

# Trajectoire(s)



## CONFÉRENCE

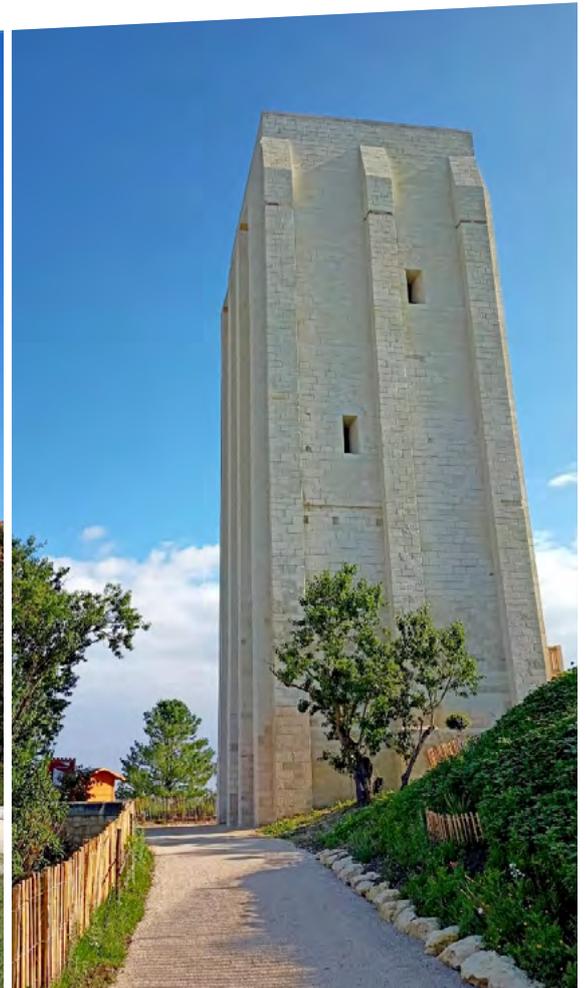
L'art de conjuguer les compétences  
L'hydrogène pour l'aviation  
Les maths au service de Solar Impulse  
Algorithmes pour la société

## TABLES RONDES

Le métaverse dans le  
secteur aérospatiale et  
défense  
La blockchain

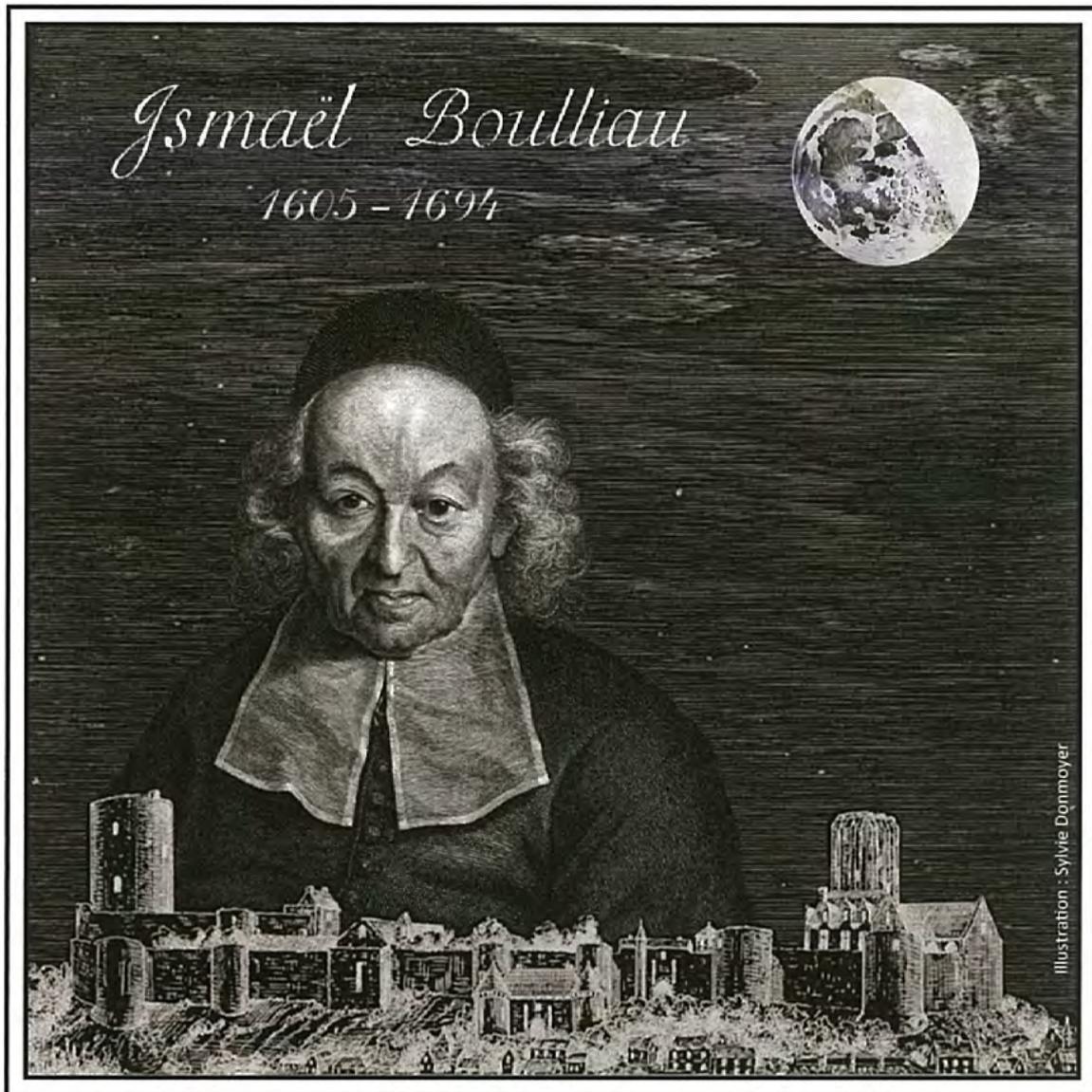
## EXPOSITION

Les nouvelles mobilités au  
Hangar Y



CAHIER

**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



INSTITUT DE FRANCE  
Académie des sciences

## MEMBRES DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

Président

**Bruno Chanetz, ONERA - Palaiseau**

Secrétaire Général

**Alain Durand, Sopra Steria Next - La Défense**

Trésorier

**Philippe Castera, Dassault Systèmes - Vélizy**

Vice-Président

**Pierre-Elie Weiss, ONERA - Meudon**

**Alexis Bourgoing, ArianeGroup - Les Mureaux**

**Vincent Chabridon, EDF - Chatou**

**Pierre Cordesse, Air liquide, Grenoble**

**Carsten Döll, ONERA - Toulouse**

**Frédéric Feyel, SafranTech - Châteaufort**

**Florian Gaudfrin, CEA - Toulouse**

**Bruno Mangin-Birrer, Dassault Aviation - Saint-Cloud**

**Florin Paun, Joint European Disruptive Initiative, Issy-Les-Moulineaux**

**Nicolas Rivière, ONERA - Toulouse**

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**

## 4 Mot du président

par Bruno Chanetz

**CONFÉRENCES DU 19 AVRIL 2022 À L'HÔTEL DE L'INDUSTRIE, DU 30 MAI À L'ONERA-CHÂTILLON, DES 9 JUIN 2022 ET 12 DÉCEMBRE 2022 AU SÉNAT**

## 6 Le management à cerveau total - *Managing with the whole brain*

par Stéphane Demilly

## 10 L'hydrogène pour l'aviation, de grands défis : combustion, injecteur, et mise en œuvre

par Paul Palies

## 14 Mathématiques et défis d'ingénierie : L'exemple de Solar Impulse

par Christophe Béseau

## 19 Parcoursup, à la croisée des chemins entre l'adolescence et l'âge adulte

par Claire Mathieu

## ACTES DU COLLOQUE BOULLIAU À LOUDUN LE 3 JUIN 2022

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

par Joël Dazas

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

par Sylvette Noyelle

## 33 La vie d'Ismaël Boulliau

par Gérard Jubert

## 37 L'œuvre scientifique d'Ismaël Boulliau

par Marie-Claire Coët

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

par Conor Maguire

## 47 Eiffel et la météorologie

par Martin Peter

## 51 Audouin Dollfus, astronome du XXe siècle

par Bruno Chanetz

## TABLE RONDE DU 12 MAI 2022 CHEZ OLIVER WYMAN

## 59 Enjeux des technologies « virtuel-réel » et du métaverse pour le secteur aérospatial et défense

## 60 Serious games : un outil prometteur pour l'armée de l'air et de l'espace sur certains segments

par le Général Julien Sabéné

## 63 Metavers et cognition

par Bernard Claverie

## 67 Les enjeux des technologies « virtuel-réel » et du métaverse pour le secteur Aérospatial & Défense

par Hugo Falgarone

## TABLE RONDE DU 13 DÉCEMBRE 2022 CHEZ OLIVER WYMAN

## 69 La Blockchain et son utilisation industrielle opérationnelle

## 70 La blockchain et ses enjeux éthiques !

par Laurence Vanin

## 71 La blockchain, vecteur de transformation de l'industrie

par Odile Panciaciti

## 74 La blockchain

par Philippe Proust

## 75 Mécanique de consensus et transfert de responsabilité blockchain

par Clément Bergé-Lefranc

## EXPOSITION

## 77 Exposition au Hangar Y dans le cadre du colloque Les nouvelles mobilités

par Bruno Chanetz

## RECENSIONS

## 81 Henry Potez, une aventure industrielle par Stéphane Demilly et Sylvain Champonnois aux Editions Privat

par Bruno Chanetz

## 83 Sculpture et Chaos. Quel héritage pour quel futur (juin 2018) par Jean Letourneur aux éditions Connaissances et Savoirs

par Bruno Chanetz

## 85 Traité de Perspective - Géométrie de la forme (janvier 2019) par Jean Letourneur

par Bruno Chanetz

## 86 Les Chevaliers du Ciel - Tanguy vs Laverdure par Patrice Buendia et Frédéric Zumbieh avec dessins de Sébastien Philippe chez Dargaud

par Bruno Chanetz

## 87 60 Histoires d'Espace en France de Pierre-Françoise Mouriaux et Philippe Varnoteau

par Nicolas Bérend

## 88 Intuition et rationalité de Claude Roche et Gérard Sabah

par Thierry Bouron

## 89 Intelligence artificielle, l'affaire de tous : de la science au business

par Bruno Chanetz

## 91 Experimental Aerodynamics : An Introductory Guide

par Laurent Dala

## IN MEMORIAM

## 92 HOMMAGE à Jean Détery : 60 ans au service de l'Aérodynamique

par Bruno Chanetz

## 94 DÉCORATIONS ET PRIX SCIENTIFIQUES

## 98 CALENDRIER DES ÉVÈNEMENTS 2023



Ce n°3 de TRAJECTOIRE(S) traite l'ensemble des événements de l'année dernière, jouant le rôle de rapport moral pour l'année 2022. Toutefois le colloque sur les nouvelles mobilités, n'est qu'effleuré - via l'exposition associée - puisque les actes du colloque des 22 et 23 septembre 2022 au Hangar Y de Meudon ont déjà été publiés dans TRAJECTOIRE(S) n°2.

Le présent numéro débute par des articles, écrits suite à des conférences à l'hôtel de l'industrie, à l'ONERA ou au Sénat par Stéphane Demilly, consultant en management, Paul Palies, professeur associé à l'université de Tennessee, Christophe Béseau, expert du projet Solar Impulse et Claire Mathieu, membre de l'Académie des Sciences.

Le colloque historico-scientifique de Loudun en hommage à l'astronome Ismaël Boulliau, représente le tiers du présent numéro. Les deux derniers exposés scientifiques de l'ONERA par Manuel Rodriguez sur *la mesure de la gravité* et par Thierry Fusco sur *l'optique adaptative*, n'ont pas donné lieu à un nouvel article, les auteurs ayant déjà publié dans le cahier de TRAJECTOIRE(S) n°1, consacré à un autre astronome : Antoine d'Abbadie.

En 2022, à travers ce colloque, Alumni-ONERA a poursuivi les partenariats déjà établis avec l'UNESCO et l'Académie des Sciences.

Jacques Rao, conseiller à la Commission nationale Française pour l'UNESCO (CNFU) précisa le 3 juin 2022 à Loudun « *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* ».

Pierre Léna, membre de l'Académie des Sciences, couronna ce colloque par une brillante conclusion, toute en nuances, sur l'œuvre d'Ismaël Boulliau<sup>1</sup>. Il ajouta : « *En prononçant cette modeste conclusion a une fort belle journée, j'exprime au nom du Bureau de l'Académie notre reconnaissance envers votre action... 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* ».

Dans l'interview d'Ingrid Vaileanu « *Alumni ONERA à la hauteur des défis du 21e siècle !* »<sup>2</sup>, par lequel j'ai répondu à la question « *Quelles personnalités réunissez-vous autour des projets Alumni-ONERA ?* », j'avais indiqué :

- Eric Ciampi, directeur du cabinet de Stratégie Oliver Wyman à Paris, partenaire de nos tables rondes, grâce à notre secrétaire général, Alain Durand, directeur stratégie chez Sopra Steria Next ;
- Olivier Mousson, conseiller-maître à la cour des comptes et président de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, qui nous reçoit à l'hôtel de l'industrie ;
- Alexandre Navarro, Secrétaire général de la CNFU ;
- Le général Julien Sabéné, chef d'état-major du commandement des forces aériennes, qui était venu inaugurer notre exposition sur Albert Caquot en 2021, et qui publie dans ce n° un remarquable article sur les *serious games* ;

- Pierre Léna, que j'ai connu au conseil scientifique de *l'Encyclopaedia universalis*, et qui accompagne nos colloques historico-scientifique avec talent et bienveillance ;
- Stéphane Demilly, sénateur de la Somme, qui parraine nos dîners-conférences au restaurant du Sénat en les honorant de sa présence et nous a fait le plaisir d'une double conférence cette année.

Qu'ils soient tous chaleureusement remerciés pour le soutien qu'ils apportent à notre association.

Alumni-ONERA par les colloques qu'elle organise s'inscrit dans le périmètre des sociétés savantes, mais je souhaite qu'au fil des années elle soit également reconnue comme un cercle de réflexion ou *think tank*. Par la diversité des chemins que nos membres ont emprunté suite à leur thèse à l'ONERA, notre association se trouve en effet forte de nombreuses compétences. Déjà le 8 décembre 2016, au cours de notre première AG, l'une de nos membres éminents, Anne-Marie Mainguy, qui fut présidente de l'Académie de l'Air et de l'Espace (AAE), avait proposé la mise en place de séminaires de réflexion sur des sujets d'actualités. Parmi les thématiques actuelles, examinons celle de l'Intelligence artificielle (IA) et celle de l'aviation bas carbone.

Dans l'IA, Alumni-ONERA compte deux experts :

- Laurent Chaudron, qui est intervenu, en 2018 lors d'une table ronde<sup>3</sup> et en 2022 à l'occasion du colloque *Les nouvelles mobilités* ;
- Thierry Bourron, lui-même auteur d'un ouvrage sur l'IA, qui signe dans ce numéro une note de lecture sur l'ouvrage récent de Claude Roche et Gérard Slama.

1. la conclusion de Pierre Léna est donnée in-extenso en page 60

2. <https://www.interviewfrancophone.net/bruno-chanetz>

3 Laurent Chaudron, Table ronde Alumni-ONERA/Oliver Wyman le 18 octobre 2018, L'intelligence symbolique contre-attaque dans les Lettre 3AF n°34

[https://www.3af.fr/global/gene/link.php?doc\\_id=4224&fg=1](https://www.3af.fr/global/gene/link.php?doc_id=4224&fg=1) et n°35 [https://www.3af.fr/global/gene/link.php?doc\\_id=4225&fg=1](https://www.3af.fr/global/gene/link.php?doc_id=4225&fg=1)

De plus les diverses personnalités que nous réunissons sont source d'enrichissement sur ces sujets d'actualité. En 2022 les tables rondes, en partenariat avec Oliver Wyman, sur le *metavers* et la *blockchain*, enfants de l'IA, donnent lieu à deux beaux dossiers dans ce numéro, avec à chaque fois des considérations éthiques, car « *science sans conscience n'est que ruine de l'âme* »<sup>4</sup>. Ainsi Bernard Claverie, fondateur de l'École nationale supérieure de cognitive (ENSC), nous livre ses réflexions sur le métaverse et Laurence Vanin, professeur de philosophie, sur la *blockchain*. Laurence Vanin était également intervenue lors du colloque sur *les nouvelles mobilités*. Si l'IA a pour objectif d'imiter l'intelligence humaine et donc d'atteindre l'ordre de l'intelligence, le second des ordres après celui des corps selon Pascal, il nous appartient qu'elle ne s'impose pas dans l'ordre supérieur des cœurs.

Une autre question d'actualité est celle de l'avion à hydrogène, et plus généralement de l'aviation bas carbone. Paul Palies présente dans ce numéro ses travaux sur le moteur à hydrogène. Axel Vincent-Randonnier, membre d'Alumni-ONERA, évoquera le 26 mai, lors du colloque Denis Papin à Saumur, les récentes avancées de l'ONERA dans le domaine de la motorisation des avions et du moteur à hydrogène. En effet les ingénieurs réussiront la mise au point du moteur à hydrogène comme le soulignait récemment Jean Delacarte<sup>5</sup>, ancien PDG d'Air Liquide et membre de l'AAE. En revanche il était plus dubitatif quant à son avionnabilité. Le 12 juin 2023, Eric Dautriat<sup>6</sup>, ancien directeur des lanceurs au CNES et ancien directeur exécutif du programme *Cleansky* et vice-président de l'AAE, reviendra sur le sujet au cours d'un dîner-conférence au Sénat. En effet sur cette question de l'aviation verte, il est essentiel que les experts soient

entendus. Lorsque je présidais le Haut conseil scientifique de la 3AF, j'avais invité David Fraboulet<sup>7</sup>, directeur scientifique au ministère de l'enseignement supérieur de la recherche et de l'innovation, qui avait exprimé combien il était précieux pour les décideurs de disposer d'avis éclairés de la part de sociétés savantes, même s'ils allaient à l'encontre de la pensée dominante. Dans une société de plus en plus tentée par le conformisme intellectuel, il est précieux de disposer d'une parole libre pour irriguer les débats de société.

L'actualité de ces derniers mois nous offre en effet le spectacle désolant de la perte de souveraineté et d'indépendance énergétique de la France. On reste confondu par ce que révèle la Commission parlementaire d'enquête visant à en établir les raisons.

