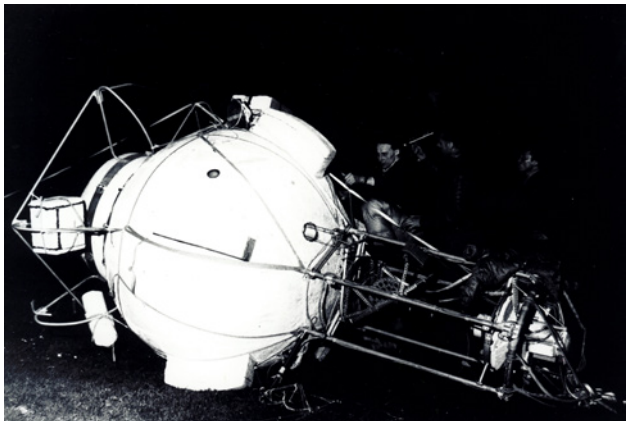
Son programme d'observation étant atteint, il songe à redescendre, active le dispositif de mise à feu, qui doit larguer des ballons dans le haut de la grappe par groupe de six. La mise à feu qui devait se faire au moyen d'une liaison radioélectrique depuis la cabine se révèle inopérante. Pas de bruit 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. À 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. À 1h00, la capsule n'est plus qu'à 3 000 m. À 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 traine 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 presqu'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 2 heures du matin. Reçu par la gendarmerie, il apprend qu'il est à Prémery dans la Nièvre. Après cette nuit intense, il regagne son bureau de Meudon au petit matin, ainsi que le raconte Denis Rakotoarijimy [10] : *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.*



Le départ grappes au sol et en vol

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 [9]. 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 [4].*



Arrivée de nuit dans la Nièvre

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 maniables ! 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 …* » *[11].*

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 mètres 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* ». *[8]*

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 [12], très monochromatique et très lumineux) éclairé par un télescope de 50 cm de diamètre et réglé pour isoler la forte bande à 1,4 µm de la vapeur d'eau [13]. 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 [7].

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 mètres d'altitude. En effet, un anticyclone s'est installé sur l'Europe, et une dépression sur la Finlande. En résulte un fort vent du nord, un air très sec et une température de -30°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 accroitre 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* » *[15].*

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].*

LA SUITE DE LA CARRIÈRE D'AUDOUIN DOLLFUS

SA CONTRIBUTION À LA CONQUÊTE DE LA LUNE ET DE MARS

Le 4 octobre 1957 était intervenu le coup de tonnerre de Spoutnik 1, les Soviétiques - et pas les Américains - 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 simple survol le 6 décembre avec *Pioneer III*. Mais là encore, c'est l'URSS, après trois échecs secrets, qui 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, c'est encore l'URSS qui lance le premier homme dans l'espace, Youri Gagarine le 12 avril 1961. Six semaines plus tard, Kennedy lance le 25 mai le programme le plus incroyable de l'histoire, mettant la barre suffisamment haute pour être certain d'établir la supériorité du capitalisme sur le communisme, Apollo, un homme sur la Lune avant la fin de la décennie.

L'argent coule dès lors à flots. 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.

A commencer par le nouveau coup de tonnerre du 14 décembre 1962, lorsque 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° C en altitude, impliquant de probables température d'environ 500°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 2è 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 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 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 [16]. 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 [17]. Kuiper connaissait d'ailleurs Lyot, et reçut la Médaille Janssen de la SAF en 1947.

Puis en 1956 il annonce, le premier, que le sol lunaire est un basalte pulvérisé en fine poussière. Là encore, il réalise un échantillon afin de corréler ses mesures. 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, l'un des grands scientifiques de l'histoire, 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 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)... Lors du 6è congrès à Copenhague le 2 août 1955 il eût d'ailleurs fallu mieux écouter, après l'annonce du programme de satellite Vanguard par les USA, celle du Professeur Sedov au sujet d'un futur satellite soviétique...

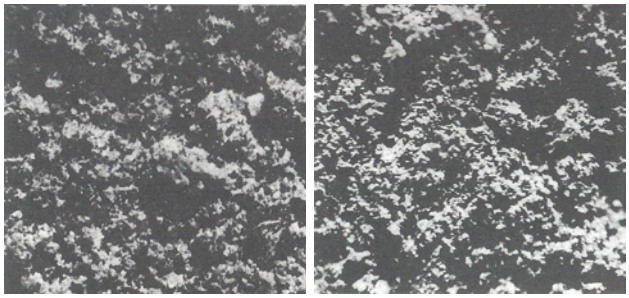
Après la sélection le 11 juillet 1962 de la technique du Lunar Orbital Rendez-vous (LOR) pour le programme Apollo, et l'attribution du contrat correspondant pour le Lunar Excursion Module (rebaptisé Lunar Module LM dès 1966) à Grumman le 7 novembre suivant, il est temps de se préoccuper de la nature 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 1996 la première de cinq sondes Hughes Surveyor réalise le tout premier alunissage en douceur, confirmant qu'il n'y a pas les sables mouvants prédits par les Cassandres mais 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* [18]. 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 Uilization 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 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 polarimètre! Et de rajouter avec sa modestie habituelle 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. Dollfus en est naturellement un des *Principal Investigators* (PI) jusqu'en 1995. 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...



Prédiction polarimétrique de 1956 (en haut) et échanillon Apollo 11 de 1969 (en bas) [Audouin Dollfus, « 50 ans d'Astronomie - Comprendre l'Univers ! » (EDP Sciences)]

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 est bien sûr destinataire d'échantillon. 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, plus performant que ceux d'*Apollo* !



Diplôme NASA du 19 mars 1979 [collection Ariane Dollfus]

Un aspect fascinant est que, malgré le faible volume récupéré, l'échantillon soviétique est un cadeau personnel, sans aucune contrainte attachée, au contraire des règles très strictes imposées par la NASA sur la documentation et les comptes rendus relatifs à ses 386 kg de sol !

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 tâche jaune qu'Audouin Dollfus identifie immédiatement comme une tempête, telle qu'il en avait déjà observée une dès 1956. Sauf que quatre mois plus tard le premier orbiteur martien, Mariner 9, se satellise le 13 novembre avec plein succès - avant d'être la risée des media avec ses photos complètement floues. 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 de Dollfus - visiblement malgré Apollo, elle n'a pas encore assimilé l'énorme avance française, à 100 millions de kilomètres de distance, grâce à la polarimétrie!

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 Kosmichesky Isledovanyi*) 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 - puis c'est le silence, les militaires ayant pris la main...Ce n'est qu'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 quelques 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 !

Avoir connu Audouin Dollfus lorsqu'il nous fit l'honneur de participer au Jury du Prix Albert Ducrocq de la 3AF, présidé par le ministre Hubert Curien, fut un privilège rare. Le plus grand vulgarisateur spatial de l'histoire, créateur du Cosmos Club de France, Ducrocq était ami avec Curien, et ami et voisin d'Audouin.

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.

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 1er 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.