Yves Bréchet, membre de l'Académie des Sciences, Haut-Commissaire à l'énergie atomique de 2012 à 2018, a déclaré aux députés : « *la faiblesse des analyses conduisant aux décisions de l'État pose question* », « *Il est important de comprendre comment la cohérence d'une stratégie industrielle a cédé la place à l'opportunisme d'une stratégie de communication* », « *la doxa prônant le passage de 75 à 50 % de la capacité électro-nucléaire, la confusion entre la puissance installée et la puissance délivrée ... le refus de procéder à une analyse de fond des expériences faites chez nos voisins, témoignent au mieux d'une naïveté confondante* ».

Et Henri Proglío, ancien PDG d'EDF, confirma « *J'ai assisté à la mise au point d'une théorie absurde qui m'a été imposée avec beaucoup d'insistance par les pouvoirs publics : la théorie de la décroissance électrique. Il fallait considérer que la demande électrique allait baisser en France et que par conséquent il fallait diminuer la puissance*

*du nucléaire surpuissant* ». Il précise « *Au début du XXI<sup>e</sup> siècle, EDF est exportateur d'énergie, avec une électricité la moins chère d'Europe (deux fois et demi moins cher que l'Allemagne), un contrat de service public qui fait référence dans le monde et elle donne à la France un atout formidable en matière de gaz à effet de serre ... Il n'y avait plus qu'à tout détruire. C'est chose faite !* »

Conséquence de ces décisions, Jean-Bernard Lévy, qui était encore PDG d'EDF, a déclaré le 31 août 2022 : « *Nous, avec la filière, nous n'avons pas embauché de gens pour construire douze centrales, nous en avons embauchés pour en fermer douze* ». En effet le temps industriel est un temps long avec des délais de développement et une inertie intrinsèque aux industries lourdes, qui nécessitent de la main d'œuvre très qualifiée. Aussi on ne recrée pas instantanément une industrie promise à la destruction et dont se sont détournés les jeunes diplômés.

On se prend à rêver que ce désastre énergétique eût pu être évité, si aux côtés des responsables de l'industrie, dont on négligeait les avertissements trop souvent considérés comme des plaidoyers *pro domo*, des scientifiques avaient réussi à investir le débat public afin d'empêcher la prise de décisions lourdes de conséquences que la France paye aujourd'hui au prix fort ... ■

## Bruno Chanetz

directeur de recherche à l'ONERA  
président d'Alumni-ONERA

4. Rabelais dans Pantagruel

5. Jean Delacarte, conférence 3AF du 12 septembre 2022 « *L'hydrogène dans tous ces états* »

6. Eric Dautriat, L'avion à hydrogène : ambition ou illusion, Lettre 3AF n°44 (octobre 2020) [https://www.3af.fr/global/gene/link.php?doc\\_id=4234&fg=1](https://www.3af.fr/global/gene/link.php?doc_id=4234&fg=1)

7. réunion du 24 juin 2020 [https://www.3af.fr/global/gene/link.php?doc\\_id=4601&fg=1](https://www.3af.fr/global/gene/link.php?doc_id=4601&fg=1)

CONFÉRENCES DES 9 JUIN 2022 ET 12 DÉCEMBRE 2022 AU SÉNAT  
ET DU 19 AVRIL 2022 À L'HÔTEL DE L'INDUSTRIE ET DU 30 MAI  
À L'ONERA-CHÂTILLON

## CONFÉRENCE

# Le management à cerveau total - *Managing with the whole brain*

PAR STÉPHANE DEMILLY, FORMATEUR EN MANAGEMENT



Stéphane Demilly, conférencier en management

Le mardi 12 avril 2022, dans l'octave de Pâques, nous étions accueillis à l'hôtel de l'industrie par Olivier Mousson, conseiller-maître à la Cour des comptes et président de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, pour une double conférence de Stéphane Demilly, intitulée *l'Art de conjuguer les compétences pour réussir*. À partir de 18 heures, débuta une première conférence sur *l'Alchimie des singularités* et après un buffet dinatoire, une seconde conférence fut donnée par Stéphane Demilly sur *Henry Potez*. On trouvera en fin de numéro une recension sur la biographie de ce grand industriel, le présent article étant uniquement consacré à la première conférence. Parmi les auditeurs de cette soirée, Denis Larghero, Maire de Meudon, qui a ainsi fait la connaissance du sénateur Demilly avec qui il devait ouvrir le 22 septembre 2022 le colloque *Les nouvelles mobilités* au Hangar Y de Meudon. Gérard Laruelle, membre de l'Académie de l'Air et de l'Espace, participait également à cette soirée, d'où l'invitation que nous avons faite à Stéphane Demilly d'intervenir aux Entretiens de Toulouse le 20 avril 2023 sur la thématique du management. Bruno Chanetz sera le modérateur de cet entretien, relevant du domaine Innovation et Compétitivité, co-animé par Gérard Laruelle :

<https://entretiensdetoulouse.com/ic3-manager-a-cerveau-total/>

Dès qu'il s'est lancé dans la vie professionnelle, Stéphane Demilly a toujours mené de front deux activités.

Son premier domaine d'excellence est celui de la pédagogie et de la réflexion sur le management des équipes. Il a enseigné ce sujet à l'Institut de Gestion Sociale de Paris tout en animant des conférences sur ce thème, en France et à l'étranger, auprès de très nombreuses entreprises et institutions. Il fut à ce titre un formateur-partenaire de sociétés aussi prestigieuses que Danone, Veolia, Hachette et Bouygues.

Son deuxième engagement est celui de la vie publique. Au niveau local en tant que maire d'une ville de Picardie pendant une trentaine d'années, président fondateur d'une collectivité intercommunale et vice-président du conseil régional de Picardie... et au niveau national en tant que parlementaire, d'abord à l'Assemblée nationale où il a siégé près de vingt ans dans les commissions des Affaires économiques, de la Défense et du Développement durable, et dorénavant au Sénat où il reste impliqué dans différentes organisations internationales, comme l'Organisation pour la Sécurité et la Coopération en Europe (OSCE) où il assume une fonction d'observateur électoral international.

La présentation synthétique de ce double parcours professionnel et politique ne serait pas complète si nous omettions de préciser que Stéphane Demilly a rédigé quatre ouvrages.

« *Manager avec l'approche Herrmann* » (Editions Eyrolles), véritable condensé chargé d'humour de sa conférence sur le management, « *Six frères dans la grande guerre* » (Editions Privat), un livre poignant relatant l'histoire dramatique d'une famille confrontée aux turbulences de la première guerre mondiale, « *Henry Potez, pionnier de l'aéronautique* » (Editions Privat), une biographie de ce grand génie de l'aéronautique, ouvrage primé par l'Académie française et par l'Académie des sciences et, plus récemment, « *l'Alchimie des singularités* » (Editions Eyrolles), véritable bible pour les managers souhaitant transformer leurs richesses humaines en sciences humaines !!!

**TEMPS 1 : CERNER LES PERSONNALITÉS DE SON ÉQUIPE... POUR MIEUX LES COACHER !**

**Le Management n'est pas une science exacte.** Il faut s'en convaincre avant d'aller plus loin... sinon, on risque de se heurter à des désillusions ou à des frustrations au cours de ce séminaire.

Ce qui est vrai dans l'entreprise A n'est pas vrai dans l'entreprise B...

Ce qui est vrai avec un membre de l'équipe n'est naturellement pas vrai avec un de ses collègues...

Et ce qui vrai avec un équipier le lundi ne sera peut-être plu vrai le jeudi...

Les deux curseurs ontologiques que sont le temps et l'espace font du **management un art complexe nécessitant des qualités permanentes d'adaptation et de discernement.** C'est d'ailleurs là que se trouvent la richesse et l'intérêt du management : **animer une collectivité d'hommes et de femmes tous différents au service d'un projet commun !**

Pour découvrir ce foisonnement naturel des personnalités, pour mieux adapter son leadership à cette diversité des tempéraments et, surtout, pour faire fructifier ces ressources individuelles en richesse collective ... Stéphane Demilly s'inspire du modèle « des quatre quadrants » développé par **Ned Herrmann**. Ce modèle est d'une efficacité redoutable pour les managers qui ont compris que l'excellence s'exprime avant tout dans les zones de préférence.

**Une approche simple, pragmatique et facilement déclinable dans la mission quotidienne du Manager...qui peut changer votre vie de leader...**

Ned Herrmann (1922-1999), ancien responsable de la formation des cadres de la General Electric, s'est intéressé aux travaux de recherche sur les hémisphères cérébraux de Roger Wolcott Sperry, prix Nobel de médecine 1981, et à ceux du neurobiologiste Paul Donald Mac Lean à l'origine du « cerveau triunique » (complexe reptilien, système limbique, néocortex).

Il a « croisé » ces travaux de recherche pour modéliser quatre grandes familles cognitives et comportementales :

**A. LA PRÉFÉRENCE ANALYTIQUE**

(quadrant A dit « cortical gauche ») dont les mots clés sont : logique, factuel, critique, technique et quantitatif.

Il aime compiler les faits, prendre le temps de l'analyse, argumenter rationnellement, résoudre les problèmes avec précision, logique et raison, comprendre les éléments techniques, manipuler les chiffres et les statistiques, porter un regard critique, formuler des théories...

**B. LA PRÉFÉRENCE SÉQUENTIELLE**

(quadrant B dit « limbique gauche ») dont les mots clés sont : prudent, structuré, organisé, détaillé et planifié.

Il aime respecter les règles, approcher les problèmes de façon

simple et pratique, en planifiant les étapes de la résolution, aller au bout des choses, développer des plans détaillés et des procédures...

**C. LA PRÉFÉRENCE INTERPERSONNELLE**

(quadrant C dit « limbique droit ») dont les mots clés sont : relationnel, émotionnel, spirituel, sensible, kinesthésique.

Il aime anticiper le ressenti des autres, décoder les messages non-verbaux, provoquer l'enthousiasme, persuader, concilier, enseigner, travailler en équipe et partager les informations...

**D. LA PRÉFÉRENCE IMAGINATIVE**

(quadrant D dit « cortical droit ») dont les mots clés sont : aventure, innovation, intuitif, intégratif, synthétique et conceptuel.

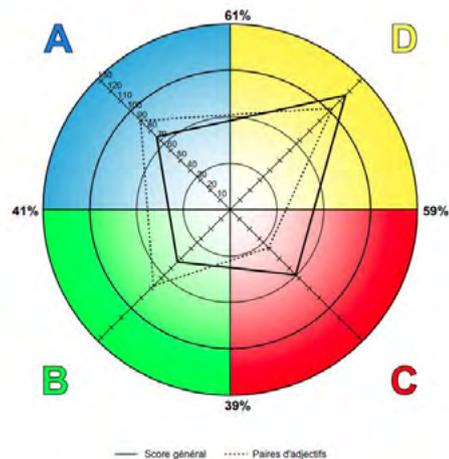
Il aime surprendre, provoquer, lire et anticiper les signes du changement, appréhender les choses globalement, intégrer les idées et les concepts, défier les règles établies, imaginer des solutions nouvelles, synthétiser et résoudre les difficultés de façon intuitive...

Ce premier temps :

- permet de découvrir un outil simple et efficace d'analyse des personnalités composant une équipe.
- éclaire les raisons de dysfonctionnements relationnels au sein d'un groupe
- pointe avec pertinence les erreurs de « casting » dans l'affectation des responsabilités et donne des points de repère objectifs pour la constitution des équipes.

En amont du séminaire, chaque participant complète un inventaire de personnalité, le HBDI, élaboré par Ned Herrmann à l'Université du Texas. Le traitement de ce questionnaire, dont les résultats sont remis individuellement à l'issue de l'intervention, permet de souligner les leviers motivationnels du participant et de lui faire découvrir la grille du modèle Herrmann à travers son propre profil.

Quadrant :	A	B	C	D
Code de Profil :	1	2	2	1
Paires d'adjectifs :	7	6	3	8
Total Général :	74	83	68	116



## TEMPS 2 : DÉVELOPPER UN LEADERSHIP « À CERVEAU TOTAL »

Ces quatre quadrants servent de fil conducteur au consultant pour parcourir les qualités requises du manager.

Celles relevant du mode de pensée « **cortical gauche** » : le discernement, l'esprit en éveil, l'analyse des situations avec lucidité et sérénité, le refus des exclusivités de connaissances et de compétences, la capacité à décider...

Celles relevant du mode de pensée « **limbique gauche** » : la clarification des « règles du jeu », l'exemplarité, l'autorité, la capacité à organiser, planifier et contrôler...

Celles relevant du mode de pensée « **limbique droit** » : la bienveillance, le transfert d'enthousiasme et de bonne humeur, la positivité, l'assertivité, l'écoute, la valorisation des échanges...

Celles relevant du mode de pensée « **cortical droit** » : la capacité à projeter l'équipe dans le futur, l'art subtil de l'humour, la création d'un espace d'épanouissement...

Chaque thème développé au cours de ce deuxième module appelle des réactions, des commentaires et de nombreuses questions de la part des stagiaires. Ce module est donc particulièrement interactif et ce sont ces échanges, à propos de situations vécues par les uns et les autres, qui en font aussi la richesse... Ces retours d'expérience permettent d'ailleurs parfois aux participants de trouver « des clés » à leur propre problématique managériale.

L'approche pédagogique s'applique naturellement à elle-même les valeurs prônées au cours de cette formation, notamment celles de l'enthousiasme, du dynamisme, de l'ouverture d'esprit et de l'humour.



## LE HBDI : UN OUTIL POUR L'ASSESSMENT ET LE MANAGEMENT

Le HBDI (Herrmann Brain Dominance Instrument ®), qui présente sous forme graphique les stimuli préférentiels, comportementaux et cognitives, est un outil d'approche des personnalités qui a des vertus cumulées que peu de méthodes d'introspection ont :

il est simple, clair, rapide et objectif !

Le HBDI est une photographie, à un instant « t », qui permet :

- de prendre le temps d'auto-analyser avec sérénité « son arrièreboutique » (pour reprendre l'expression de Michel de Montaigne)

- de déclencher, le cas échéant, des projets d'amélioration personnelle
- de mettre en lumière le foisonnement des modes préférentiels existant dans une équipe
- d'éclairer avec objectivité à l'origine de difficultés de « cohabitation » de certains membres d'une équipe

Quand on complète le HBDI, il est essentiel d'avoir à l'esprit qu'il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses en soi. Ce n'est ni un test psychotechnique, ni une évaluation des performances intellectuelles (du type QI).

C'est un état des lieux qui inventorie avec pédagogie les domaines dans lesquels une personne sera la plus à l'aise et ceux dans lesquels elle aura plus de difficultés.

## LE HBDI EN PRATIQUE

Le Herrmann Brain Dominance Instrument ® est un inventaire de 120 items, disponible dans 21 langues, qui nécessite entre 30 et 40 minutes pour être complété en ligne sur Internet (via un code d'accès fourni par le consultant en amont de la conférence).

Il faut y répondre avec sincérité et spontanéité. Seul celui qui a complété l'inventaire est destinataire des résultats et de l'analyse qui en est faite. Cette règle déontologique est incontournable.

Les résultats sont donc communiqués par le consultant (sous pli fermé) au participant à l'issue de la conférence ou adressés par pli confidentiel à l'intéressé.

Lors de la restitution (ou de l'envoi des résultats), le profil de préférences HBDI est accompagné d'un livret explicatif comprenant 4 sections : connaître l'approche Herrmann, lire votre profil pas à pas, explorer votre profil, situer votre profil parmi les autres.

**Il est recommandé, dans la mesure du possible, de planifier, à l'issue de cette séance de formation, un entretien individuel de débriefing de 30 minutes entre le consultant et chaque participant.**

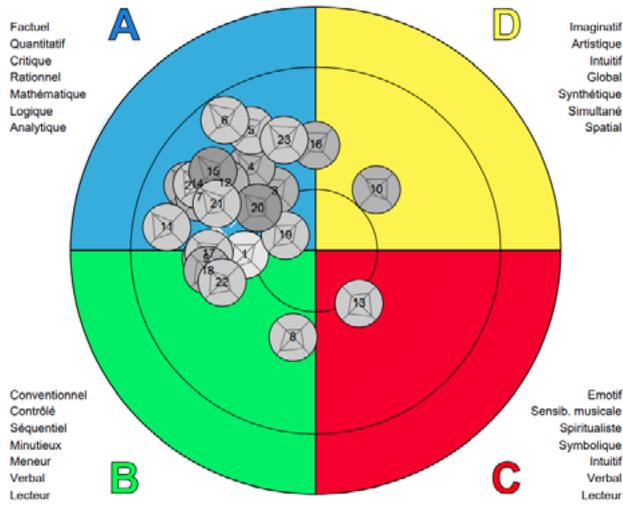
## LE PROFIL D'ÉQUIPE

Le profil d'équipe met en évidence les points de force où se concentrent plusieurs profils et les espaces laissés en « jachère » où peu ou pas de membres du Codir ne s'aventurent spontanément.

Il indique donc clairement les points sur lesquels une amélioration est souhaitable dans la politique de team-building de l'organisation (recrutement, formation, recherche de compétences externes...).

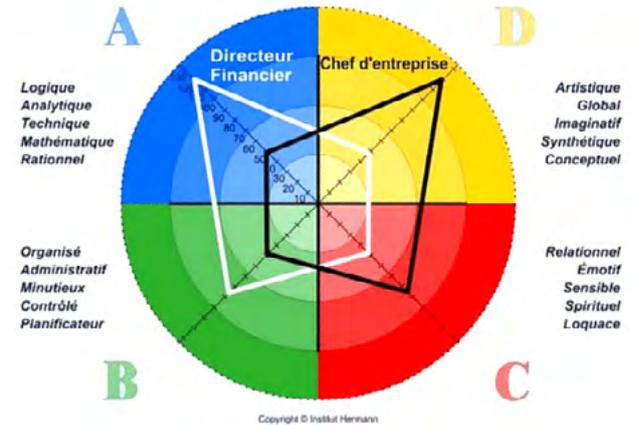
Il peut aussi parfois pointer clairement des erreurs de casting, ou à tout le moins, des excès de « clonage » liés à des recrutements excessifs de profils identiques (mêmes écoles, mêmes parcours professionnels...).

Ce « rapport technique », avec de nombreuses représentations graphiques obtenues par la compilation des informations extraites des profils HBDI® de chaque membre de l'équipe, est un outil de management très pertinent pour l'entreprise.



Ce profil de binôme est une vraie valeur ajoutée :

- pour analyser, par exemple, les relations d'un manager et de son adjoint
- pour expliquer l'origine de points de « friction » pouvant exister entre deux partenaires professionnels
- pour montrer et comprendre les différences de raisonnement et de méthodologie de deux collègues afin de transformer ce handicap apparent en véritable force de complémentarité.



**L'ANALYSE CROISÉE**

Elle consiste à « projeter » sur une même « carte » Herrmann deux profils bien ciblés pour mettre en lumière leurs similitudes et leurs différences.

A	D
Logique	Artistique
Analytique	Global
Technique	Imaginatif
Mathématique	Synthétique
Rationnel	Conceptuel
B	C
Organisé	Relationnel
Administratif	Émotif
Minutieux	Sensible
Contrôlé	Spirituel
Planificateur	Loquace

Voir également les vidéos de la soirée à l'hôtel de l'industrie :

1) sur la conférence l'alchimie des singularités :

<https://coworkingchannel.news/conference-l-art-de-conjuguer-les-competences-pour-reussir-lalchimie-des-singularites-partie-1/>

2) sur la conférence sur Henry Potez :

<https://coworkingchannel.news/conference-l-art-de-conjuguer-les-competences-pour-reussir-henry-potez-partie-2/>

**Cabinet Stéphane Demilly**  
 12, rue Aristide Briand - B.P. 60038 - 80302 ALBERT  
 Cedex - FRANCE  
 Tél. 00 33 (0)3 22 75 31 87 cabinet.demilly@gmail.com

PARIS - BOSTON - MONTRÉAL - ABIDJAN - RABAT - DUBAÏ -  
 SALT LAKE CITY

## CONFÉRENCE

# L'hydrogène pour l'aviation, de grands défis : combustion, injecteur, et mise en œuvre

PAR PAUL PALIES, DIRECTEUR DU COMBUSTION AND PROPULSION FOR AVIATION RESEARCH CENTER (C-PARC) ET PROFESSEUR ASSOCIÉ À L'UNIVERSITÉ DU TENNESSEE SPACE INSTITUTE ADJACENTE AU ARNOLD ENGINEERING DEVELOPMENT COMPLEX DE L'US AIR FORCE.



Le lundi 30 mai 2022, Paul Palies donna une conférence salle Contensou à l'ONERA Châtillon sur Progrès et perspectives au C-PARC.

Paul PALIES est professeur à l'Université du Tennessee Space Institute (UTSI) et directeur du Combustion and Propulsion for Aviation Research Center (C-PARC). Paul Palies est diplômé de l'Université Paris XI (licence et maîtrise mécanique) et de l'Ecole Centrale Paris (master énergie et aéronautique puis doctorat en combustion). Il a une expérience aux USA de plus de dix ans portant notamment, pour Pratt and Whitney, sur les instabilités de combustion, leur modélisation et contrôle. Il a été *principal investigator* pour l'AFRL et la NASA sur la modélisation numérique LES et le développement d'un concept d'injecteur disruptif. Il est membre nommé de l'*United States National Committee on Theoretical and Applied Mechanics* et des comités techniques propulsion de 3AF et combustion de l'*American Society of Mechanical Engineers*.

## AVANT-PROPOS

Il existe en France, depuis peu, une direction politique particulièrement claire pour la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. En effet, la COP21, puis le plan hydrogène en 2018, le plan de relance de 2021 ainsi que les positions européennes successives sont des étapes qui ont permis de redéfinir et d'adapter la politique énergie et transport. Dans ce contexte, l'objectif central est la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> étant donné le consensus sur le rôle de ce gaz en termes de changement climatique.

## UN POINT SUR LE CLIMAT

Les gaz à effet de serre (GES) comprennent le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> (méthane), la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) et les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Les émissions de CO<sub>2</sub> restent dans l'atmosphère pendant près de 100 ans tandis que les autres ont des durées de vie plus courtes ; il est donc admis que le principal effet du réchauffement climatique est dû au CO<sub>2</sub>. Dans une chambre de combustion de moteur d'avion, le kérosène et l'air réagissent chimiquement pour former en premier lieu les produits gazeux de combustion : le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> et la vapeur d'eau H<sub>2</sub>O. Ces deux gaz sont des GES et il faut préciser leurs rôles respectifs dans le réchauffement climatique.

Le H<sub>2</sub>O constitue naturellement l'atmosphère sous forme de vapeur. S'il a un fort effet de serre, il est admis qu'il n'est pas le responsable du réchauffement climatique, mais plutôt un amplificateur en présence de CO<sub>2</sub>. Les raisons de ces rôles distincts sont associées au rôle de la vapeur d'eau dans le cycle de l'eau, car la vapeur d'eau ne peut pas s'accumuler dans l'atmosphère au-delà d'un certain seuil. En effet, le cycle de l'eau de l'atmosphère est tel que les eaux liquides de l'océan s'évaporent et s'élèvent sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère jusqu'à des altitudes où elles se transforment en liquide et forment la pluie. Ce cycle est imposé par les températures globales. Lorsque le CO<sub>2</sub> induit un effet de réchauffement climatique, la quantité de vapeur d'eau est plus élevée, amplifiant ainsi la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Avec l'hydrogène comme carburant, les espèces chimiques H<sub>2</sub>O et NO<sub>x</sub> seront toujours à considérer, mais dans une moindre mesure que le CO<sub>2</sub> en raison de leurs courts temps de séjour dans l'atmosphère par rapport au CO<sub>2</sub> et l'intégration de la vapeur d'eau dans le cycle naturel de l'eau si la molécule H<sub>2</sub> provient de l'électrolyse.

## LE RÔLE DE L'HYDROGÈNE DANS L'AVIATION

Les émissions de  $\text{CO}_2$  sont largement émises par la combustion des carburants fossiles : kérosène ou biocarburants. Il existe deux candidats majeurs dans les secteurs de l'énergie et du transport pour supprimer ou réduire l'empreinte de ces carburants : le moteur électrique ou thermique. Pour des raisons historiques et de souveraineté, la France s'appuie sur le nucléaire pour son énergie et celle-ci a permis le développement et des progrès considérables dans les domaines de l'atome et a fait éclore des projets ambitieux à très long terme comme ITER. Il reste cependant dans ces projets la question du traitement des déchets nucléaires. Dans le domaine du transport et plus particulièrement de l'aéronautique, le développement des connaissances technologiques et scientifiques a permis, là aussi, de bâtir des entreprises nationales clés tels que Safran Aircraft Engine ou Airbus. Très peu de pays ont tous ces atouts techniques et scientifiques acquis et construit sur le long terme.

Bien que les émissions de  $\text{CO}_2$  dues au transport aérien ne représentent que 3% du total mondial émis, il s'agit de contribuer dans ce secteur aussi à l'effort global et en même temps d'utiliser les connaissances acquises pour d'autres secteurs ou usages. Ainsi, l'hydrogène est à la fois envisageable pour le domaine électrique (piles à combustible) ou thermique (combustion), deux technologies qui ont récemment reçu plus d'attention et qui ont été validées par exemple pour le transport routier. Il reste cependant un réseau d'approvisionnement à déployer pour mettre en œuvre ce choix stratégique et il ne pourrait s'arrêter à nos frontières. Du côté du transport aérien, l'hydrogène basé sur la pile à combustible

ne permet pas d'être envisagé au-delà de petits avions personnels privés du fait de la puissance requise. Seule la solution thermique permettrait d'avoir des avions de capacités telles que l'on connaît aujourd'hui et satisfaisant la réduction des émissions.

### OBJET DE L'ARTICLE :

Dans cet article, sont présentés les recherches estimées nécessaires ainsi que les moyens requis pour le développement d'injecteurs et de chambres de combustion qui satisferaient la réduction des émissions polluantes et permettraient leur utilisation pour l'hydrogène. Sont envisagés aussi les moyens nécessaires à un tel déploiement avec une vision globale.

### INJECTEUR ET COMBUSTION

Une question importante devant être considérée pour faire évoluer les systèmes aéronautiques propulsifs commerciaux vers un fonctionnement avec addition partielle ou totale d'hydrogène est celle de la conception des injecteurs et de la compréhension des processus de combustion associés tels que la stabilisation et la dynamique de flamme. La figure 1 illustre certains des mécanismes qui peuvent exister dans une chambre de combustion. La stabilisation de flamme consiste en la capacité d'un injecteur et d'une chambre de combustion à conserver la zone de flamme à une position fixée et à éviter le retour ou soufflage de flamme pour toute l'enveloppe de fonctionnement de l'avion. La dynamique de flamme permet ultimement de comprendre comment éviter le couplage de celle-ci avec l'acoustique de la chambre de combustion pour éviter les instabilités de combustion. Les injecteurs aéronautiques jouent

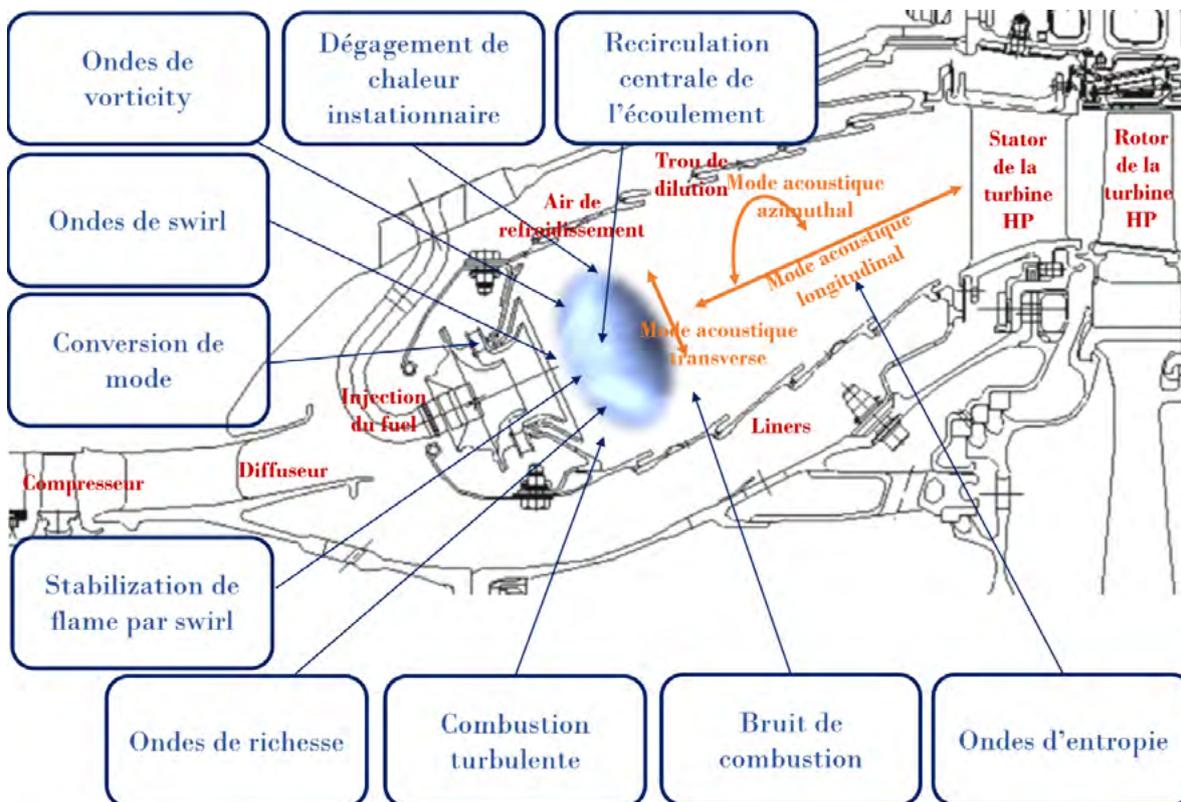


Figure 1: Schéma illustratif d'une chambre de combustion SAE-GE CFM 56 avec mise en avant de certains des mécanismes en jeu pour la stabilisation et la dynamique de flamme.

un rôle clé dans les processus de combustion qui transforment les gaz frais amont en gaz brûlés. En effet, ils déterminent d'abord le mode de combustion (prémélangé, pré-vaporisé, stratifié, liquide, etc.), puis ils jouent un rôle majeur sur l'écoulement global et la physique du fluide locale. Par conséquent, leurs optimisations ainsi que celle de la chambre de combustion sont critiques pour minimiser (1) la consommation de carburant, et (2) les émissions polluantes. Ces optimisations primordiales sont encore difficiles et coûteuses et nécessitent des efforts de recherche importants pour la compréhension des mécanismes sous-jacents avec des outils de modélisations et des moyens expérimentaux de pointe.

Ces moyens permettront de plus l'étude et la caractérisation de la relation entre la forme de la flamme, les propriétés de l'écoulement, la position du front de flamme et la production des polluants (leur zone de production) à partir de la combustion d'hydrocarbures-air sans, puis avec ajout d'hydrogène en utilisant des diagnostics expérimentaux à résolution élevée. Ce sont des aspects importants des recherches à mener pour étudier la formation de polluants tels que les  $\text{NO}_x$  (même en opérant à 100%  $\text{H}_2$ ) et réduire la consommation du carburant pendant la combustion. Il faut en effet noter que bien que réduisant les émissions de  $\text{CO}_2$ , la combustion d'hydrogène avec de l'air induit la formation de  $\text{NO}_x$ . Cet aspect requiert donc des études sur les mécanismes physiques sous-jacents afin d'optimiser et donc réduire la formation de ces  $\text{NO}_x$  dans des configurations prémélangées en particulier. Un second volet consisterait à mener les simulations numériques pour générer des données tridimensionnelles instationnaires des phénomènes physico-chimiques permettant de décrire les conditions favorables ou défavorables de production d'oxydes d'azote, apportant ainsi des connaissances expérimentales et de modélisation combinée uniques sur cet important enjeu. Et ceci particulièrement pour les flammes *swirlées* telles qu'utilisées dans les chambres de combustion de moteurs aéronautiques futurs. Une flamme *swirlée* typique modélisée numériquement à très forte résolution est présentée sur la figure 2.

Ces aspects permettraient de concevoir des injecteurs optimisés réduisant la formation des  $\text{NO}_x$  et réduisant la consommation de fuel. Un injecteur dont la conception initiale a été réalisée récemment et permettant de fonctionner à prémélange complet est représenté sur la figure 3. Le fonctionnement avec ajout partiel ou total d'hydrogène sur les processus de combustion en termes de stabilisation et de dynamique de flamme *swirlée* bénéficie d'une littérature limitée avec quelques articles pionniers sur ces sujets à l'échelle du laboratoire mais les analyses détaillées ne sont pas encore assez nombreuses et les outils employés n'utilisent pas nécessairement l'ensemble des possibilités maintenant disponible. Les recherches sont donc toujours importantes dans ce domaine. Les études nécessaires incluent de plus les techniques de contrôle passives pour éviter les phénomènes tels que le retour ou soufflage de flamme, ainsi que les instabilités de combustion. Il est important de préciser qu'il existe plusieurs solutions pour le contrôle de chacun de ces phénomènes : condition thermique des parois/injecteur, position du *swirler*, asymétrie des injecteurs sur l'azimut, utilisation de *quarl* (entourage du brûleur).

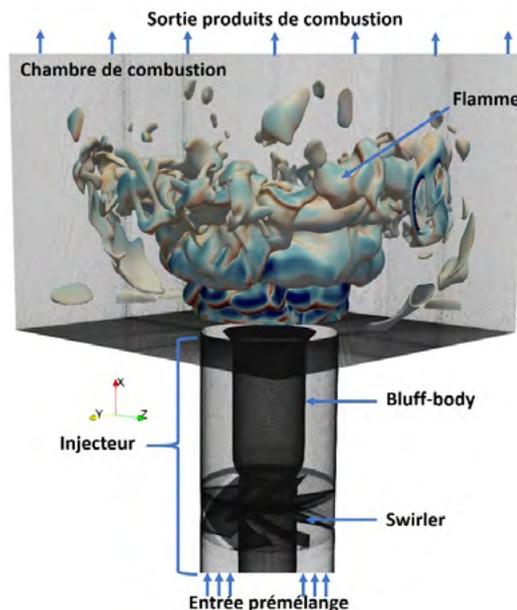


Figure 2: Simulation numérique haute résolution d'une flamme *swirlée* prémélangée. Maillage structuré de 236 millions de cellules. Image de Palies et Acharya, *Combustion and Flame* 2021.

Il existe enfin des outils de prévision et de modélisation de certains de ces phénomènes comme la dynamique de flammes qui peuvent être mise en œuvre en amont. En ce qui concerne les études sur des chambres de combustion type secteur ou chambre annulaire, elles existent mais sont encore rares pour l'hydrogène. Il n'y a pas de démonstrateur à ce jour fonctionnant à l'hydrogène pour lesquelles les conditions d'opération réelles d'un avion sont réalisées. Bien que la question de la conception de l'injecteur et de la combustion soit centrale, il y a par ailleurs de nombreuses autres questions qui doivent être abordées dans la mise en œuvre de l'hydrogène pour l'aéronautique.

## MOYENS ET MISE EN ŒUVRE

En terme de conception de moteur aéronautique fonctionnant à l'hydrogène, il y a tout d'abord quelques questions clés du côté de l'injecteur et donc de la combustion à se poser. La première question est : doit-on faire fonctionner les moteurs exclusivement avec hydrogène ou bien avec ajout d'hydrogène à un autre carburant (kérosène, gaz naturel, biocarburant) et donc où se fait le mélange et l'injection de chacun des carburants ? Cette question est critique sur les choix technologiques au niveau de l'injecteur, son développement et sa démonstration. Un choix très amont est nécessaire. En complément de ce choix, il y a la question suivante : partons-nous d'une architecture existante (injecteur/chambre de combustion) basée sur injection liquide/RQL (*Rich-Burn, Quick-Mix, Lean-Burn*) et nous l'adaptons ou bien proposons-nous une autre architecture type à prémélange complet ? En effet, la combustion prémélangée offre l'avantage de réduire, outre le  $\text{CO}_2$  par l'utilisation d'hydrogène, les  $\text{NO}_x$  de part certaines optimisation discutée dans la section précédente. Par ailleurs, en régime de prémélange, le fonctionnement est en dessous de la stœchiométrie et la température des gaz brûlés est réduite comparée à une injection liquide qui donne une combustion type flamme de diffusion.