« 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 apparait 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), Willian Bond (Hyperion – 1849), William Pickering (Phoébé – 1898).

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 1er novembre 1979 le nouvel anneau, qui se dénommera « anneau E ». Ses observations ont été confirmées entre autres par les sondes spatiales *Voyager*.

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 devions donc monter une surveillance polarimétrique »* [15]. L'analyse polarimétrique a ainsi permis de caractériser la surface mais également ses nuages.

CONCLUSION

Nous conclurons 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.

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

Références bibliographiques

[1] Reeves Hubert, Interview Astronomie/Ecologie http://www.astropolis.fr/articles/Biographies-des-grands-savants-et-astronomes/Audouin-Dollfus/astronomie-Audouin-Dollfus.html
[2] Robert Feuilloy, *« Les dirigeables de la Marine française (1915-1937)»* (Ed. ARDHAN, décembre 2008)
[3] Lucien Robineau - ANAE *« Les Français du ciel »* (Le Cherche Midi, 2005)
[4] Tensi Jean, Audouin Dollfus, *l'homme qui voulait s'approcher des étoiles*, interview du 17 mai 2010, film Université de Poitiers, ACEBD et 3AF (2011)
[5] Audouin Dollfus (Encyclopaedia Universalis)
[6] Bibliographical note (*International Academy of Astronautics*, 31 mai 1998)
[7] Jean Piccard *»Egg shell landing»* (Time 16 août 1937)
[8] *Audouin Dollfus, 50 ans d'Astronomie,* EDP Sciences, 1998
[9] Hartmann Gérard, *L'exploit du 22 avril 1959* https://www.hydroretro.net/etudegh/lexploitdu22avril1959.pdf
[10] Denis Rakotoarijimy Denis et Kaftan Emilie, site de l'Observatoire de Paris https://www.obspm.fr/22-avril-1959-l-ascension-en-ballon-d-audouin-dollfus.html
[11] Pierre Léna, communication privée
[12] Bernard Lyot, *Le filtre monochromatique polarisant et ses applications en physique solaire, Annales d'Astrophysique,* Vol. 7, p. 31
[13] Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t.261, 1965
[14] *Audouin Dollfus, Les autres mondes*, Ed. Belin, 2008
[15] Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, t.256, 1963
[16] Audouin Dollfus, *«50 ans d'Astronomie - Comprendre l'Univers !»* (EDP Sciences)
[17] https://www.astrofiles.net/astronomie-audouin-dollfus
[18] William David Compton, *«Where no man has gone before - A history of Apollo Lunar Exploration Missions»* (NASA SP-4214)

De la loi de la gravitation universelle à MICROSCOPE

PAR **MANUEL RODRIGUES**, RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DE LA MISSION MICROSCOPE, ONERA

Manuel Rodrigues a reçu le Prix Servant de l'Académie des Sciences en 2019.

UN PEU D'HISTOIRE

En 1638, Galilée décrit la première loi mathématique de la chute libre des corps dans son « *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* » posant ainsi les fondements d'une physique décrite par les mathématiques. Il observe alors que les corps chutent indépendamment de leur masse ou de leur composition.

En 1687, Newton publie son ouvrage « Philosophiæ naturalis principia mathematica » dans lequel il décrit les lois de gravitation universelle. C'est une théorie qui explique avec précision le mouvement des planètes du système solaire, des satellites, des objets lancés depuis le sol terrestre ou des pommes qui tombent. Avec précision ? Presque, car une énigme va demeurer au sujet de Mercure et alimenter les débuts du XX^{e} siècle.

En effet, le périhélie (le point de l'orbite le plus éloigné du soleil) de Mercure se décale à chaque révolution de 5599 arsec (1,5553 degré). Hors la loi de Newton prévoit un décalage de 5554 arcsec. Cette avance du périhélie de Mercure reste insoluble jusqu'à ce qu'Einstein ne propose en 1915 une description de l'univers totalement révolutionnaire et contre intuitive (Einstein, 1916): la loi de gravitation n'est qu'une manifestation de la structure géométrique de l'espace et du temps qui se déforme d'autant plus que l'on s'approche d'objets massiques. C'est le cas de Mercure à proximité du Soleil qui voit sa trajectoire infléchie par la courbure de l'espace-temps imposée par notre astre. Avec sa nouvelle théorie de la gravitation, une généralisation de la relativité restreinte, Einstein calcule que le périhélie devrait avoir un décalage de 5599,7+/-0.04 arcsec par révolution, parfaitement en accord avec les observations. Une autre observation vient confirmer cette nouvelle théorie : sur l'ile du Prince, au large de la Guinée, en 1919, Eddington confirme par l'expérience que la trajectoire des rayons lumineux d'étoiles lointaines est déviée par le Soleil comme le prédit la théorie de la Relativité Générale.

LE PRINCIPE D'ÉQUIVALENCE ET LA GRAVITATION

C'est le départ d'un bouleversement retentissant dans le domaine de la physique. Cette théorie développée par Einstein prend racine dans un fait divers : la chute d'un ouvrier chutant d'un échafaudage avec ses outils. Einstein imagina alors par la pensée une expérience de physique dans un ascenseur en chute libre et prit conscience que la gravité « s'annule » par le mouvement accéléré. Il posa alors comme principe, l'équivalence entre mouvement accéléré et gravité : en d'autres termes l'universalité de la chute libre des corps, ou l'équivalence de la masse gravitationnelle et de la masse inertielle. Ce principe bien qu'observé depuis Galilée n'a jamais été expliqué, Einstein l'utilisa alors comme pierre fondatrice de sa théorie. Il sera testé par Bessel en 1830, puis par Eötvös en 1886 et par Dicke en 1963. Avec une précision de plus en plus grande, le test du principe d'équivalence (PE) passe un cap à partir des années 90 avec deux méthodes : 1) l'analyse par tir laser depuis la Terre de la trajectoire de la Lune dans son mouvement avec la Terre autour du Soleil : 2) l'utilisation d'un pendule de torsion dont on va analyser son angle ou ses oscillations en fonction du champ de gravité du Soleil ou de la Terre. En 2012, ces deux expériences approchent une sensibilité proche de 2.10^{-13} (Wagner, 2012 et Williams, 2012). En 2018, l'amélioration des analyses de la trajectoire de la Lune permet d'atteindre 5.10^{-14} (Viswanathan, 2018 et Hofmann, 2018).

Cette course à la précision est motivée par la recherche du Graal en physique : la théorie unificatrice de toutes les interactions. En effet cette unification bute sur un paradoxe apparent : le modèle standard réunissant toutes les forces fondamentales (électromagnétique, forte et faible) semble incompatible avec la gravitation. Les tentatives de modification du modèle standard ou de la relativité générale pour élaborer une théorie unifiée conduisent à la violation du principe d'équivalence (PE). Dans les années 2000, Damour évalue possible une violation à 10^{-14} avec un certain paramétrage de la théorie des cordes (Damour, 2002), une valeur encore bien en dessous de ce qui est détectée par les expériences de pendule de torsion ou tir laser Terre-Lune. Mais les niveaux de violation sont dans la plupart des autres théories bien en deçà. Cela démontre l'intérêt d'une expérience qui apporte un gain significatif de performance.