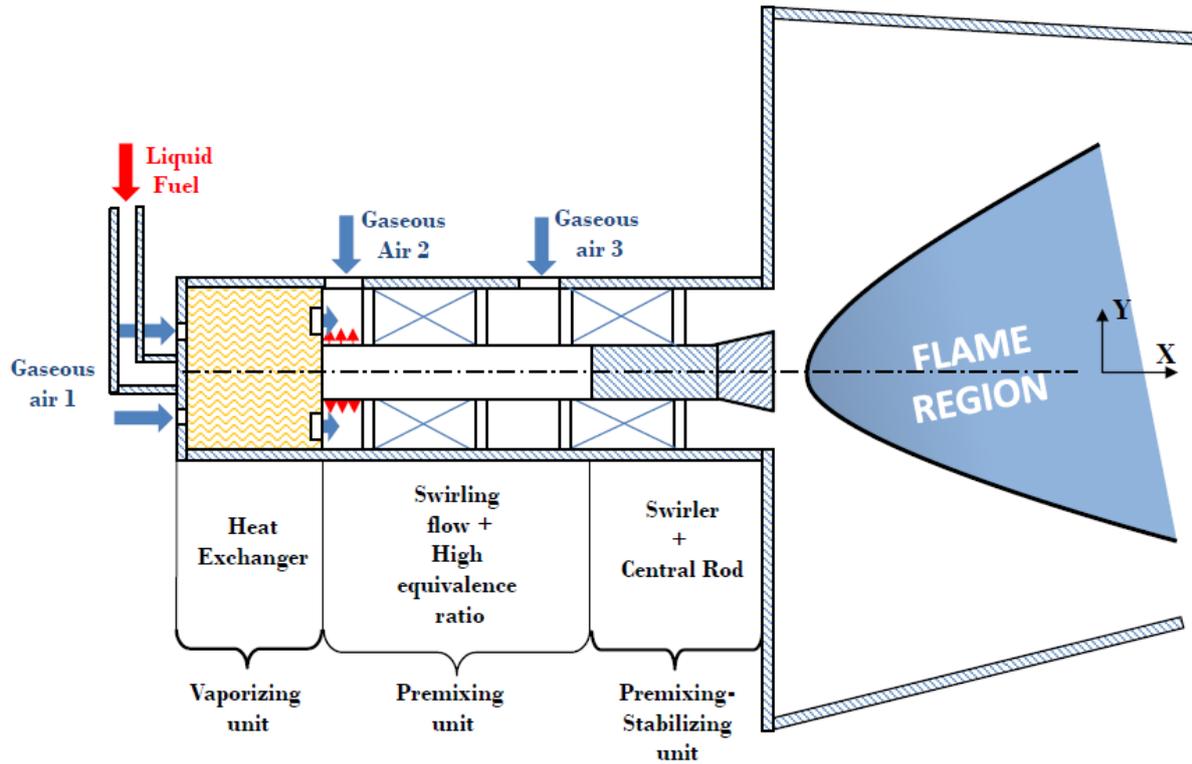


Figure 3: L'injecteur LFP (Lean Fully Premixed) est le seul concept existant pour générer une combustion à prémélange complet pour moteur aéronautique.

Quelle que soit la configuration retenue, il y a une série d'étapes nécessaires pour arriver à l'objectif de faire fonctionner un démonstrateur basé sur la combustion hydrogène en banc d'essai, voire un avion complet. Celles-ci doivent s'articuler autour des différentes organisations nationales et internationales incluant les centres de recherche publics et privés. Cela inclut le CNRS, l'ONERA, la NASA, le DLR, Airbus, Safran, et bien d'autres dont le même objectif serait la conception et la démonstration de cette technologie moteur voire la démonstration système en vol. Pour soutenir et mettre en œuvre un tel projet, il sera nécessaire de créer un comité ou un institut multinational supervisant et dirigeant la mise en œuvre de chacune des étapes et leur validation en s'appuyant sur les outils, laboratoires et moyens expérimentaux qui existent et qui devront être adaptés. La voie s'appuyant sur la création d'un institut dédié, avec de nouveaux moyens expérimentaux tels que cela est fait pour ITER, pourrait apparaître comme une solution conciliant les impératifs de coordinations multinationales et les exigences techniques et de sécurité requises en amont d'un déploiement des infrastructures qui seront nécessaires pour mettre en œuvre la combustion de l'hydrogène. Un tel institut permettrait de concevoir, opérer et démontrer le fonctionnement d'un moteur turbofan à hydrogène, puis d'un avion équipé d'un tel moteur, mais aussi d'établir l'ensemble des actions futures requises pour leur déploiement. Les impératifs de sécurité doivent être présents durant toutes ces étapes en assurant que chaleur, air et fuel ne soient jamais ensemble par conception.

## CONCLUSION

De la combustion de l'hydrogène à l'avion à hydrogène, il y a une longue série d'étapes nécessaires qui doivent être supportées et financées de manière coordonnée par un institut international dédié pour garantir et unifier tous les acteurs nécessaires à ce progrès. Il y a déjà de nombreuses technologies basées sur l'hydrogène dans le transport et l'énergie ; l'aéronautique peut demain envisager de remplacer le kérosène par l'hydrogène en incluant une large coordination.

Cet article a déjà été publié dans la Lettre 3AF n° 47. ■

## CONFÉRENCE

# Mathématiques et défis d'ingénierie : L'exemple de Solar Impulse

PAR CHRISTOPHE BÉESAU, PRÉSIDENT D'INWORKS, MATHÉMATICIEN DU PROGRAMME SOLAR IMPULSE (2003-2016)

Cet article est issu d'une conférence faite par Christophe Béseau le 9 juin 2022 au restaurant du Sénat grâce au soutien du sénateur Stéphane Demilly.



De g. à d. : S. Demilly, Ch. Béseau, général M. Alban, M. Scheller, O. Mousson, B. Chanetz

Monsieur Le Sénateur, Mesdames, Messieurs, Chers Amis

Je remercie **Stéphane Demilly**, sénateur de la Somme, de nous accueillir en ces lieux, où nous nous étions déjà retrouvé le 2 décembre 2022. Je rappelle que notre association a été fondée il y a six ans, en juin 2016, à l'initiative de la Direction scientifique générale de l'ONERA et je remercie son nouveau directeur Riad Haïdar d'être avec nous ce soir. Je vais maintenant évoquer les activités de ce premier semestre 2022.

Le 19 avril, nous avons assisté à une double conférence passionnante de Stéphane Demilly sur *l'Alchimie des singularités et Henry Potez*. Il s'agissait du cinquième événement se déroulant à l'hôtel de l'industrie et je salue la présence ce soir d'Olivier Mousson, président de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, qui nous avait généreusement accueillis à l'hôtel de l'industrie.

Le 12 mai, nous tenions notre huitième table ronde Alumni-ONERA au siège du cabinet de stratégie Oliver Wyman. Le sujet : *Le métaverse dans le secteur Aérospatiale et défense* avec, entre autre, la présence du **général Julien Sabené**, directeur du CESA, *Centre études stratégique aérospatiales*.

Le 3 juin, c'est-à-dire vendredi dernier, nous avons tenu notre cinquième colloque historico-scientifique, à Loudun dans la Vienne. Une brillante synthèse de ce colloque a été faite en fin

de journée par **Pierre Léna**, membre de l'Académie des Sciences, que je remercie également d'être ici. Pierre Léna avait déjà conclu notre colloque d'Hendaye consacré à Antoine d'Abbadie. Ces deux derniers colloques historico-scientifiques ont en effet été réalisés en partenariat avec l'Académie des Sciences et ont eu le privilège d'un parrainage de l'UNESCO. **Alexandre Navarro**, secrétaire général de la Commission Française pour l'UNESCO était venu ouvrir le colloque d'Hendaye. À Loudun ce fut son collègue Jacques Rao, accompagné de deux autres membres de l'UNESCO, témoignant de l'intérêt de cette institution pour nos activités. Autant l'Académie des Sciences que l'UNESCO souhaitent que nous poursuivions dans cette voie et je vous informe que le prochain colloque historico-scientifique aura lieu à Saumur sur Denis Papin le 26 mai 2023. En 2024 ce sera certainement à Montpellier, Pierre Léna venant de me confier un ouvrage sur *l'Abbé Bertholon, un électricien des lumières*, qui était titulaire d'une chaire de Physique en cette ville.

Pour revenir au colloque de Loudun, notre grand regret est de n'avoir pu l'enregistrer, nos partenaires **Rémi Capoulade** et **Meriem Belazzouz** ayant eu un accident de voiture, mais heureusement ils sont parmi nous ce soir. Il n'y aura donc pas de vidéo sur leur chaîne *Coworking channel* mais un fascicule spécifique des *comptes rendus de Mécanique à l'Académie des Sciences*, ainsi que cela avait été fait pour le premier colloque de ce type, déjà réalisé à Saumur en 2017 sur le mathématicien Abraham de Moivre. Je rappelle aussi que c'est au cours du colloque de 2020 à Méaulte sur l'industriel Henry Potez que nous avons fait la connaissance de Stéphane Demilly, alors député de la Somme.

Enfin je voudrais terminer en disant un mot sur le colloque des 22 et 23 septembre prochains sur les nouvelles mobilités que nous ferons dans le Hangar Y dans le cadre de la 4<sup>e</sup> édition du festival aérospatial de Meudon *Star's up*, qui sera ouvert par le sénateur Demilly. **François Desgardin** et **Jean-Philippe Regnault**, président et vice-président du festival *star's up*, sont aussi là ce soir. Nous avons déjà fait dans le cadre *Star's up* le 25 juin 2021, le colloque sur le futur de l'Aérostation et des dirigeables et avons sorti, en partenariat avec la 3AF, *Association aéronautique et astronautique de France*, un n° spécial de la Lettre 3AF qui rassemblait les actes de ce colloque. Nous avons ce soir parmi nous **Michel Scheller**, président d'honneur de la 3AF et ancien président de l'ONERA.

Au cours du colloque de Meudon en 2021, notre orateur de ce soir, **Christophe Béseau**, était intervenu avec **Philippe Tixier**, président de Dirisolar, pour présenter le dirigeable à fond plat. Son article figure dans cette Lettre n° 49, que vous retrouverez sur le site de la 3AF. Vous trouverez également un article de lui dans la Lettre n°50 sur le premier saut en parachute

opérationnel au cours de la guerre de 14, effectué par grand-père le lieutenant Levassor d'Yerville. Ce soir Christophe Béseau, président d'*Innworks*, va nous parler de son activité dans le cadre de l'aventure *Solar Impulse* et je lui laisse la parole.

Bruno Chanetz

## INNOVER, UNE ACTIVITÉ À RISQUE ?

Une étude du CNRS, publiée en 2018, révèle un chiffre étonnant : 7 projets d'innovation sur 10 échoueraient. Les projets d'innovation sont-ils aujourd'hui trop ambitieux ? Ou bien ne sont-ils pas assez bien maîtrisés ? À une époque où le calcul permet de (presque) tout évaluer par simulation numérique, y compris le fonctionnement et la performance des systèmes avant même toute réalisation physique, une telle proportion d'échecs ne peut que surprendre : quelle en est la cause ?

Mon métier de mathématicien et d'ingénieur en modélisation m'a amené à travailler sur de nombreux sujets ouverts et projets incertains. Passionné par la question de la complexité, j'ai entrepris dès 1991 mes premières recherches et analyses sur la complexité des phénomènes que, en tant que mathématicien, et non en tant qu'expert de la discipline en question, il me fallait mettre en équations et expliquer.



Figure 1. L'avion Solar Impulse (HB-SIA) lors de son tout premier test, le 3 décembre 2009

Si la lecture des fondamentaux sur ce sujet (H. Simon, R. May, J.-L. Le Moigne, E. Morin...) a été source d'inspiration (et parfois, également, de frustration), c'est surtout *La structure des révolutions scientifiques* de Thomas Kuhn<sup>1</sup> qui m'a conforté dans l'intuition que certaines informations déjà existantes pouvaient être réexploitées pour tenter de remonter de la complexité intrinsèque de chaque phénomène (ou système) aux causes de cette complexité, et ceci en dépit du fait que ces informations sont déjà connues et n'apportent donc, *a priori*, rien de nouveau.

## DONNÉES ET PARADIGMES

Pour Thomas Kuhn, l'une des forces du paradigme en sciences (au sens de « modèle à suivre car faisant consensus ») est bien de définir un cadre normatif dans lequel les scientifiques peuvent échanger de l'information sans ambiguïté. De ce fait, tout changement de paradigme conduit à ce qu'il appelle « une véritable

révolution » dans la manière de percevoir et de comprendre la réalité.

En particulier, souligne-t-il, un tel changement n'implique ni l'utilisation de nouvelles données pour décrire cette réalité, ni une simple réinterprétation des données existantes : « bien que le monde ne change pas après un changement de paradigme, l'homme de science travaille désormais dans un monde différent ». Et dans ce nouveau monde, les systèmes et les phénomènes sont perçus et compris différemment.

En 1998, Steven Weinberg nuance la vision de Kuhn en introduisant une idée particulièrement intéressante pour les mathématiciens. Selon lui, les théories scientifiques se composent d'un socle *dur*, constitué des équations régissant les phénomènes, et d'une partie *douce*, constituée de l'interprétation de ces équations et du pourquoi elles fonctionnent pour expliquer l'observable. C'est cette partie *douce* qui change, mais la partie *dure*, elle, ne change pas, ou sinon très lentement, par exemple à la faveur d'une généralisation intégrant de nouveaux domaines de validité. Ainsi la théorie de la Relativité comprend-elle celle de la mécanique de Newton, cette dernière restant valable dans la majorité des cas pratiques rencontrés en ingénierie, y compris pour envoyer les rovers les plus sophistiqués sillonner la surface de la planète Mars.

Dans ce contexte, il n'était pas *invisageable* de tenter de mieux comprendre la complexité d'un problème à travers la mathématisation de nouveaux descripteurs définissant, par eux-mêmes, un changement de paradigme, et ceci avec bien sûr l'idée seconde de pouvoir ensuite remonter aux causes de cette complexité. Après tout, les paléontologues eux-mêmes ne renoncent pas à utiliser un squelette partiel, parfois un seul os, pour reconstituer l'animal dans sa totalité, son mode de vie, voire ses habitudes alimentaires !

## LES DÉFIS DU PROJET SOLAR IMPULSE

Le projet Solar Impulse avait pour objectif la réussite d'un tour du monde à bord d'un avion entièrement mû par énergie solaire. Initié en 2003 par Bertrand Piccard, bientôt rejoint par André Borschberg, ce projet s'est déroulé sur une durée totale de 13 années au cours desquelles d'innombrables défis techniques mais aussi humains ont été surmontés.

Mais au-delà des aspects techniques, et comme Bertrand Piccard lui-même l'a expliqué, l'objectif ultime de ce projet précurseur était de promouvoir les énergies renouvelables et

1. Thomas Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, 1970.

2. H. Novotny, P. Scott et M. Gibbons, *Repenser la Science*, Belin, 2003.

l'efficacité énergétique que permettent les nouvelles technologies. Et comment mieux mettre en lumière ces valeurs qu'à travers un projet porteur de symboles et l'accomplissement d'une prouesse défiant l'impossible ?

### REPOUSSER LES LIMITES DE LA FAISABILITÉ

La pré-étude réalisée par une prestigieuse école d'ingénieurs en Suisse laissait en effet peu d'espoir de réaliser un avion capable de voler jour et nuit à l'énergie solaire, exploit jugé infaisable avec les technologies sur étagère en 2003.

Il s'est donc immédiatement posé la question d'identifier les meilleures voies à explorer pour repousser les limites de la faisabilité d'un tel appareil. Quelles technologies retenir pour optimiser l'efficacité énergétique globale du vol ? Comment tirer parti des avantages de chaque solution technique et limiter la propagation des contraintes lorsque ces solutions sont combinées les unes avec les autres au sein d'un système devant assurer un vol jour et nuit ? En d'autres termes, comment être sûr de ne pas pénaliser un critère global de performance en essayant d'optimiser un sous-système de l'avion ? Par exemple, dans quelle mesure pouvait-on conserver le bénéfice d'une augmentation de la masse de batterie embarquée, facteur favorisant le stockage de l'énergie et donc le vol de nuit, alors qu'un avion plus lourd a une finesse réduite, toutes choses étant égales par ailleurs ? Même une question aussi simple et directe que celle-ci devenait, dans le contexte d'optimisation extrême du projet, d'une grande complexité.

Propulsion électrique, collecte et stockage d'énergie solaire, électronique de puissance, irradiation solaire, aérodynamique, météorologie tout autour du globe... Aucune de ces thématiques n'était radicalement nouvelle par elle-même, mais de leur combinaison, de leur intrication au sein d'un système aussi fortement contraint, naissait un défi sans précédent.

Car toutes ces thématiques (et bien d'autres) devaient être intégrées dans le modèle multiphysique simulé qui déterminerait la solution optimale pour le futur avion. Avec, à la clef, des milliers d'équations et d'inéquations implicitement couplées les unes avec les autres, et des milliers de paramètres susceptibles d'entrer dans le processus d'optimisation. Or, le temps nécessaire au développement du modèle simulé avait été initialement estimé à 5 années, alors que les contraintes du projet ne nous laissaient que 18 mois pour le réaliser.

### QUAND LES CHEVEUX S'EN MÊLENT

En travaillant dès le départ sur les descripteurs de complexité détaillant les caractéristiques du modèle simulé à construire, l'analyse de la mathématique du problème et en particulier de la nature des équations à résoudre avait révélé très tôt d'étonnantes similarités avec un autre problème très fortement paramétré auquel moi-même et mon équipe avions<sup>3</sup> apporté une réponse particulièrement efficace, quelques mois plus tôt : il s'agissait de la modélisation de la croissance d'un follicule pileux, véritable racine

intradermique du cheveu.

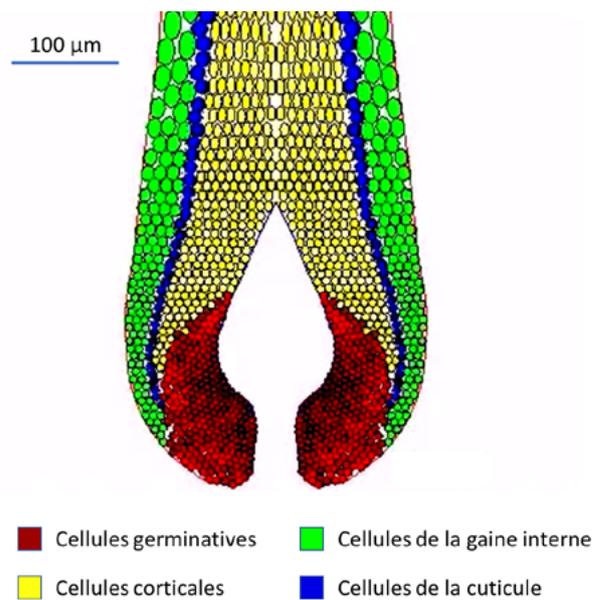


Figure 2. Simulation de la croissance d'un follicule pileux

Mais comment deux problèmes aussi éloignés l'un de l'autre en apparence peuvent-ils avoir des similarités aussi fortes ? Tout l'intérêt du choix pertinent des descripteurs de complexité est bien de définir un espace multidimensionnel dans lequel les « distances » entre les problèmes peuvent être mesurées, révélant ainsi des proximités parfois surprenantes mais riches d'intérêt.

Dès lors, il nous était possible d'accélérer drastiquement la construction de la simulation multiphysique en déterminant directement, et avec un niveau de confiance élevé, la façon d'organiser le calcul de chaque sous-système et d'optimiser l'ensemble des couplages nécessaires au sein du modèle global. Et tous les ingénieurs en modélisation savent combien cette question du couplage est délicate tout autant que cruciale !

Aucun solveur ne pouvant traiter un problème aussi fortement paramétré, déterminer les solutions menant aux meilleures performances de l'avion nécessitait une approche différente. Or, en utilisant les descripteurs précédemment construits, il devenait possible d'estimer l'influence probable de la plupart des facteurs sur les performances de l'avion. Ainsi le problème d'optimisation pouvait-il être réduit de façon très significative et guidé par une démarche structurée, sans nécessiter une exploration "en aveugle", aussi risquée en termes de performances atteintes que coûteuse en temps.

Les tout premiers vols furent source d'un certain stress, après les dix-huit mois d'études d'optimisation et les cinq ans d'ingénierie et de fabrication de l'avion. L'heure de vérité était venue : quel était le rendement énergétique obtenu ? Le verdict tomba avec les mesures réalisées lors du premier vol d'essai du 7 avril 2010 : l'avion surperformait la simulation de 1,5%, c'est-à-dire que nos calculs étaient très légèrement pessimistes, ce qui était exactement l'objectif recherché.

3. Chez Altran.

## FRANCHIR LES OCÉANS ?

Le premier avion solaire, HB-SIA, avait permis la réalisation de bien des records. Dix ans plus tard, son successeur spécialement conçu pour les vols de longue durée, HB-S12, réussissait ses premiers essais. Ce délai avait bien sûr été mis à profit pour continuer l'exploration des descripteurs de complexité sur un grand nombre d'autres projets.

Rodée et disposant de tous les outils nécessaires validés sur de nombreux vols, l'équipe du Mission Control Center était quant à elle fin prête à accompagner les pilotes dans le défi du tour du monde aérien. Il restait cependant une question ouverte, aussi intéressante que difficile techniquement : comment estimer la stabilité des prévisions météorologiques le long de la route suivie par l'avion, en particulier lorsqu'il s'aventure à franchir les océans ?

La dynamique des systèmes météo est d'une grande complexité, et il ne s'agissait bien sûr ni de recommencer le calcul des prévisions fournies par la NOAA<sup>4</sup>, ni de remettre en cause les interprétations réalisées par l'équipe météo, mais plutôt de quantifier rationnellement cette stabilité du décollage à l'atterrissage de l'avion.

Les données de la NOAA sont en effet actualisées par cycles de 6 heures et, en fonction de la dynamique propre des systèmes de basses et hautes pressions qui composent l'atmosphère, l'évolution de la prévision d'un cycle à l'autre pour un point donné est plus ou moins marquée. Or, plus la prévision concerne une période lointaine, moins elle est fiable, ce qui signifie aussi que sa stabilité probable diminue. Cette conséquence était donc à la fois gênante pour les vols longs (jusqu'à 120 heures, soit 5 jours pour l'étape de Nagoya à Hawaï) et complexe à quantifier sur une trajectoire couvrant plusieurs milliers de kilomètres.

## DÉPLIER L'ORIGAMI SPATIO-TEMPOREL

Cette interrogation sur la stabilité des prévisions météo allait nous servir de cas d'école pour essayer de répondre à une autre question : est-il possible d'analyser la complexité d'un système, non pas uniquement en raisonnant à partir d'équations déjà connues décrivant ses sous-systèmes, mais en prenant également en compte un ensemble de données caractérisant le comportement de ce système ?

Car si d'innombrables travaux ont bien sûr été menés sur la question de la stabilité des grands systèmes depuis le célèbre article de R. May<sup>5</sup>, il se trouvait que la configuration particulière de notre problème (les équations différentielles impliquées n'ayant généralement pas de solution analytique) contraignait à utiliser une approche non-conventionnelle. Ainsi, il fallait combiner l'élaboration de familles-types de relations de la physique et de la thermodynamique avec l'utilisation de données permettant

de reconstituer des heuristiques de couplages spatiaux mais aussi temporels, significatifs de l'évolution des scénarios météorologiques.

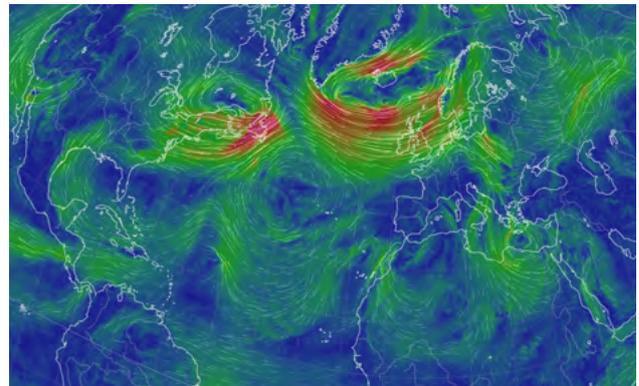


Figure 3. Systèmes de hautes et basses pressions sur l'Atlantique Nord. Les couleurs indiquent l'intensité des vents associés, de la plus faible (vert clair) à la plus intense (rouge).

De telles investigations supposaient la capacité de travailler simultanément sur des dizaines de prévisions<sup>6</sup> composées chacune de 20 cycles successifs couvrant les 120 heures requises, le long d'une trajectoire parcourant des milliers de kilomètres. Par ailleurs, l'une des étapes de calcul consistait en une découpe pertinente de l'espace et du temps, livrés au regard tel un origami déplié. Cependant, la méthode récursive utilisée, très efficace, s'avérait gourmande en ressources matérielles. Enfin, il était évidemment indispensable d'effectuer ces calculs bien avant la disponibilité des données du cycle suivant, c'est-à-dire dans un délai maximum de 6 heures, sans quoi les résultats obtenus auraient utilisé de fait des données déjà obsolètes. Les exigences en termes de puissance de traitement nécessaire étaient donc réelles. Disponible dès fin 2015, c'est un calculateur parallèle<sup>7</sup> qui allait assurer la totalité de ces traitements en moins d'une heure.

C'est ainsi que la stabilité des prévisions météorologiques de chacun des vols réalisant la seconde moitié (2016) du tour du monde aérien de l'avion Solar Impulse a pu être évaluée avec ce système expérimental. Les analyses de validation effectuées au long des prévisions successives ont également montré que les critères quantitatifs élaborés par cette méthode de travail permettaient d'anticiper efficacement la dynamique d'évolution des conditions météorologiques en un point donné de la trajectoire, c'est-à-dire la stabilité de la prévision en ce point. L'extension des critères de stabilité à une trajectoire complète était maintenant une question de choix : extremum obtenu parmi l'ensemble des points de la trajectoire, raisonnement différencié en fonction de l'altitude de l'avion, combinaison ou non de critères selon les phénomènes physiques impliqués : turbulences, humidité relative, etc.

4. National Oceanic and Atmospheric Administration.

5. Robert May, *Will a Large Complex System be Stable?* (1972).

6. Il s'agit des ensembles, c'est-à-dire de toutes les prévisions réalisées pour la même date et représentant en quelque sorte les multiples scénarios possibles d'évolution de la météo.

7. Calculateur Ulysse CDR-2 (Inworks).

## L'ÉNIGME DES BOULOCHES TEXTILES

Restait enfin à déterminer de quelle manière ce cas d'école éclairait la possibilité de caractériser la complexité d'un système par l'utilisation conjointe d'équations connues et de données caractéristiques (grandeurs physiques estimées par les prévisions successives). En effet, et bien qu'élaborés empiriquement, les critères de stabilité avaient été démontrés pertinents ; dans ce cas, pouvait-on s'attendre à ce que les équations associées à ces critères apportent une information nouvelle permettant de mieux déterminer les descripteurs de complexité du problème ?

L'analyse réalisée à cet effet a montré un résultat surprenant à première vue : parmi tous les problèmes décrits dans la base de données de complexité, le plus proche « voisin » du problème de stabilité des prévisions météorologiques est un problème de croissance et d'évolution des bouloches textiles à la surface d'un velours !

Une analyse plus poussée de ce résultat explique cette énigme : même si les deux problèmes n'ont pas de ressemblance d'un point de vue physique, le calcul des descripteurs de complexité trouve, dans ce cas précis, des similarités significatives dans les équations de couplage des facteurs descriptifs de la tribologie des textiles d'une part, et de la dynamique des systèmes de basses et hautes pressions composant l'atmosphère, d'autre part... Une forme de « ressemblance » conceptuellement passionnante, et qu'il aurait été probablement difficile de soupçonner a priori.

Ainsi, et bien que restant à approfondir, cette démarche exploratoire ouvrait de fait la séduisante perspective de pouvoir analyser la complexité de tout problème mal décrit (en termes d'équations), voire d'une « boîte noire », si tant est que des données comportementales pertinentes sont disponibles !

## ANALYSE ET EXTENSIONS FUTURES

Toute démarche scientifique s'appuyant sur le principe de répétabilité, il était important d'explorer le domaine de validité de ces acquis et d'en affiner la maîtrise. Et si les heuristiques en elles-mêmes ne sont pas de la science, la science peut s'appuyer avec profit sur des heuristiques pour alimenter ses propres processus de découverte, y compris dans le domaine des mathématiques et de l'ingénierie.

Les descripteurs de complexité et les heuristiques associées présentés ci-dessus ont donc été généralisés et complétés, puis déployés sur plus de 150 projets d'innovation, dans une vingtaine de secteurs aussi variés que la science des matériaux, l'aéronautique, le soudage laser, la biotechnologie, la fabrication des composants optiques ou la physico-chimie des polymères.

Ce retour d'expérience peut-il éclairer le surprenant taux d'échec des projets d'innovation évalué par l'étude du CNRS, par exemple en identifiant des causes techniques de paralysie ?

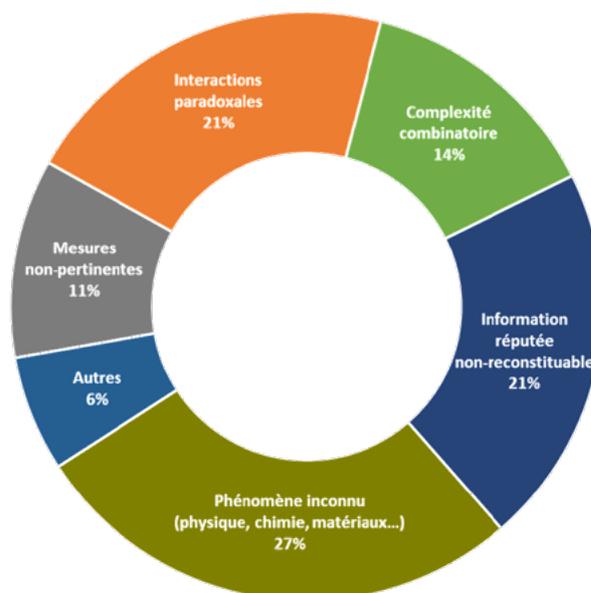
L'analyse montre que 5 causes déterminent 94% des situations de blocage extrême des projets :

- Dans 27% des cas, c'est l'existence de phénomènes inconnus (ou parfois non soupçonnés dans le contexte du projet) qui cause le blocage.
- Les interactions paradoxales, c'est-à-dire influençant le phénomène ou le système d'une façon opposée à ce qui est attendu, représentent 21% des cas, à égalité de fréquence avec les informations non utilisées car réputées (à tort) impossibles à reconstituer : effet de boîte noire, mesure irréalisable, etc.
- Les problèmes de complexité combinatoire représentent 14% des cas et n'affectent pas seulement des questions de performances, mais aussi de stabilité difficile des systèmes.
- La présence de mesures ou données non-pertinentes (mesures avec erreurs insoupçonnées, données non fiables...) représente 11% des cas.
- Enfin, d'autres causes complètent cette répartition, dans des proportions moindres, comme des erreurs humaines ou des effets d'échelle qui ne sont pas maîtrisés.

Soulignons que sur de nombreux projets, les causes racines ont pu être multiples, c'est-à-dire parfois coexistantes au sein du même système (ou sous-système), ou bien réparties dans différents sous-systèmes.

Tous ces résultats encouragent bien sûr à aller plus loin et à étendre les raisonnements qui ont initié ces travaux.

Ainsi, l'étape suivante, déjà en cours, consiste-t-elle à développer un processus de Machine Learning afin de traiter la base de données de complexité existante et d'en déduire plus rapidement les préconisations adaptées à l'analyse ou à la modélisation de nouveaux phénomènes ou systèmes complexes.



Répartition des causes de blocages extrêmes © 2023 Inworks ■

## CONFÉRENCE

# Parcoursup, à la croisée des chemins entre l'adolescence et l'âge adulte

PAR CLAIRE MATHIEU DIRECTRICE DE RECHERCHE AU CNRS, MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

*Cet article est issu d'une conférence « les algorithmes pour la société » faite le 12 décembre 2022 par Claire Mathieu au restaurant du Sénat grâce au soutien du sénateur Stéphane Demilly.*



*De g. à d. E. Ciampi, S. Demilly, P. Léna, A. Navarro, C. Mathieu, général J. Sabéné, Ph. Lacroute*

Monsieur le sénateur, mon général, chers amis,

Nous voici pour la seconde fois en 2022, réunis en ces lieux grâce à Stéphane Demilly, sénateur de la Somme. Merci donc cher Stéphane pour votre accueil. Le 9 juin dernier, c'était à l'occasion d'une conférence sur les mathématiques pour le programme Solar Impulse. Mais avant de présenter Claire Mathieu, qui parlera ce soir d'algorithmes, je vais évoquer les temps forts de notre association Alumni ONERA au cours du semestre qui s'achève :

- En juillet 2022 est paru le premier numéro de notre revue TRAJECTOIRE(S) qui faisait le point sur les activités de l'année 2021. En couverture le colloque d'Hendaye en hommage à Antoine d'Abbadie.
- Les 22 et 23 septembre eut lieu notre colloque sur les *Nouvelles mobilités*, parrainé par Stéphane Demilly, au nom de la *commission de l'aménagement du territoire et du développement durable* au Sénat. Ce colloque se déroula à Meudon dans le cadre du festival star's up, au Hangar Y magnifiquement restauré grâce à Culture et Patrimoine. Son directeur Didier Gouband a promis d'accueillir notre colloque scientifique annuel, pour les trois prochaines années, soit jusqu'en 2025. C'est une grande chance de pouvoir bénéficier de ce lieu prestigieux et ainsi d'organiser des colloques librement accessibles à tous.

Les actes du colloque sur *les nouvelles mobilités* viennent d'être publiés dans un numéro spécial de TRAJECTOIRE(S).

Cette édition a été remarquablement mise en page par **Arnaud Le Ouëdec**, qui est aussi présent ce soir et que je remercie chaleureusement pour sa patience dans les corrections.

Je remercie aussi tout particulièrement les sponsors de ce n°2 de TRAJECTOIRE(S) qui ont accepté de faire paraître une annonce et qui sont là ce soir :

- **Patricia Jonville** pour la SNCF ;
- **Nicolas Marescaux** pour la MACIF
- **Eric Ciampi** pour OLIVER WYMAN

Et demain 13 décembre, une table ronde sur la Blockchain est organisée au siège d'Oliver Wyman. Lors de la précédente, le 12 mai dernier nous avons évoqué *le Métaverse*. J'ai déjà reçu, pour le n°3 de TRAJECTOIRE(S), un passionnant article du **général Julien Sabéné**, chef d'état-major du commandement des forces aériennes, qui participait à cette table ronde et qui nous fait l'honneur d'être avec nous ce soir.

Je vais maintenant évoquer les différents colloques programmés en 2023 :

- le grand colloque scientifique annuel dans le cadre du festival Meudonnais star's up au Hangar Y se déroulera les 21 et 22 septembre 2023, sur le thème du NewSpace ;

Deux colloques historico-scientifiques sont programmés en 2023 :

- le premier le 26 mai à Saumur en hommage à Denis Papin ; vous avez le flyer devant vous. Comme en 2021 à Hendaye et en 2022 à Loudun, l'Académie des Sciences et l'UNESCO nous ont renouvelé leur confiance. Merci à **Pierre Léna**, membre de l'Académie des Sciences d'être présent, ainsi qu'à **Alexandre Navarro**, secrétaire général de la commission nationale Française pour l'UNESCO ;
- le deuxième colloque, les 7 et 8 décembre 2023, aura lieu à l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Paris-Malaquais en hommage à Gustave Eiffel, en partenariat avec l'IESF, la grande association des ingénieurs et scientifiques de France.

Ces colloques rencontrent une grande audience, puisqu'au-delà des participants, les vidéos sont ensuite disponibles sur la chaîne coworking channel, fondée par Rémi Capoulade et Meriem Belazouz. Merci à eux d'être ici ce soir et de nous accompagner fidèlement pour capter ces événements et ainsi

leur donner une seconde vie avec des dizaines de milliers de vues.

L'intérêt suscité par ces colloques nous permet en effet de nouer des partenariats avec de puissantes associations :

- Je viens de citer la société des ingénieurs et scientifiques de France
- En 2024, ce sera un colloque sur l'abbé Bertholon, électricien des Lumières, qui aura lieu à Montpellier, en partenariat avec la SEE, société de l'électricité, de l'électronique et des technologies de l'information et de la communication. Cette idée d'un colloque Bertholon a été inspirée par *Pierre Léna*, qui m'avait confié l'ouvrage de son confrère à l'Académie Jean-Paul Poirier sur la vie de Bertholon.

J'ai maintenant le plaisir d'introduire notre conférencière *Claire Mathieu*, également membre de l'Académie des Sciences. *Claire Mathieu* est directrice de recherche en informatique au CNRS. Elle fut professeur à l'université d'Orsay, à l'École Polytechnique, à l'université de Brown aux États-Unis, ainsi qu'au Collège de France. Elle travaille sur les algorithmes et a en particulier participé à la conception des algorithmes utilisés par la plateforme *Parcoursup* pour l'affectation des étudiants aux formations de l'enseignement supérieur. J'ai eu la chance de faire la connaissance de *Claire Mathieu* à Versailles chez mes cousins *Serge* et *Nicole Bellon*, présents ce soir et envers qui je suis reconnaissant de cette rencontre. Je remercie chaleureusement *Claire Mathieu* d'avoir accepté de nous donner ce soir une conférence sur les *algorithmes dans la société*.

Bruno Chanetz



*Claire Mathieu*

*Parcoursup* est depuis 2018 la plateforme qui organise l'affectation des étudiants aux formations de l'enseignement supérieur. L'affectation repose sur l'algorithme de Gale et Shapley pour construire une affectation stable, c'est-à-dire dans laquelle aucune paire (étudiant, formation) n'aurait mutuellement intérêt à faire affaire en dehors du système. L'algorithme de Gale et Shapley, connaissant les préférences des formations et leurs capacités d'une part, les vœux des étudiants et leurs hiérarchisations d'autre part, procède par phases au cours desquelles chaque formation fait autant d'offres qu'elle a de places libres, puis chaque étudiant refuse toutes les offres reçues jusqu'à présent sauf sa préférée parmi celles-là, qu'il accepte temporairement. Cette acceptation temporaire lui permet de changer d'avis si une formation acceptée lors d'une phase précédente est supplantée lors d'une phase ultérieure par une offre d'une formation qu'il lui préfère; après une phase sans activité, les acceptations temporaires deviennent définitives et définissent l'affectation finale des étudiants aux formations.