LA MISSION MICROSCOPE

C'est dans ce contexte qu'en 1999, l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA) et l'ONERA propose au CNES la mission MICROSCOPE : test du PE à bord d'un microsatellite de la filière MYRIADE (Touboul, 2001). Le satellite est lancé en avril 2016 et passivé en octobre 2018 pour amorcer sa longue désorbitation qui devrait durer 25 ans. Le satellite comprend un seul instrument: un double accéléromètre différentiel, développé par l'ONERA expert mondial dans le domaine de la mesure précise de l'accélération dans l'espace.

Cette mission est le fruit d'une coopération internationale sous maitrise d'œuvre du CNES qui a également fourni le lancement et assuré la gestion du segment sol. L'ESA a fourni les propulseurs, le DLR a financé le développement des masses d'épreuves des

accéléromètres par le PTB et les travaux de l'équipe du laboratoire de microgravité ZARM à Brème où l'instrument a été testé en chute libre. L'ONERA en collaboration avec l'OCA a développé le centre de mission scientifique et les outils de traitement des données.

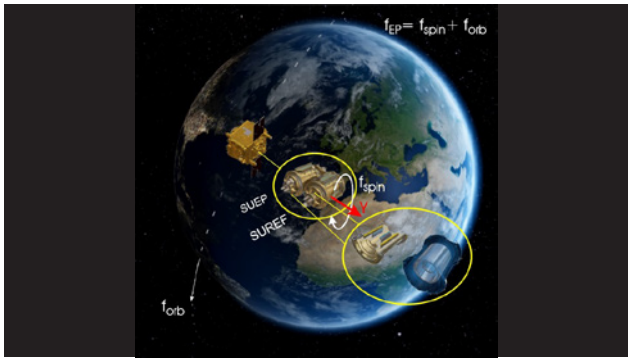
L'instrument est constitué de deux paires d'accéléromètres électrostatiques concentriques. Grace à la compensation de traînée du satellite et au contrôle fin de l'attitude du satellite, la trajectoire de MICROSCOPE suit une « géodésique », c'est-à-dire qu'il est en chute libre permanente. L'expérience consiste à comparer les accélérations de deux masses tests concentriques dans leur mouvement de « chute libre ». On établit alors le paramètre d'Eötvös pour les masses 1 et 2 :

$$\delta(1,2) = \frac{a1 - a2}{\frac{1}{2}(a1 + a2)} = \frac{\frac{mg1}{mi1} - \frac{mg2}{mi2}}{\frac{1}{2}\left(\frac{mg1}{mi1} + \frac{mg2}{mi2}\right)}$$

représentant la différence d'accélération relative des deux masses ou la différence relative des ratios entre masse « grave » et masse « inerte » pour les deux masses.

La première paire d'accéléromètre comporte deux masses de matériaux identiques : un alliage de platine avec 10% de rhodium ; c'est l'accéléromètre de référence, SUREF, pour lequel la différence d'accélération attendue est nulle (le paramètre d'Eötvös est nul). La seconde paire comporte deux masses de matériaux différents : alliage de platine pour la masse interne et alliage de titane (TA6V) pour la masse externe ; c'est l'accéléromètre, SUEP, avec lequel on souhaite vérifier le principe d'équivalence.

Les accéléromètres sont cylindriques et l'axe du cylindre est l'axe privilégié de mesure. Dans son mouvement orbital, le vecteur champ de gravité est projeté sur cet axe avec un taux de modulation égale à la fréquence orbitale pour un pointage inertiel du satellite. Lorsque le satellite est en rotation autour de l'axe normal à l'orbite, le taux de modulation augmente autorisant une fréquence plus élevée pour la mesure de l'accélération, dans une gamme de fréquence plus favorable à la performance de l'accéléromètre. Le satellite MICROSCOPE orbite en moyenne à 710 km d'altitude où l'intensité de gravité est de 7,9m/s.



Visuel du satellite MICROSCOPE en orbite autour de la Terre avec un schéma des deux paires d'accéléromètres SUEP et SUREF. (crédit CNES / Virtual_IT2017)

L'objectif de performance de la mission est de réaliser un test du PE avec une sensibilité de 10^{-15}, soit mesurer une différence d'accélération de $7{,}9.10^{-15}$m/s². De manière imagée, le ratio de 10^{-15} correspond à la variation relative de poids d'un supertanker de 500 000 tonnes quand une mouche drosophile de 0,5mg se pose dessus.

LES PREMIERS RÉSULTATS DE LA MISSION MICROSCOPE

Publiés en décembre 2017 dans la prestigieuse revue Physical Review Letters, les premiers résultats montrent que le principe d'équivalence est toujours valide à un niveau de $1{,}9 \times 10^{-14}$ (Touboul, 2017). Ces résultats reposent sur le traitement de seulement 7% des données aujourd'hui disponible.

Depuis le traitement de l'ensemble des données sur le SUEP et SUREF a permis de réduire les erreurs statistiques et systématiques pour se rapprocher de la sensibilité objective. Ces traitements ont demandé de gros efforts d'analyse des craquements du satellite qui entrent en compétition avec le signal gravitationnel recherché à la fréquence de mesure. Des simulations, des modélisations des craquements, des processus de détection et d'élimination des craquements dans les données ont été menés. Tous ces processus ont été validés et ont permis la soumission des résultats finaux dans les revues Physical Review Letters et Classical Quantum Gravity. Le processus de revue des articles est en cours par des comités scientifiques et une fois terminé donnera lieu à une annonce officielle.

Acronymes :

MICROSCOPE : Micro Satellite à traînée Compensée pour l'Observation du Principe d'Equivalence
DLR : Agence aérospatiale allemande
PTB : agence nationale de métrologie (Allemagne)
BIPM : Bureau International des Poids et Mesures
ZARM : Centre des technologies spatiales appliquées et de microgravité (Brème, Allemagne)

Références :

A. Einstein, Die grundlage der allgemeinen relativitätstheorie, Ann. Phys. (Berlin) 49, 252 (1916); English translation in A. Engel and E. Schucking, The Collected Papers of Albert Einstein (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1989), Vol. 6, doc. 30.
P. Touboul, M. Rodrigues, G. Métris, and B. Tatry, MICROSCOPE, testing the equivalence principle in space, C. R. Acad. Sci. Paris Ser. IV 2, 1271 (2001).
Damour T, Piazza F and Veneziano G; Runaway Dilaton and Equivalence Principle Violations, Physical Review Letters 89, 081601 (2002).
T. A. Wagner, S. Schlamminger, J. H. Gundlach, and E. G. Adelberger, Torsion-balance tests of the weak equivalence principle, Classical Quantum Gravity 29, 184002 (2012).
J. G.Williams, S. G. Turyshev, and D. H. Boggs, Lunar laser ranging tests of the equivalence principle, Classical Quantum Gravity 29, 184004 (2012).
P. Touboul et al. ; MICROSCOPE Mission: First Results of a Space Test of the Equivalence Principle, Phys. Rev. Lett. 119, 231101 (2017).
Viswanathan V, Fienga A, Minazzoli O, Bernus L, Laskar J and Gastineau; The new lunar ephemeris INPOP17a and its application to fundamental physics, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 476, Issue 2, p.1877-1888 (2018).