L'algorithme de Gale et Shapley a de nombreuses qualités de robustesse. Ainsi, au lieu de procéder en phases synchrones, on pourrait à la place prendre une seule formation qui a une place libre et qui ferait une offre à la personne suivante dans son classement: cela conduirait au même résultat. Si un étudiant disparaît, on peut reprendre l'exécution de l'algorithme, la formation que cet étudiant avait acceptée faisant une offre au suivant dans son classement, d'où potentiellement une cascade de changements, et cela conduit

au même résultat que si l'étudiant n'avait jamais été là. On pourrait également décliner une version alternative de l'algorithme, dans laquelle les étudiants font des offres et les universités acceptent temporairement, et le résultat serait similaire si les préférences sont corrélées. Enfin, on observe que l'algorithme n'a pas besoin de connaître à l'avance les hiérarchisations faites par les étudiants : ce n'est que lorsqu'un étudiant a reçu plusieurs offres que l'algorithme a besoin, avant de poursuivre son exécution, de savoir laquelle l'étudiant préfère parmi toute celles qu'il a reçues.

C'est cela qui a conduit à l'une des innovations de *Parcoursup* : demander aux candidats de donner la liste des formations auxquels ils candidatent, mais sans en faire une hiérarchisation a priori. L'algorithme se déroule alors en contactant directement les candidats en cours d'exécution lorsque l'algorithme a besoin de savoir ce qu'ils préfèrent entre plusieurs formations. Cela conduit alors à une exécution qui se mesure en jours, semaines, voire mois, mais en s'ajustant continuellement aux nouvelles informations : réponses des candidats sur leurs préférences entre plusieurs offres, et démissions d'étudiants de la plateforme, qui libèrent ainsi des places, lesquelles peuvent être aussitôt réaffectées.

Une autre innovation de *Parcoursup* a été l'introduction de «taux» de boursiers. En fait, il s'agit d'une sorte de quotas. La loi garantit aux boursiers un certain pourcentage d'accès à l'enseignement supérieur. Pour la mettre en place, il fallait adapter l'algorithme; et cette adaptation a nécessité une étape préalable de compréhension de la signification mathématique de la loi. De telles actions nécessitent donc un dialogue entre concepteurs d'algorithmes et spécialistes du droit : les algorithmes ne font pas la loi, ils l'appliquent, mais pour cela, la loi doit spécifier des conditions techniquement réalisables et suffisamment précises pour être traduisibles en instructions exécutables par un programme ; d'où nécessité de dialogue lors de la conception.

Autrefois, il n'y avait pas besoin de *Parcoursup*: les bacheliers étant peu nombreux, ils pouvaient s'inscrire dans la formation universitaire de leur souhait. Certaines formations n'avaient que peu d'inscrits, mais on s'adaptait aux vœux des étudiants. Une telle approche est généreuse, car elle nécessite de faire des dépenses pour des formations qui ne seront que peu remplies, peut-être très

loin de leur capacité. Lorsque seule une petite minorité de jeunes adultes d'une génération accède à l'enseignement supérieur, ce «gaspillage» des ressources peut être absorbé. Mais cette approche devient trop coûteuse quand la grande majorité d'une génération continue ses études dans l'enseignement supérieur. On ne peut que se réjouir de cette élévation du niveau d'études de la population générale, mais elle oblige l'enseignement supérieur à s'adapter. L'algorithme de Gale et Shapley aide à remplir efficacement les formations jusqu'à capacité, en «tassant» les personnes tout en essayant de satisfaire les préférences des uns et des autres le mieux possible, tout en sachant que ce qui serait encore mieux que ce mieux possible, ce serait d'avoir les ressources pour financer une augmentation des capacités. L'algorithme de Gale et Shapley fait le meilleur remplissage possible, pour des capacités (et donc des ressources) données. Pour accepter *Parcoursup*, il faut admettre la limite sur les ressources — c'est à dire sur les capacités des formations.



*Parcoursup* a commencé en 2018. Cette année-là, la somme de toutes les capacités de toutes les formations était plus que suffisante pour trouver une place pour tout le monde. Mais une autre difficulté du système réside dans la rigidité du système universitaire. Il y a des universités, des salles de cours et de TDs qui ont certaines capacités prévues lors de la construction des bâtiments, des enseignants-chercheurs formés par une dizaine d'années d'études prédoctorales, doctorales et postdoctorales dans un domaine de spécialité très pointu, et recrutés pour 30 ou 40 ans. La flexibilité des bâtiments et des enseignants est limitée. Lorsque soudain une génération de bacheliers délaisse les études dans un domaine et veut faire une licence de sciences et techniques des activités physiques et sportives (STAPS), on ne peut pas transformer le domaine des professeurs d'université déjà en place, et la formation des nouveaux enseignants-chercheurs prendra une dizaine d'années. Actuellement, du point de vue de la quantité de places disponibles, il n'y a pas une bonne adéquation entre les vœux des bacheliers et les formations offertes à l'université. De plus, il n'y a pas toujours une bonne adéquation non plus entre les formations souhaitées par les bacheliers et les formations recherchées par le monde du travail, donc l'université se trouve tiraillée entre les trois : sa panoplie historique de formations, construite au fil des dernières dizaines d'années; les formations recherchées par les bacheliers; et les formations dans lesquelles les entreprises cherchent à recruter. Équilibre impossible. Pour accepter *Parcoursup*, il faut admettre que ce problème dépasse celui de la conception d'une plateforme efficace.

Dans ce monde imparfait, il faut donc essayer de faire au mieux avec l'existant : les ressources qui nous sont données, les formations telles qu'elles existent, les étudiants avec leurs préférences. Faire au mieux en tenant compte de l'existant, c'est cela que permet l'algorithme de Gale et Shapley.

Cependant, se pose une problème d'échelle et de précision. On peut imaginer un monde idéal dans lequel les formations s'adapteraient graduellement à la population étudiante. Pour chaque candidat, il y aurait une formation qui lui correspond parfaitement, et pour chaque formation, un ensemble d'étudiants qui lui conviennent parfaitement. Si on pense à la métaphore usuelle pour l'algorithme de Gale-et Shapley, celle du mariage entre des hommes et des femmes, dans cette vision idéalisée, chacun cherche à se marier avec sa «moitié», et à chaque rencontre, se demande si c'est «le bon», si lui ou elle est sa moitié, celle ou celui qui le complète parfaitement. Ainsi, l'algorithme de Gale et Shapley permettrait de trouver l'accord parfait. On aurait pu espérer que petit à petit les formations évoluent pour que le profil de l'ensemble des formations corresponde de manière de plus en plus ajustée aux profils des candidats. Mais là arrive la difficulté des grands nombres, de l'incertitude, et de l'imprécision. Pour que cette vision ait une chance de se réaliser, il faudrait que les candidats puissent mettre leur formation idéale dans leur liste de préférences, alors qu'il y a près de 20 000 formations différentes ! Il faudrait aussi qu'ils connaissent leur ordre de préférence entre les formations, alors que, en dehors des formations proches de chez eux, leurs informations sont limitées. Et enfin il faudrait que les formations soient capables de classer les candidats au vu des dossiers, alors que, ne les ayant pas rencontrés et ne connaissant même pas leurs lycées (sauf les plus proches de la formation), et étant confrontés à l'hétérogénéité croissante des profils consécutive à la réforme du lycée, ils ont le plus grand mal à calibrer les notes et appréciations et à évaluer les candidatures. Résultat de toutes ces incertitudes et imprécisions : un paysage si complexe que la vision idéale ne peut pas se réaliser. Peut-être est-on allé trop loin dans la recherche de la différenciation entre formations et entre candidats ; l'amélioration passe peut-être par une simplification, qui passerait peut-être par une homogénéisation des formations similaires, de leurs classements, et des éléments d'évaluation dans les dossiers des candidats.

Au début, *Parcoursup* a suscité de nombreuses inquiétudes. C'est normal : c'était nouveau. Mais au fil des années, la familiarité n'a pas engendré le confort espéré. La transition entre l'adolescence vécue dans un environnement familial et proche du domicile, et l'âge adulte avec des études dans un lieu qui pourrait être n'importe où en France, avec des milliers de possibilités, est une période difficile, et *Parcoursup* essuie un peu les plâtres. Beaucoup des difficultés relèvent non de la plateforme mais de propriétés intrinsèques à l'enseignement supérieur, mais d'autres doivent être améliorées. Il ne faut pas que l'incertitude sur leur avenir et la surabondance des formations potentiellement possibles donne aux jeunes presque-bacheliers l'impression d'être noyés et leur enlève la joie de découvrir le monde des études supérieures, où ils pourront se focaliser sur un domaine d'intérêt, approfondir leurs connaissances, et se former pour un futur métier. Le temps des études est une aventure. ■

## CAHIER

# 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.

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.

*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.*



### INTERVENTION DE JACQUES RAO, CONSEILLER DE LA COMMISSION NATIONALE FRANÇAISE POUR L'UNESCO (CNFU), 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 17<sup>e</sup> 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 XIX<sup>e</sup> siècle. Par ses multiples correspondances avec plusieurs savants de son époque (Huygens, Pascal, Grotius, Gassendi, Hévélius) 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 100<sup>e</sup> 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*.

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.



Marie-Claire Coët et Thérèse de Laplane



Assistance dans la salle basse de l'Echevinage

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 ont donné à plusieurs reprises l'opportunité de contribuer à des événements ou projets mêlant science et histoire.

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'UNESCO à Paris, puis auprès de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe à Genève et, enfin auprès d'EUROSTAT à Luxembourg.

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 à lui seul était tout un programme !



Menu

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 systèmes d'optique adaptative des télescopes de l'observatoire européen du Chili. Il a notamment été responsable du développement d'une optique adaptative dédiée 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*.

## QUELQUES RÉFLEXIONS POUR CONCLURE PAR PIERRE LÉNA, MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

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 événements ; 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 XVII<sup>e</sup> 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 Boulliau, 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 Conon 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).

### 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 XI<sup>e</sup> 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 (XV<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> 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



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.



Pierre Léna



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. ■

## CAHIER

# 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<sup>E</sup> 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<sup>1</sup>.

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 XIII<sup>e</sup> 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 XVII<sup>e</sup> siècle, on l'appelle « Le Grand Château<sup>2</sup> ». Elle enferme « Le Petit Château » : un puissant donjon philippin et son propre système de fortifications.

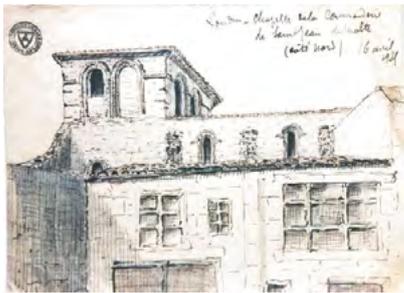
Le bois gravé de Louis Charbonneau-Lassay nous a montré une ville-forteresse. Loudun est également un maillon actif de l'administration royale, centre d'un bailliage, premier échelon de

1. « Naissance d'une ville au XVII<sup>e</sup> siècle, la création de Richelieu et ses conséquences », Brigitte Maillard, Vivre en Touraine au XVIII<sup>e</sup> 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.

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.

C'est aussi une ville protestante. En ce début du XVII<sup>e</sup> siècle, les protestants représentent environ 40 % de la population mais ils sont majoritaires dans les élites<sup>3</sup>. 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 XVI<sup>e</sup> siècle, écrit Paul Raveau<sup>4</sup>, 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 XVI<sup>e</sup> 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<sup>5</sup>.

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 réparables 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 XVI<sup>e</sup> 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.

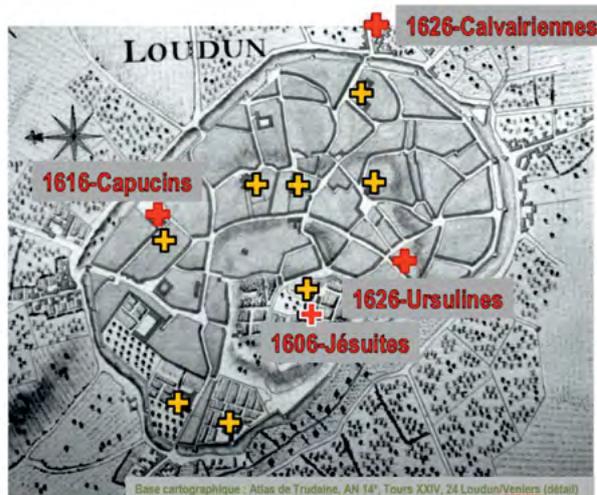
La contre-attaque catholique est en marche, marquée, sur le plan national, par l'élimination de la puissance politique et militaire des protestants. À Loudun, l'équilibre entre les deux confessions s'inverse, en faveur des catholiques.

### 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.



- + Principaux établissements religieux au début du XVII<sup>e</sup> siècle
- + Nouveaux établissements religieux en 1630
- + Les Jésuites ont remplacé les Dominicains

#### 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<sup>6</sup>.

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 événements 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<sup>7</sup>, 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 événements 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

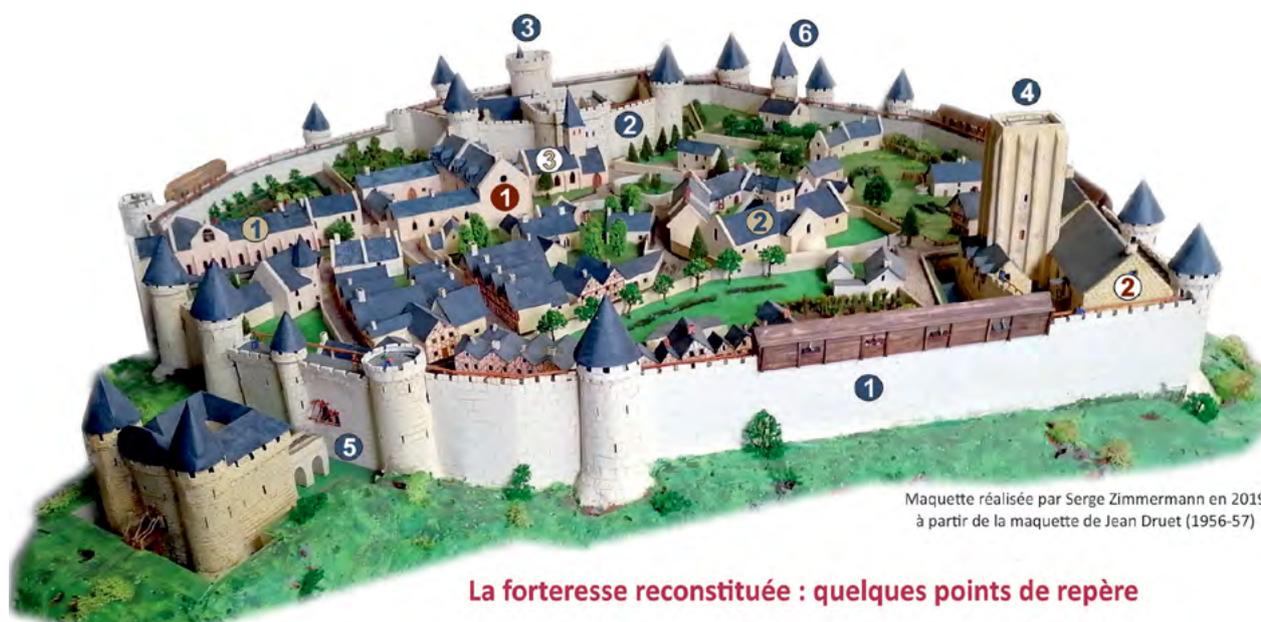
Envisagée en 1622, immédiatement après la fin du siège de Royan, la destruction du « Grand Château » qui ceinture la colline est décidée en 1629, après le siège de La Rochelle et réalisée en 1631, sous la direction de l'envoyé spécial du roi, Jean Martin de Laubardemont, qui vient de démanteler Royan.

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

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.