Optique adaptative et télescopes géants

PAR **THIERRY FUSCO**, DIRECTEUR DE RECHERCHE, ONERA

Thierry Fusco a obtenu, en 2009, le Prix Fabry-de Gramont de la Société Française d'Optique, et en 2020, le Grand prix scientifique Charles Defforey de l'Académie des Sciences (Institut de France), ainsi que le Prix de l'excellence scientifique de la 3AF.

LES TÉLESCOPES ASTRONOMIQUES : UNE COURSE AU GIGANTISME DEPUIS PLUS DE 4 SIÈCLES

Depuis les premières observations de Galilée en 1609 avec la toute première lunette astronomique de quelques centimètres de diamètre, conçue par l'opticien néerlandais Hans Lippershey, la taille des instruments d'observation (lunettes utilisant des lentilles puis télescopes utilisant des miroirs) n'a cessé de croître pour atteindre aujourd'hui des diamètres de l'ordre de 10 mètres avec en projet, à l'horizon 2030, des télescopes géants atteignant des diamètres proches de 40m.

Cette croissance importante (quasi logarithmique en fonction du temps) a deux principaux buts : augmenter le flux total collecté, réduisant par là même le bruit de photons qui représente la limite fondamentale de toute observation et améliorer la résolution angulaire sur l'objet observé. Si le premier objectif est atteint (le nombre de photons collectés augmente avec le carré du diamètre du télescope), il n'en est, hélas, pas de même pour la résolution angulaire. En effet, la présence de l'atmosphère terrestre limite de manière importante cette résolution. Cette dernière ne dépasse jamais la résolution théorique d'un télescope de quelques dizaines de centimètres aux longueurs d'onde optique et ce, quel que soit le diamètre considéré [1]. L'onde optique émise par l'objet d'intérêt est perturbée par les fluctuations d'indice de réfraction de l'air dans l'atmosphère. Ces perturbations entraînent un élargissement de la tache image au foyer du télescope ce qui introduit, *in fine*, une perte sensible de performance. Ainsi la résolution obtenue, dépendant de la longueur d'onde d'observation, peut être plusieurs dizaines de fois inférieures à la résolution théorique attendue et constitue une limitation fondamentale à l'observation astronomique au sol.

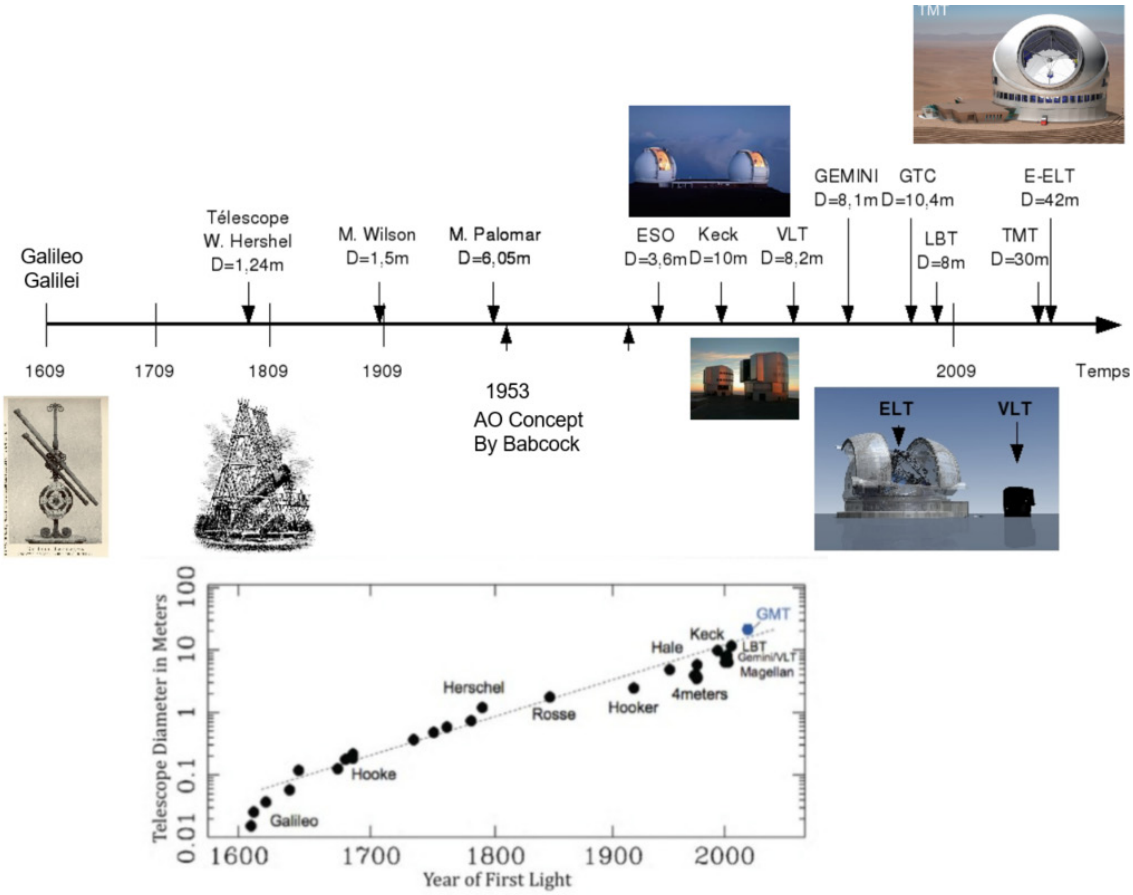


Fig. 1 : Évolution du diamètre des télescopes depuis les premières observations de Galilée

L'OPTIQUE ADAPTATIVE, UNE RÉVOLUTION POUR L'ASTRONOMIE

En 1953, Horace Babcock [2] propose une technique, appelée Optique Adaptative (OA), pour compenser partiellement cet effet en temps réel. Tout d'abord réservée au domaine militaire (en particulier pour la focalisation de faisceau Laser), il aura fallu attendre plus de 35 ans pour que cette idée soit mise en pratique en astronomie, sous l'impulsion de Pierre Léna à l'Observatoire de Paris et Gérard Rousset à l'ONERA sur le télescope de 1,52 m de l'Observatoire de Haute Provence puis sur celui de 3,6 m de l'*European Southern Observatory* (ESO) à la Silla (Chili) [3].

Aujourd'hui, tous les grands télescopes au monde, de la classe des 8-10 m de diamètre, sont équipés d'OA. Dans ces systèmes temps réels, qui fonctionnent en boucle fermée à l'aide d'une étoile appelée "étoile guide", l'onde réfléchie sur le miroir déformable est envoyée à un analyseur de surface d'onde (ASO). Les aberrations résiduelles mesurées par l'ASO sont utilisées pour contrôler le miroir déformable placé généralement dans un plan pupillaire. L'OA est, sans aucun doute, LA solution pour l'observation astronomique à haute résolution depuis le sol et demeure un complément indispensable aux observatoires spatiaux (Hubble, James Webb Space Telescope ou JWST, etc.). Tous les nouveaux projets de télescopes incluent désormais l'OA dès les tout premiers stades de leur conception, certains comme le futur *European-Extremely Large Telescope* (ELT) de 39 m de diamètre de ESO intègrent l'OA dans le télescope lui-même en amont des instruments scientifiques.

Ainsi, depuis plus de trente ans, l'OA trouve dans l'astronomie depuis le sol aux longueurs d'onde visibles et infrarouges un domaine applicatif idéal, avec des retombées astronomiques et astrophysiques importantes, comme les mesures ultra-précises d'orbites d'étoiles proches pour étudier les caractéristiques physiques du trou noir central de notre Galaxie (prix Nobel de physique 2020 [1]) ou encore la détection directe et la caractérisation spectrale de planètes extrasolaires [2].

SPHERE-SAXO, LE SYSTÈME D'OA POUR L'ASTRONOMIE LE PLUS PERFORMANT AU MONDE

Après le succès de NAOS [4], la première OA généraliste du VLT *(Very Large Telescope)*, qui a permis une première démocratisation du concept pour l'astronomie avec, à son actif, un rôle clé dans des découvertes majeures comme la toute première image d'une planète extrasolaire ou encore la mesure précise de la masse du trou noir centrale de notre Galaxie, la seconde génération d'instruments assistés par OA a eu pour ambition de repousser les limites de qualités des images et de leur contraste. Ainsi le 4 mai 2014, après plus de 10 ans de développements menés conjointement entre les laboratoires CNRS (observatoire de Grenoble, Marseille et Paris), l'ONERA et des partenaires Européens, Allemands (Max Planck Institute), Italiens (INAF), Suisses (ETH Zurich) et coordonnés par l'ESO, l'instrument SPHERE *(Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch)* pour le VLT a vu le jour. Dédié à la recherche et la caractérisation de planètes extrasolaires SPHERE [5] et son système d'OA (dit extrême) SAXO [6, 7] intègre alors les innovations conceptuelles et technologiques les plus avancées dans le domaine (voir Figures 1 à 3). Avec sa correction quasi parfaite des effets de la turbulence permettant d'atteindre la limite de diffraction d'un télescope de 8 m jusqu'aux longueurs d'onde visibles (soit moins de 20 millisecondes d'arc équivalent à 90 nanoradians), SPHERE-SAXO est alors sans nulle doute le système d'OA le plus performant au monde. Avec ce type de système, il est possible de détecter un objet (idéalement une planète) très faible, proche d'une étoile brillante (typiquement un rapport de flux d'un million pour une séparation angulaire de l'ordre de quelques dixièmes de seconde d'arc). Les ingrédients clés pour permettre un tel exploit sont :

- L'analyse du front d'onde : les approches d'analyse de front d'onde conventionnelles, telles que mises en œuvre sur NAOS, par exemple, ne fonctionnent pas assez bien pour répondre aux exigences SPHERE en termes de précision et de sensibilité ultimes. Il a donc fallu proposer des modifications de différents concepts (notamment du Shack-Hartmann) afin d'améliorer les performances ultimes et de gagner l'ordre de grandeur nécessaire pour atteindre les spécifications imposées par l'imagerie dynamique élevée [8].
- Le contrôle : prise en compte et correction des vibrations du télescope [9].
- La calibration du système : pré-compensation des aberrations non vues par le système AO, entre autres) [10].

Depuis son ouverture à la communauté en 2015, SPHERE a permis une production scientifique d'ampleur avec plus de 200 publications dans des revues prestigieuses (Nature, A&A, MNRAS etc.).



Fig. 2 : L'instrument SPHERE installé au foyer Nasmyth du VLT

L'expérience unique de SPHERE-SAXO a permis d'identifier les nouveaux défis et les nouvelles voies de développement pour les futurs instruments d'imagerie et de caractérisation des planètes extrasolaires. En particulier, elle a permis de lancer de nouvelles

1. https://www.defense.gouv.fr/english/actualites/articles/un-instrument-d-optique-concu-par-l-onera-au-coeur-des-observations-d-un-des-laureats-du-prix-nobel-de-physique-2020
2. https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/laureats-du-grand-prix-scientifique-de-la-fondation-charles-defforey

recherches concernant l'analyse de surfaces d'onde pour développer de nouveaux dispositifs ultrasensibles (domaine de très faible nombre de photons) et ultra précis (précision nanométrique) [11].

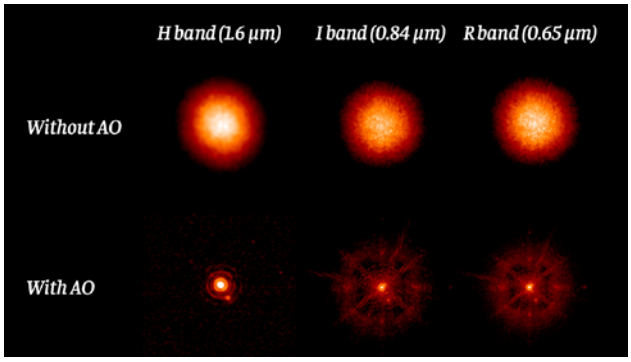


Fig. 3 : Les performances de SPHERE obtenues sur le ciel du proche IR (bande H) au visible (bande R). La limite de diffraction du télescope est atteinte dans tous les cas.

Pousser les recherches dans les domaines de l'OA, combiner des concepts optiques innovants avec des techniques de détection et de contrôle de plus en plus sophistiquées, le tout étant lié et optimisé avec les approches les plus avancées d'intelligence artificielle et d'apprentissage machine profond nous permettra de gagner les 5 ordres de grandeurs nécessaires à la détection d'exo-terres à l'horizon 2035 (avec la 2ème génération d'instruments ELT, voir ci-dessous).