Maquette réalisée par Serge Zimmermann en 2019 à partir de la maquette de Jean Druet (1956-57)

### La forteresse reconstituée : quelques points de repère

#### OUVRAGES MILITAIRES

- ① Enceinte du « Grand Château »  
(En 1569, un premier démantèlement lui a fait perdre ses toits et ses créneaux)
- ② Enceinte du « Petit Château »
- ③ Donjon
- ④ Tour Carrée
- ⑤ Grand-Portail et son châtelet d'entrée
- ⑥ Poterne (entrée secondaire)

#### OUVRAGES CIVILS

- ① Hôtel de La Jaille  
(palais des gouverneurs détruit avec le « Grand Château »)
- ② Palais des ducs d'Anjou  
(détruit pour cause de ruine à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle)

#### ÉDIFICES RELIGIEUX

- ① Notre-Dame-du-Château  
(Jésuites de Poitiers)
- ② Collégiale Saint-Léger-du-Château
- ③ Chapelle du donjon  
(probablement déjà ruinée à l'époque d'Ismaël Boulliau)

Cette forteresse est essentiellement connue grâce aux fouilles de Joseph Moreau de La Ronde dont les résultats ont été utilisés par Louis Charbonneau-Lassay dans *Les Châteaux de Loudun d'après les fouilles archéologiques de M. Joseph Moreau de La Ronde, Loudun, 1915*

Maquette de la forteresse

L'imposant donjon philippin 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.* ■

## CAHIER

## La vie d'Ismaël Boulliau

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



Portrait 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, exécration 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 Merenne. 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 Philolaus. 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 Renaudot, 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 plaît, 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 confèrent 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 fait 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 supplie 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 Secrétaires de l'Ambassade. [6]* ». Comment pourrait-on mieux dire plus concrètement les choses ? Le secrétariat de l'ambassadeur dura exactement 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 entretenait 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 celui 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 continue 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, abbé 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'accueille 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'écrivit 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 testamnt 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-CHAPPELAINE, op. cit., pp. 28-29 et pa. 31, n. 36-41. ■

## CAHIER

# 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.

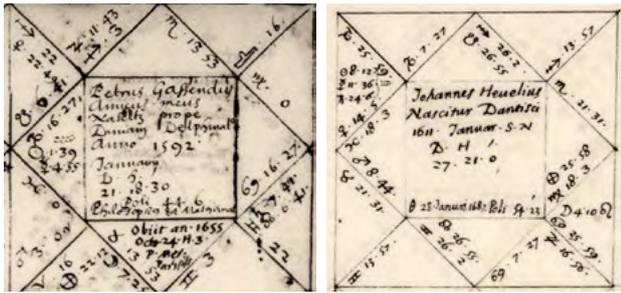
Sa jeunesse et ses années d'études sont entourées d'un voile de mystère, car il ne reste que peu de lettres de cette époque, sa correspondance avec sa famille ayant disparu. Cependant les horoscopes qu'il tira des membres de sa famille renseignent quelque peu sur cette période. Mais les notes ne concordant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

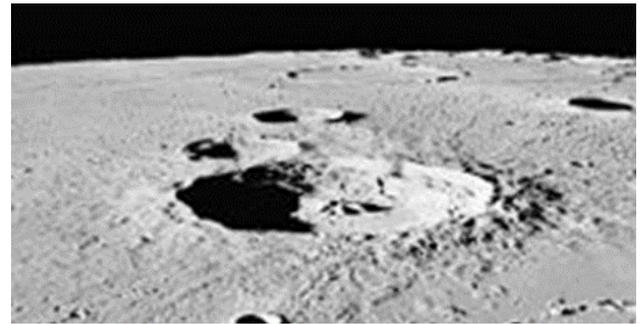


Horoscopes de Gassendi et Hevelius

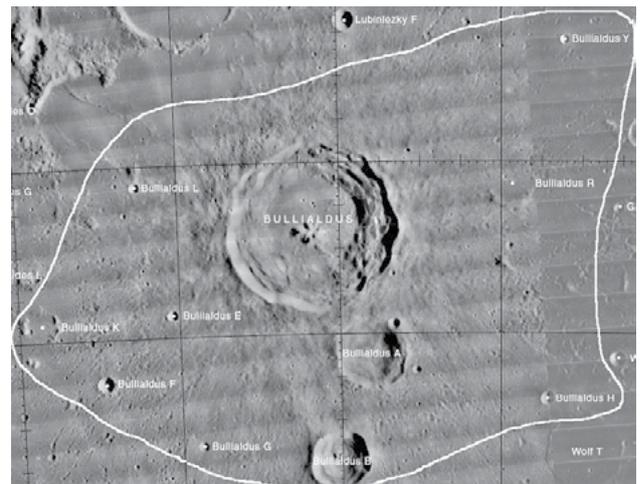
La pratique de l'astrologie valut parfois quelques déboires et déceptions à Ismaël Boulliau, telle cette mésaventure, reconstituée et contée par Nellen, à partir de la correspondance entre Ismaël Boulliau et Christian Huygens. La correspondance entre les deux savants rend compte de leurs bons offices 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 confiance 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 ferai mériterait 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 travestit 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



*Bullialdus 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 Boulliau 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*

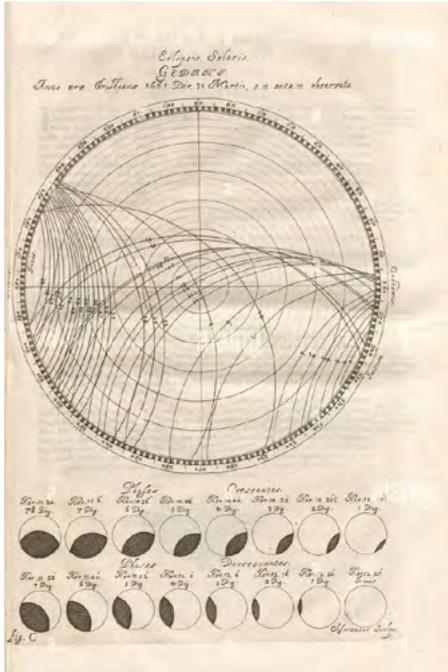
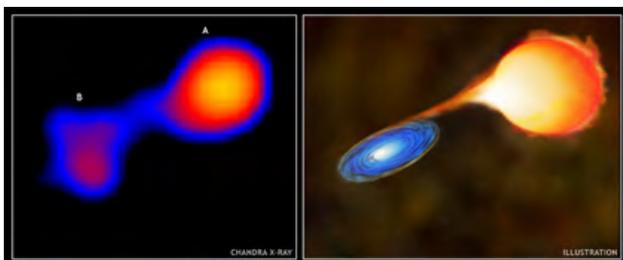


Illustration des différentes phases de l'éclipse solaire du 30 mars 1661

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 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 XVII<sup>e</sup> 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).



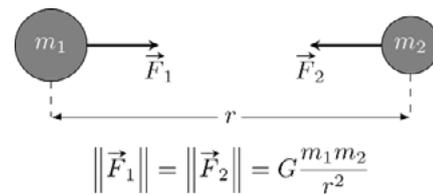
Source : X-ray: NASA/CXC/SAO/M. Karovska et al.; Illustration: CXC/M.Weiss

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.

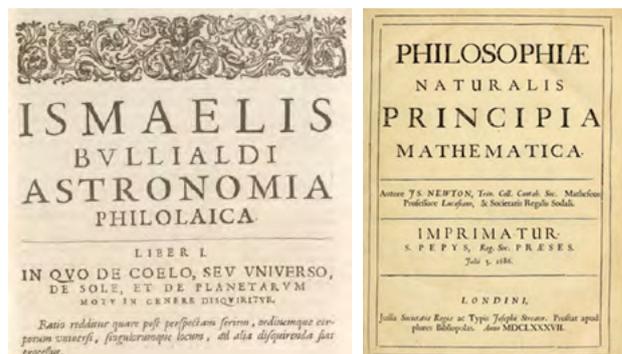
## SON APPORT À LA THÉORIE DE LA GRAVITATION

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 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.  $A^3/T^2 = \text{constante}$  (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 II<sup>e</sup> 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. Grâce 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 !

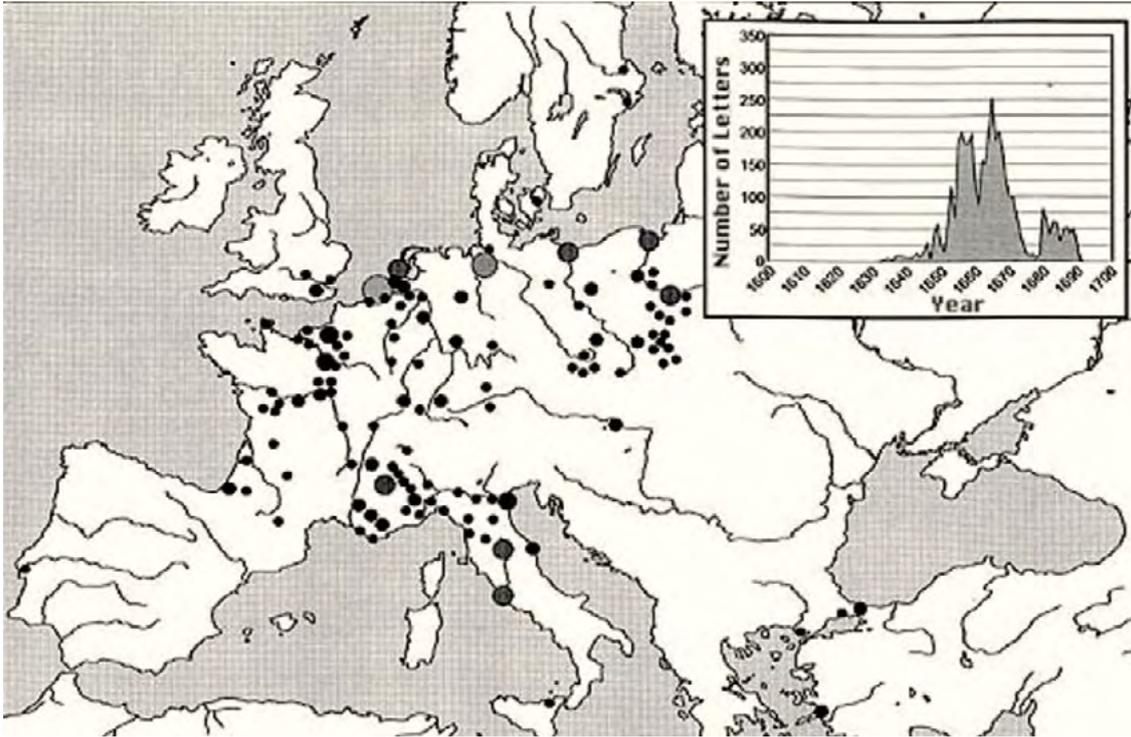
En tout il fit 2 005 mesures de température, effectuées sur une période de 849 jours, du 25 mai 1658 au 19 septembre 1660, avec toutefois quelques jours sans observation et presque un mois sans mesure du 11 octobre 1659 au 8 novembre 1659. L'heure d'observation est variable selon les jours : prédominance 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.

Ad Thermometrum observationes anno 1658. Parisijs.  
Thermometrum Florentiae fabricatum.

Diei	grad.	
25	25	Sol. nubos. calor moderat. valde.
26	22 1/2	pluvia h. 8. a. m. nubes Sol. vent. orient.
27	25	pluvia tepida. vent. austral.
28	21 1/2	pluvia subfrigida. Boreas.
29	25	Serenum. Ventus occident.
30	22	Sol. Serenum.
31	27	Sol. nubos. Austes calor. pluvia h. 9. p. m.

Première page du cahier de relevé de températures d'Ismaël 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 châtelle : 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 fraîcheur 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 13<sup>e</sup> 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. ■

## CAHIER

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

PAR CONOR MAGUIRE <sup>1</sup>, DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LIMERICK (IRLANDE), MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ DES LETTRES SCIENCES ET ARTS DU SAUMUROIS <sup>2</sup>

## 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 <sup>3</sup> et de l'Académie des Sciences <sup>4</sup> 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 <sup>5</sup> 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 <sup>6</sup>. 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@chateaubeaullieu.fr

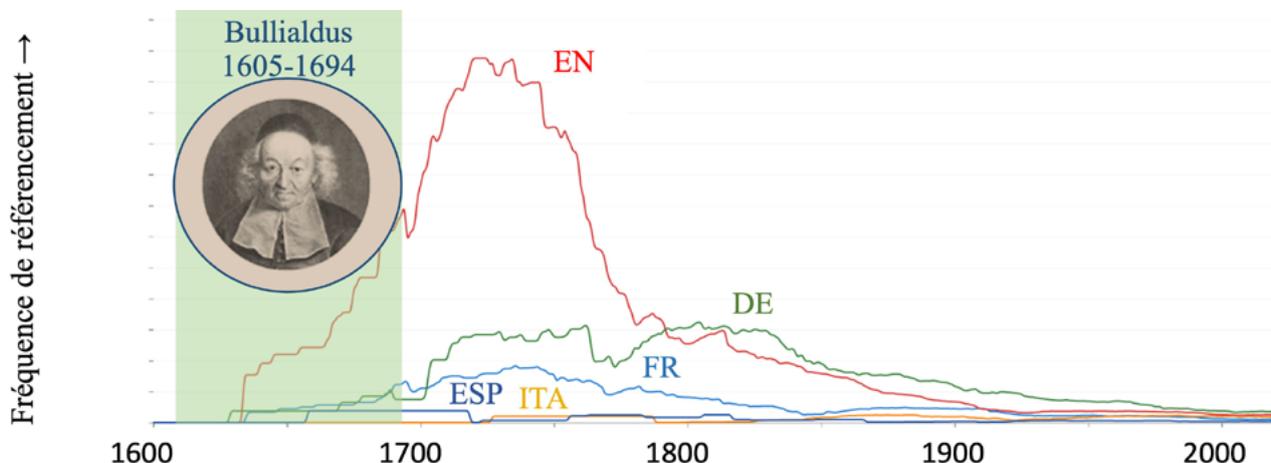
2. <http://sllsas.saumur.free.fr/accueil.htm>

3. UNESCO. *La Vulgarisation scientifique dans un monde qui change*. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000082308\\_fre](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.



Lissage des données : 30 ans.

\*Corpus : français (FR), anglais (ENG), italien (ITA), espagnol (ESP)

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 <sup>7</sup>. 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 <sup>8</sup>. 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 <sup>9,10</sup>. Ben-Yehuda (1980) écrit que « Depuis les premières décennies du 14<sup>e</sup> siècle jusqu'en 1650, les Européens continentaux ont exécuté entre 200 000 et 500 000 sorcières » <sup>11</sup>. 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 <sup>12</sup>. 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* <sup>13</sup>, 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.

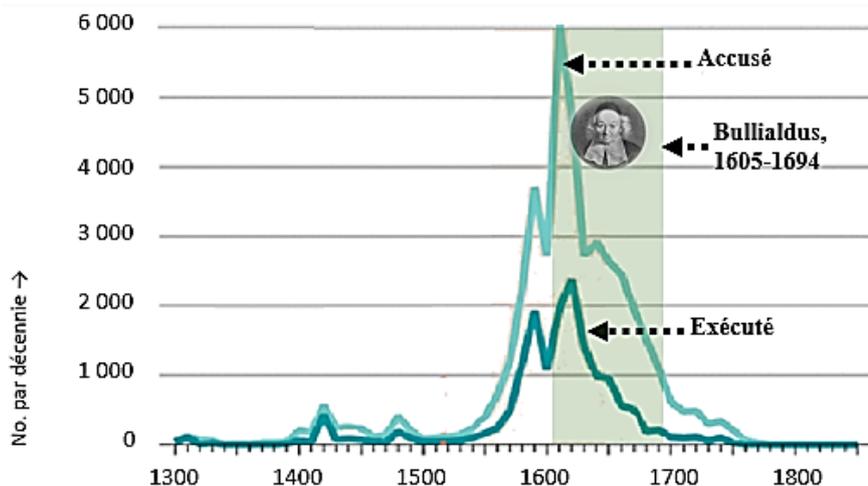
9. Bailey, Michael David. 2007. *Magic and superstition in Europe: a concise history from antiquity to the present*. Lanham: Rowman & Littlefield Pub.

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 XVII<sup>e</sup> siècle?* Futura-Sciences. 23.09.2018. <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/histoire-histoire-possedees-loudun-xvii-e-siecle-5640/>



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

Figure 2 : Sorcellerie européenne, 1300-1850

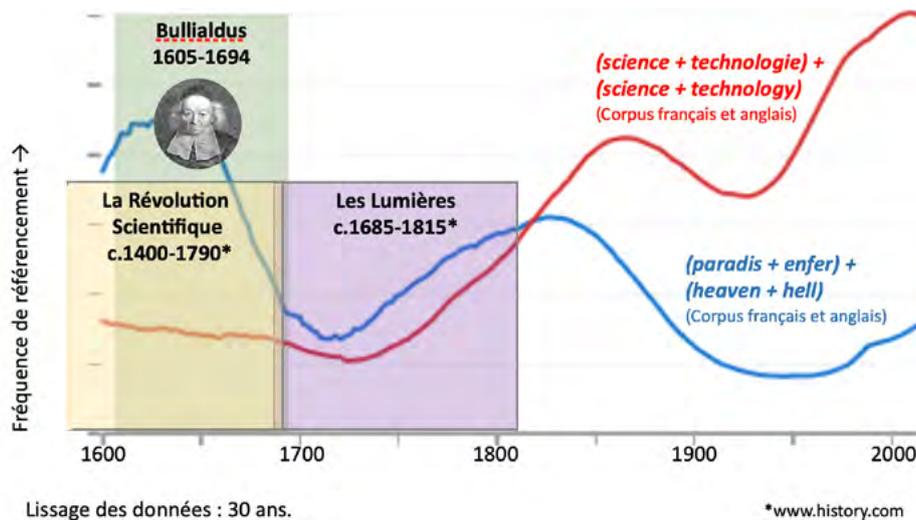


Figure 3: Fréquence de référencement de science + technologie et paradis + enfer dans les deux corpus, français et anglais (cumulativement), 1600-2019.

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* »<sup>14</sup>. 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<sup>15</sup>. L'analyse du corpus français de la base de données Google Scholar<sup>16</sup> montre que la littérature est 8 fois plus susceptible 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 susceptible d'être lié, plutôt que Boulliau, à un cratère lunaire<sup>17</sup>.

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 17<sup>e</sup> 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* »<sup>18</sup>. Même Isaac Newton, en référence à la loi du carré inverse de la gravité, écrivit à Edmond Halley en 1682<sup>19</sup> :

« *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<sup>20</sup>. 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<sup>21</sup>. 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<sup>22</sup>, 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/](https://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. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*.

22. Williams, Richard. 2016. June 1785: Coulomb Measures the Electric Force. APS Physics, June. Volume 25, Number 6.

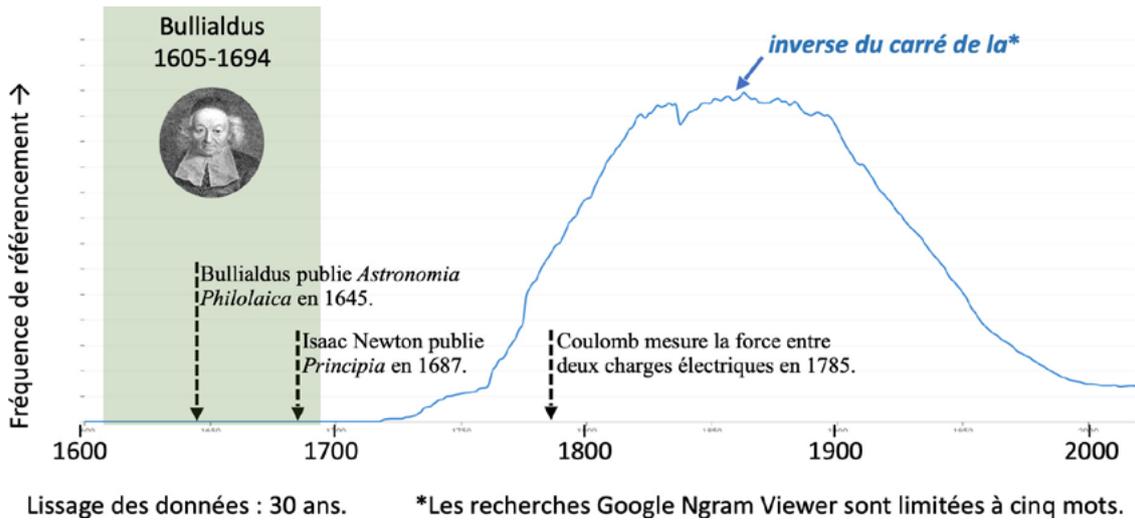


Figure 4 : Fréquence de référencement d'inverse du carré de la\* dans le corpus français, 1600-2019.