LES NOUVEAUX TÉLESCOPES GÉANTS : NOUVEAUX DÉFIS, NOUVELLES SOLUTIONS

La prochaine décennie verra l'avènement des télescopes géants. Avec un diamètre pouvant aller jusqu'à 39 m pour le télescopes européen (ELT), ces télescopes [12,13], ayant une surface collectrice près de 13 fois supérieure à la génération actuelle, vont révolutionner l'astronomie au sol. La diversité des thèmes astrophysiques et des besoins d'observation associés fait de l'OA un élément indispensable qui se situe maintenant au cœur même de ces télescopes (voir Figure 5). Au-delà de la correction de la turbulence atmosphérique elle-même, le nouveau défi à relever sera la capacité à gérer les défauts introduits par le télescope lui-même. Ce dernier aura un dôme de la taille d'un stade de football avec 74 m de haut sur 89 m de base au sol pour une masse totale de près de 5000 tonnes, le tout rempli de structures qui génèreront leur propre turbulence locale. Le miroir primaire sera composé 798 segments hexagonaux de 1,4 m de diamètre qu'il faudra positionner les uns par rapport aux autres avec des précisions sub-micrométriques. L'ELT intègre un miroir déformable de 4,2 m de diamètre composé de près de 5000 actionneurs fonctionnant à plus d'un kilohertz. La combinaison de la taille titanesque des optiques et des besoins extrêmes en termes de précision (nanométrique) font de l'optique adaptative pour les ELT un challenge scientifique, technologique et instrumental immense. Les problématiques conceptuelles combinées aux contraintes d'ingénierie sont aujourd'hui le quotidien des chercheurs, ingénieurs et techniciens qui travaillent à la conception et la réalisation des futurs instruments d'Optique Adaptative de l'ELT. Pour deux de ces instruments (HARMONI et MOSAIC), la réalisation de l'OA est une aventure commune entre le LAM (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille) et l'ONERA qui ont uni leurs efforts pour répondre à ce défi hors-norme [14].

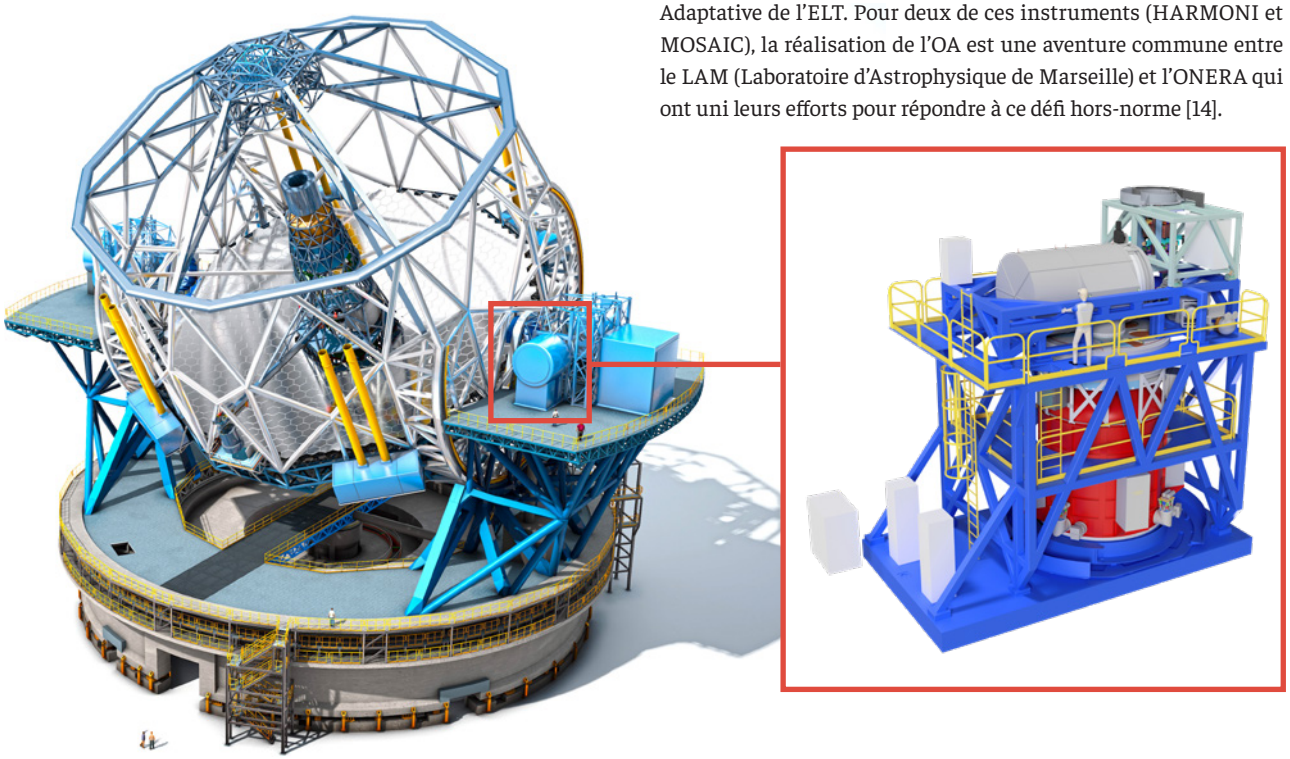


Fig. 4 : (Gauche) l'ELT : un Dôme de 74 m de haut, une base de 89m de diamètre, 5000 tonnes, un miroir primaire de 39m de diamètre composé de 798 segments hexagonaux de 1.4m positionnés avec une précision sub-micrométrique. (Droite) L'instrument HARMONI 10x5x8 m3, 35 tonnes. Spectro-Imageur de première lumière de l'ELT. Instrument à haute résolution spatiale et spectrale. Il intègre 2 systèmes d'OA (dont un tomographique Laser fonctionnant avec 6 étoiles artificielles) et un imageur hyper-spectral fonctionnant dans le visible et dans l'Infra-Rouge (de 0.45 à 2.2 microns) qui allie résolution spatiale (jusqu'à des pixels de 4 millisecondes d'arc) et spectrale (avec une résolution pouvant évoluer entre 3000 et 20000 selon les besoins)

QUELQUES PERSPECTIVES

Le domaine de l'OA pour l'astronomie est extrêmement actif. Ainsi, les sujets abordés depuis 20 ans, loin d'être clos, regorgent au contraire de pistes à explorer, de systèmes à imaginer et à construire, de concepts à étudier, d'expériences à conduire, d'algorithmes à proposer. Il est par nature impossible de dresser une liste exhaustive de ces activités futures, mais nous pouvons mettre en évidence certains axes majeurs qui sont, et seront dans les années à venir, les piliers des recherches à mener.

Le premier de ces axes est sans aucun doute le développement du futur télescope géant européen (ou ELT). L'instrumentation associée à ce télescope présente un nombre incalculable de défis. L'OA est au cœur de cette entreprise tant en ce qui concerne le télescope lui-même que son instrumentation avec pour objectif une première lumière pour le télescope en 2026 et la toute première image d'une planète tellurique à l'horizon 2035.

Le deuxième axe majeur repose sur le développement de nouveaux concepts pour encore améliorer les performances d'instrument de type SPHERE et préparer la prochaine génération des instruments « *planet finder* » sur le VLT ou l'ELT. Pour cela nous développons à l'Observatoire de Haute Provence, sur le télescope qui a vu naitre l'OA pour l'astronomie, un moyen unique de validation et de test en conditions opérationnelles de concepts innovants pour l'OA. Ce moyen commun ONERA et LAM, appelé PAPYRUS, a été installé le 07 juin 2022 sur le télescope et a produit ses tout premiers résultats quelques jours après. L'expérience unique acquise sur SPHERE pendant les 10 ans de développement de l'instrument combinée à ce moyen de test unique sera essentielle pour imaginer des concepts innovants et de nouveaux composants afin de gagner 2 à 3 ordres de grandeur en termes de contraste et de détectivité sur le système.

Enfin, il est important de mentionner des sujets de recherche non liés à l'astronomie mais qui se nourrissent des recherches et développements menés pour les télescopes géants. Il s'agit notamment de l'AO pour l'ophtalmologie, les télécommunications optiques, l'observation de satellites en orbite basse, l'imagerie endo-atmosphérique et la mise en forme de faisceaux laser (imagerie ou focalisation du faisceau laser). Ces activités regroupent des enjeux liés à la mesure et à la pré compensation du volume de turbulence (pour corriger les effets de l'anisoplanétisme mais aussi de la scintillation), sur les problèmes d'analyse et de contrôle du front d'onde mais aussi sur le traitement des données qui sont en forte synergie avec les activités menées dans le contexte astronomique.

Bibliographie

1. Fried D., Optical resolution through a randomly inhomogeneous medium for very long and very short exposures, J. Opt. Soc. Am., 56 : 1372–1379, 1966.

2. Babcock H. W., The possibility of compensating astronomical seeing, Pub. Astron. Soc. Pacific, 65 :229, 1953.

3. Rousset G., Fontanella J.-C., Kern P., Gigan P., Rigaut F., Léna P et al., First diffraction-limited astronomical images with adaptive optics, Astron. Astrophys., 230 :29–32, 1990.

4. Rousset G et al., NAOS, the first AO system of the VLT : on sky performance, in Adaptive Optical System Technology II, P. L. Wizinowich et D. Bonaccini, eds., vol. 4839, Bellingham, Washington, 2002, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng., SPIE, pp. 140–149

5. J.-L. Beuzit et al. SPHERE: the exoplanet imager for the Very Large Telescope. A&A 631, A155 (2019)

6. Fusco, T et al (2006). High-order adaptive optics requirements for direct detection of extrasolar planets: Application to the SPHERE instrument. Optics Express, 14(17), 7515–7534.

7. Fusco, T., Sauvage, J.-F., Petit, C., Dohlen, K., Costille, A., Mouillet, D., & Beuzit, J.-L. (2015). SPHERE-SAXO: optique adaptative extrême pour la détection de planètes extrasolaires. Photoniques, (75), 34–37.

8. Fusco, T., Petit, C., Rousset, G., Conan, J.-M., & Beuzit, J.-L. (2005). Closed-loop experimental validation of the spatially filtered Shack–Hartmann concept. Optics Letters, 30(11), 1255–1257.

9. Petit, C., Conan, J.-M., Kulcsár, C., Raynaud, H.-F., & Fusco, T. (2008). First laboratory validation of vibration filtering with LQG control law for adaptive optics. Optics Express, 16(1), 87–97.

10. Sauvage, J.-F., Fusco, T., Rousset, G., & Petit, C. (2007). Calibration and precompensation of noncommon path aberrations for extreme adaptive optics. JOSA A, 24(8), 2334–2346.

11. Fauvarque O, Neichel B, Fusco T, Sauvage J-F, Girault O. General formalism for Fourier-based wave front sensing: application to the pyramid wave front sensors. Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems. 8 mars 2017;3(1):019001.

12. R Gilmozzi, J Spyromilio. The European extremely large telescope (E-ELT). The Messenger, 2007, eso.org

13. Fusco, T., & Cuby, J.-G. (2010). E-ELT, le futur télescope géant européen. Photoniques, (48), 42–44.

14. Neichel, B, Fusco T, Sauvage JF et al, The adaptive optics modes for HARMONI: from Classical to Laser Assisted Tomographic AO, Proceedings Volume 9909, Adaptive Optics Systems V; 990909 (2016)

Quelques réflexions pour conclure

PAR **PIERRE LÉNA**, MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES



Pierre Léna

Mesdames, Messieurs, chers collègues et amis,

Bien des chercheurs d'aujourd'hui, bien de nos concitoyens ignorent ce que fut, lors des siècles précédents le terreau de ce que personne n'appelait encore la recherche scientifique. L'initiative que vous développez, cher Bruno Chanetz, est précieuse puisque vous choisissez des lieux de notre terroir où des hommes ont marqué leur époque mais sont bien souvent demeurés ignorés par la grande Histoire. Vous l'aviez fait en 2017 autour d'Abraham de Moivre à Saumur, puis l'année dernière autour d'Antoine d'Abbadie en son château d'Hendaye. Vous aviez souhaité associer doublement l'Académie des sciences à vos entreprises : en lui proposant de parrainer ces évènements ; en publiant un numéro spécial des Comptes rendus à chacune de ces occasions. En prononçant cette modeste conclusion à une fort belle journée, j'exprime au nom du Bureau de l'Académie notre reconnaissance envers votre action, puisque parrainage et publication marquent également cette troisième rencontre. D'autres lieux, d'autres belles personnalités suggéreront la poursuite de ce qui devient une série à vocation historique, scientifique et pédagogique, une série dont la qualité justifiera, j'en suis certain, le maintien de ce lien avec l'Académie des sciences. De surcroît la revue des comptes rendus, dans sa nouvelle formule comprenant des numéros spéciaux, qu'il s'agisse de Physique ou de Mécanique, attache une importance particulière à la mise en résonance de thèmes qui sont au carrefour de la science et de l'histoire, dans une présentation pédagogique utilisable par les professeurs de lycée.

Aujourd'hui, vous avez choisi la figure d'Ismaël Boulliau, qui naquit à Loudun en 1605 et disparut en 1694. Sa longue vie couvre donc exactement le XVIIe siècle, ce siècle de grands changements depuis l'impact de la Renaissance en France jusqu'à la création de l'Académie des sciences et de l'Observatoire de Paris en 1666.

Entendant les exposés de Gérard Jubert et de Marie-Claire Coët, on ne peut échapper à la question : cet homme du Siècle de Louis XIV fut-il un savant méconnu ? Nous avons découvert les noms de ses correspondants fameux, tels Galilée, Gassendi, Hevelius, Pascal, Fabri de Peiresc, Huygens, nous avons appris qu'Isaac Newton l'avait cité en 1687 dans ses Principia. C'est alors qu'il nous faut échapper à un vedettariat qui ferait du lent progrès scientifique l'apanage de héros solitaires. Boulliau a fait partie de ce grand mouvement de curiosité et de rationalité qui couvrit peu à peu l'Europe, se déployant sur un formidable héritage grec puis arabe, créant un tissu d'observateurs et d'expérimentateurs qui ne cessaient de confronter leurs résultats et hypothèses dans ce premier réseau scientifique de la modernité. Il en fut ainsi pour la météorologie puisqu'il fut à l'origine d'une station à Paris en 1658.

En observateur, il approcha des questions fondamentales pour l'époque, lors du premier transit jamais observé de la planète Mercure devant le Soleil, le 7 novembre 1631 avec Pierre Gassendi à Paris. Prédits par Johannes Kepler dès 1627, ces transits de Vénus en 1629, puis de Mercure en 1631 fournirent les premières mesures des dimensions du système solaire. Observant dans la constellation de la Baleine l'étoile Mira, connue depuis l'Antiquité pour ses variations périodiques d'éclat, il en détermina la période avec précision et formula deux hypothèses sur leur cause : soit un compagnon en orbite dont le transit obscurcirait partiellement l'étoile, soit l'occurrence de taches sur Mira. Ces deux idées feront leur chemin trois siècles plus tard, la première fournissant aujourd'hui une méthode féconde pour la détection des exoplanètes, la seconde s'appliquant à l'étoile Betelgeuse, obscurcie en 2019 par un immense nuage de poussières.

Il se saisit de la grande question qui agitait alors le monde scientifique, après la publication du principe d'inertie de Galilée et des trois lois de Kepler, auxquelles étrangement il refusa d'adhérer. Les invisibles sphères de cristal portant les planètes, étant abandonnées, la représentation cinématique des mouvements planétaires étant mathématisée par ces lois, une question majeure demeurait, celle de la dynamique, c'est à dire des forces susceptibles de provoquer ces mouvements, forces nécessaires puisque les trajectoires s'écartaient d'une ligne droite parcourue à vitesse uniforme. L'action à distance au travers le vide répugnait depuis l'Antiquité, il fallut Newton pour la faire

admettre en 1684, non sans considérations théologiques [1]. En proposant une loi d'attraction en inverse carré de la distance, Boulliau s'inspirait de la lumière, dont l'éclairement dépend d'une telle loi de distance à la source. Cette analogie - méthode fréquente pour guider la découverte - ne valait pas raison, il y fallait un outillage mathématique dont il ne disposait pas et sa spéculation sur l'orientation de la force, normale au rayon vecteur et non selon celui-ci, était incorrecte. Il est sans doute excessif d'affirmer qu'il mit « Newton sur la voie » de la gravitation universelle, publiée en 1687, mais le crédit explicite que lui rend ce dernier, pourtant avare de reconnaissances à des tiers, n'est pas sans témoigner, ici encore, que le prêtre Loudunais visait au cœur des questions de l'époque, comme le reconnut en 1667 son élection en tant qu'un des premiers correspondants étrangers de la Royal Society.

Il s'attaqua au mouvement de la Lune, dont la complexité sous l'effet de deux actions gravitationnelles (Terre, Soleil) défiait la construction d'éphémérides précis [2]. Ptolémée se basant sur les travaux d'Hipparque, avait décrit la seconde anomalie du mouvement de la Lune, due à l'action de la Terre et alors peu précisément mesurée. Ce fut Boulliau qui la décrivit précisément sur la base des propres observations et la nomma éviction, un terme adopté depuis cette époque.

Sans prolonger cette évocation d'une belle figure, il me reste à mettre en garde contre une tentation trop répandue de nos jours, celle de dissocier dans la pensée de ces « chercheurs de vérité » d'autrefois, tel Bouillau, d'une part ce qui serait rationnel et scientifique donc respectable à nos yeux, de l'autre ce qui serait fait d'obscurantisme, de révélation ou de superstition, ainsi de l'astrologie, ou même de la théologie donc à rejeter. Sans développer davantage ce point où le regard critique de l'historien demeure essentiel, je note qu'il demeure actuel, comme peuvent en témoigner le rejet de l'atomisme par Marcelin-Berthelot, ou celui, initial au moins, de la cosmologie de Georges Lemaître par Albert Einstein: génies ou non, nous demeurons tous peu ou prou prisonniers de nos anciens paradigmes et représentations profondes du monde. Ismaël Boulliau, pas plus que Johannes Kepler son contemporain, n'ont échappé à cette tension [3]. Merci donc à Conor Maguire, Sylvette Noyelle et Thérèse Dereix de Laplane de nous avoir justement replacé l'homme en son temps.

Trois siècles plus tard, nous avons redécouvert l'ingénieur Gustave Eiffel, si soucieux de dynamique des fluides et de météorologie, et l'astronome Audouin Dollfus qui fut si longtemps mon collègue à Meudon et m'honora d'une discrète amitié, enfin Manuel Rodriguez et Thierry Fusco nous emportèrent, l'un vers une mesure spatiale de la gravitation universelle, le second vers le futur télescope européen et cet immense travail collectif autour de la lumière, qui en 2027 en fera un instrument unique, quelque part dans le désert chilien d'Atacama. Deux aventures contemporaines et fascinantes, dont ni Boulliau, Newton [4] n'auraient osé rêver.

Merci donc au sénateur Bruno Belin et au Maire de la bonne ville de Loudun, Joël Dazas, merci à l'ONERA et à ses Alumni. Cher Bruno Chanetz, ce n'est qu'un au revoir.

Références

[1] Minois, G. L'Eglise et la science. Histoire d'un malentendu. Tome II. Fayard, 1991. pp.92-97.
[2] Martin C. Gutzwiller, Moon-Earth-Sun: The oldest three-body problem, *Reviews of Modern Physics*, vol. 70, no 2, 1998, p. 589–639.
[3] Simon, *G. Kepler astronome, astrologue,* Gallimard, 1979.
[4] C'est pourtant Isaac Newton qui écrit : *Car l'air au travers duquel nous observons les étoiles en perpétuelle agitation … des télescopes de grande longueur peuvent rendre les Objets plus brillants et plus étendus que ne le peuvent des instruments courts, mais il est impossible de les réaliser en faisant disparaître la confusion des Rayons qui est provoquée par les Agitations de l'Atmosphère. Le seul Remède est de rechercher l'air le plus serein et tranquille, tel que celui qui pourrait être trouvé sur les sommets des Montagnes les plus élevés au-dessus des Nuages les plus importants.* In Opticks (1704).

COMITE SCIENTIFIQUE

Bruno CHANETZ - Alumni ONERA
Gérard JUBERT - SHPL
Pierre LENA - Académie des sciences
Conor MAGUIRE - SLSAS

COMITE D'ORGANISATION

Bruno CHANETZ - Alumni ONERA
Marie-Claire COËT - ONERA
Sylviane ROHAUT - SHPL
Jean TENSI - 3AF

UNESCO
Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

sous le patronage de la Commission nationale française pour l'UNESCO

LIEU DU COLLOQUE

Entrée gratuite - Nombre de places limité
Inscription : chanetz@onera.fr



PARTENAIRES

3AF Association Aéronautique et Astronautique de France

Audouin Dollfus
Association pour un Centre Européen des Ballons et Dirigeables

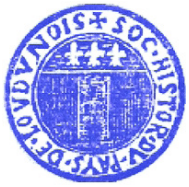
Aero Eiffel 1909

la vienne LE DÉPARTEMENT

VILLE DE LOUDUN

PAYS LOUDUNAIS
Communauté de Communes

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB



Société historique du pays de Loudunois