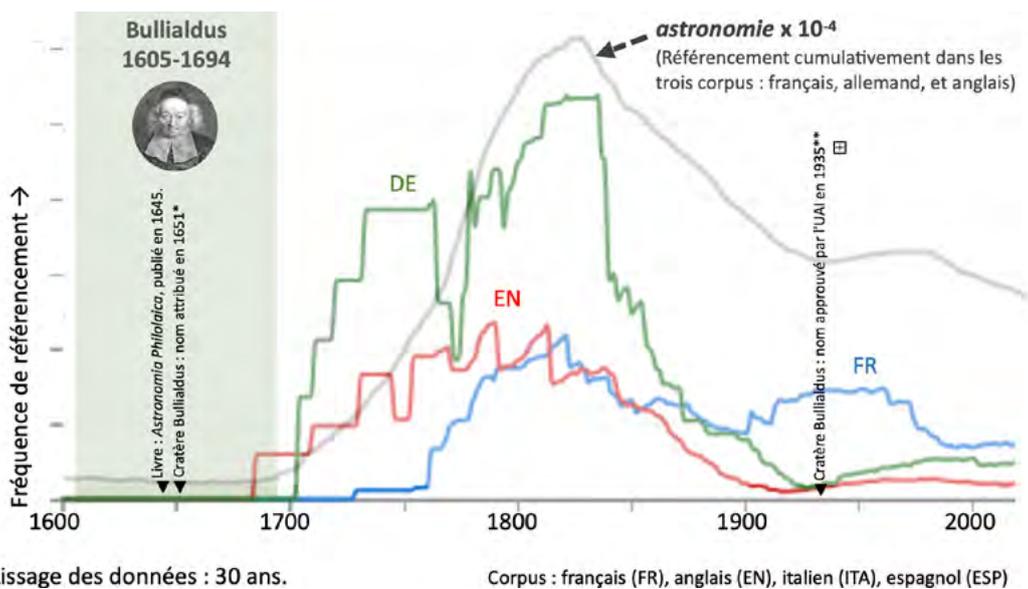
aussi suivait la même forme que celle de la force gravitationnelle même si la force électrostatique est  $10^{42}$  fois plus forte - un chiffre colossal ! Dans ce contexte, la contribution intellectuelle de Bullialdus a eu une importance énorme pour l'avancement de notre compréhension du monde physique. 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 <sup>23</sup>). Le livre est considéré par certains historiens des sciences modernes comme le livre le plus important en astronomie entre Kepler et Newton (1643-1727) <sup>24</sup>.

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*<sup>25</sup>. 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<sup>4</sup>). 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 découvrit 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*.

## CAHIER

## 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.

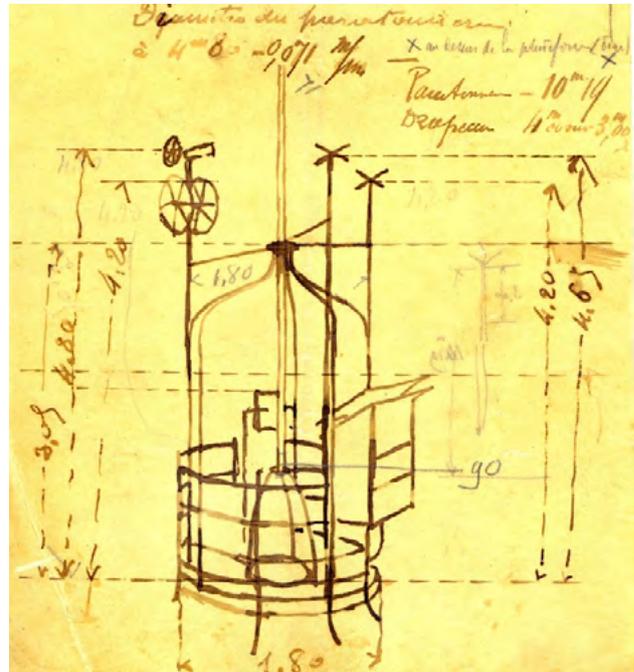
Eiffel exprime à travers ses discours sa volonté de mettre la science au service de la technique. La météorologie doit aider l'aviateur, le paysan ou le marin. C'est pour les hommes que Gustave travaille. Il préconise ainsi de simplifier les pratiques pour que les résultats soient accessibles à tous.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

## CONSTRUCTION DE 5 STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

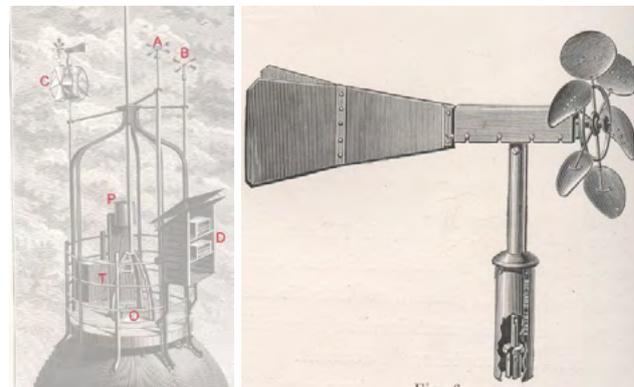
Cinq stations météo vont d'abord être construites, l'une sur la Tour et quatre autres dans des propriétés familiales.

## LA STATION DE LA TOUR

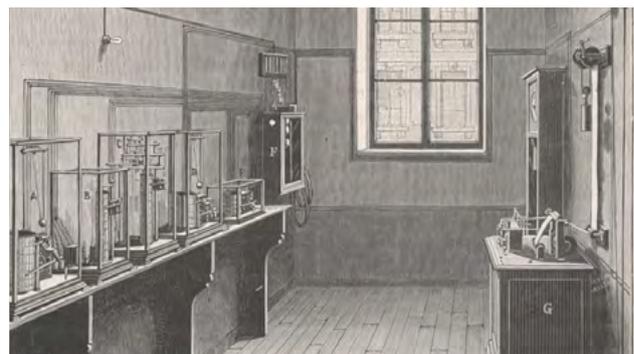
Dès 1889, année de l'inauguration de la Tour, Gustave Eiffel, aidé par son ami Emile Mascart, directeur du Bureau Central de la Météorologie, fait installer à son sommet à 334 mètres d'altitude, un observatoire météorologique. La plate-forme ne mesurait pas plus de 1,60 mètre de diamètre. Cette installation 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



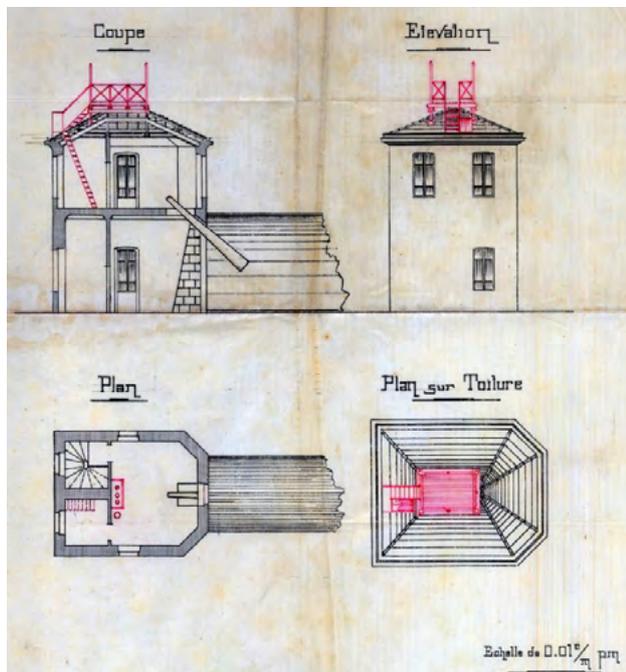
L'observatoire au sommet de la tour – détail de l'anémomètre girouette Richard (installé en C).



Salle des enregistrements à la tour Eiffel

## LA STATION DE SÈVRES

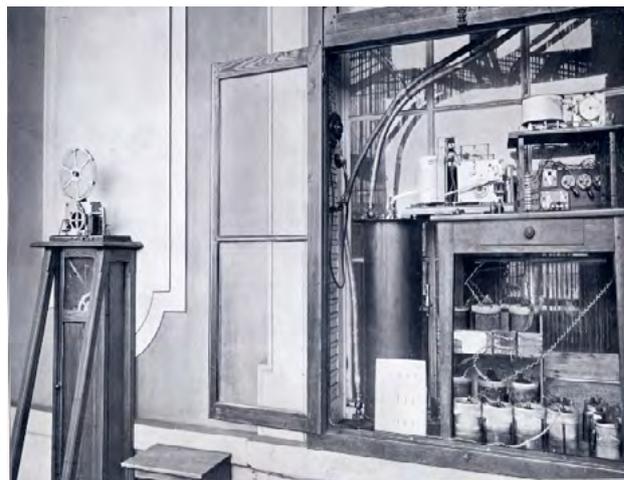
C'est dans son château des Bruyères à Sèvres qu'Eiffel installa en 1891 un second observatoire pilote qui va lui permettre d'étalonner ses équipements de mesure.



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.

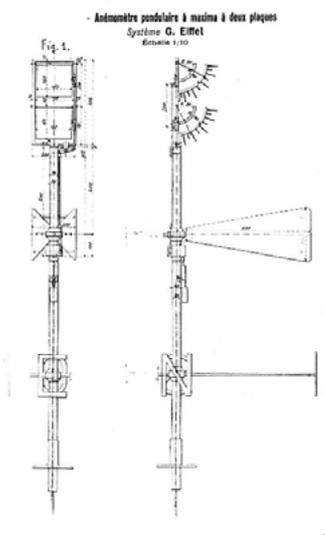


Villa Eiffel à Beaulieu-sur-Mer

## LES PRINCIPAUX RÉSULTATS D'EIFFEL

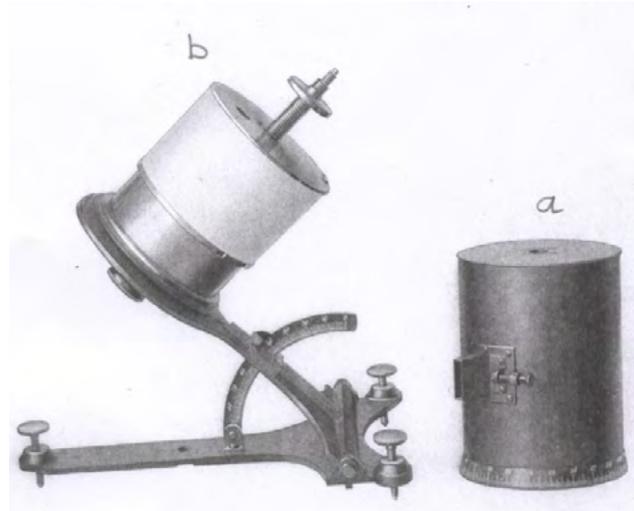
### INVENTION DE L'ANÉMOMÈTRE PENDULAIRE

Gustave Eiffel invente aussi un anémomètre pendulaire 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.



G. Eiffel

Anémomètre pendulaire



Héliographe photographique

### INVENTION DE L'HÉLIOGRAPHE PHOTOGRAPHIQUE

À 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 m<sup>3</sup> d'air, la seconde étant le rapport entre l'humidité absolue et l'humidité contenue dans un m<sup>3</sup> 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.* » ■

## CAHIER

# Audouin Dollfus, astronome du XX<sup>e</sup> siècle

PAR BRUNO CHANETZ, ALUMNI-ONERA, ALAIN BROCC, 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 aéroplane de haute volée puisqu'il détient toujours le record du monde du plus haut vol habité avec un ballon muni d'un télescope astronomique.*



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 *Pleïades* 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 10 N. Les essais de gonflement des enveloppes sont effectués dans le Hangar Y de Meudon. Pour réussir l'ascension, 105 ballons BéríteX de 2,7 m de diamètre sont donc assemblés par groupe de trois, constituant une immense grappe, qui se déploie sur 450 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 Rakotoarjimy [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 entraîner 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.

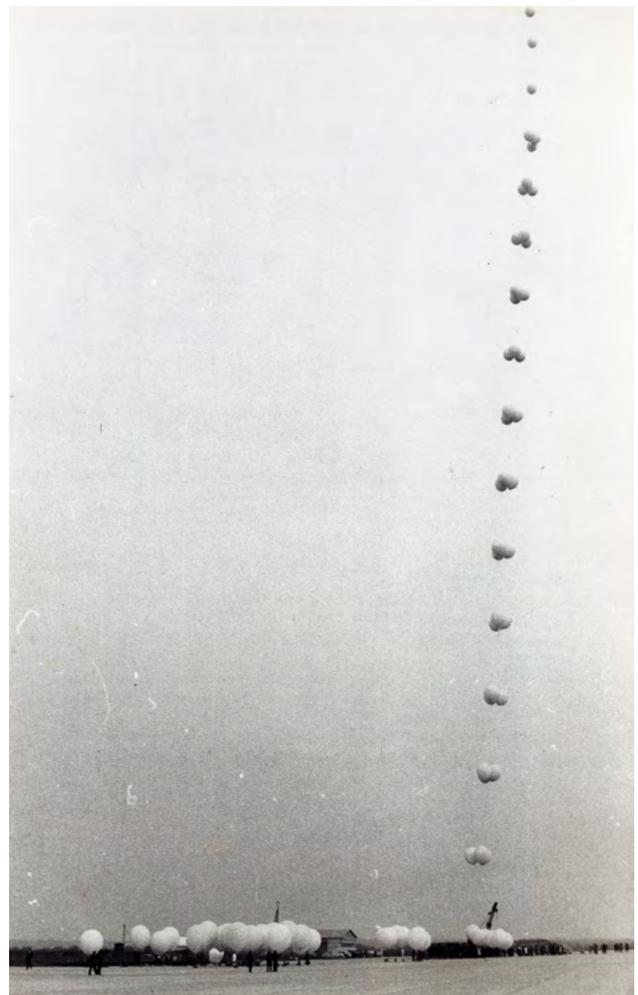


*Le gonflage à villacoublay*

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 traîne au sol pour stabiliser un aérostat - quand il ressent la corde toucher terre, il sait que la nacelle n'est plus qu'à 70 m du sol et qu'il faut

se préparer à l'atterrissage. Aussi dès que la capsule racle le sol en se renversant, il actionne les éclateurs qui libèrent les ballons subsistants. Un grand calme succède aux violentes explosions. Se dégageant du harnais, Audouin Dollfus se retrouve dans l'herbe humide, ressentant presque aussitôt un corps chaud et visqueux appliqué contre sa poitrine. Après un bref instant de frayeur, actionnant sa lampe torche, Audouin Dollfus éclaire le museau d'une vache ! Se glissant ensuite sous des barbelés, il aboutit à un chemin et gagne le plus proche village, éclairé mais bien sûr désert à 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 accroître l'intensité.

Il écrit dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences en 1963 : « Ces circonstances permettent de chercher la vapeur d'eau dans les atmosphères planétaires par simple comparaison photométrique des bandes telluriques entre l'astre et la lumière de comparaison données par le Soleil, la Lune ou certaines étoiles » [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 Jungfrauoch 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 2<sup>e</sup> 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 corréliser 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 6<sup>e</sup> 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...

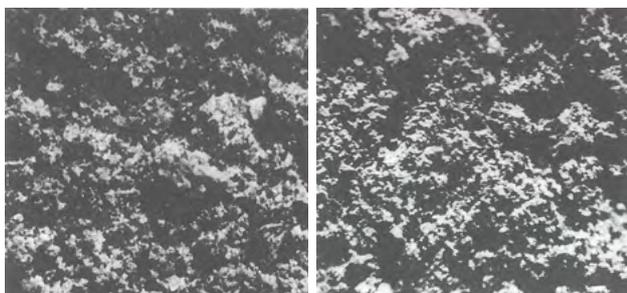
Après la sélection le 11 juillet 1962 de la technique du Lunar Orbital Rendez-vous (LOR) pour le programme Apollo, et l'attribution du contrat correspondant pour le Lunar Excursion Module (rebaptisé Lunar Module LM dès 1966) à Grumman le 7 novembre suivant, il est temps de se préoccuper de la nature 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 (Angénéieux). Puis le 2 juin 1966 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 Utilization Committee* (Everett Christensen, Edgar Cortright, Lee Stoney). Sa première réunion a lieu le 16 mars 1966. D'autres spécialistes sont naturellement consultés, tels Harold Urey, et à l'international 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 échantillon *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 médias 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 Kosmicheskoy 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 - une chance, la sonde presque jumelle Mars 4 est un échec dû au lanceur Proton.

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 apparaît sur les clichés, qui se déplace d'un cliché à l'autre, et situé à l'endroit prédit. Il vient de découvrir le dixième satellite de Saturne, « Janus ». Les précédents satellites avaient été découverts par Christiaan Huygens (Titan - 1655), Jean-Dominique Cassini (Japet - 1671, Rhea - 1672, Téthys et Dioné - 1684), William Herschel (Mimas et Encelade - 1789), William Bond (Hyperion - 1849), William Pickering (Phoébé - 1898).

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

## CONCLUSION

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

*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 Feuilloley, « *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) ■

TABLES RONDES DU 12 MAI 2022 CHEZ OLIVER WYMAN

# Enjeux des technologies « virtuel-réel » et du métaverse pour le secteur aérospatial et défense

OliverWyman | ONERA ALUMNI

Invitation Évènement

## ENJEUX DES TECHNOLOGIES « VIRTUEL-RÉEL » ET DU MÉTVERSE POUR LE SECTEUR AÉROSPATIAL & DÉFENSE

Jeudi 12 mai | 18h15–22h00

Le métaverse est un concept en plein essor, avec des perspectives de revenus qui pourraient atteindre 400 Md\$ d'ici 2025. Au-delà d'une source de revenus grâce aux produits numériques, le métaverse offre également des opportunités de rupture dans plusieurs domaines : recrutement et attractivité des talents, simulation de services B2B et B2C, accélération des cycles d'innovation et de développement grâce à la co-conception avec les utilisateurs potentiels...

Les acteurs du secteur Aérospatial et Défense commencent à structurer des premiers cas d'usage.

Nous vous invitons à participer à notre 8ème évènement Alumni Onera / Oliver Wyman autour du thème **Enjeux des technologies « virtuel-réel » et du métaverse pour le secteur Aérospatial & Défense**.

Cet évènement se déroulera dans nos locaux au 1 rue Euler, Paris 8ème.

Nous espérons pouvoir échanger avec vous à cette occasion et vous prions de bien vouloir nous confirmer votre participation avant le 2 mai auprès de Julie Buisson :

[julie.buisson@oliverwyman.com](mailto:julie.buisson@oliverwyman.com)

- 18h15–18h30 Accueil
- 18h30–18h45 Introduction Oliver Wyman
- 18h50–19h05 Général Julien Sabéné,  
Directeur du CESA
- 19h10–19h25 Colonel Bruno de San-Nicolas,  
État-major de l'AAE
- 19h30–19h45 Laurent Chaudron,  
CEO Theorik-Lab, Alumni-ONERA
- 19h50–20h05 Bernard Claverie,  
Fondateur de l'ENSC,  
Ecole Nationale de Cognitive
- 20h10–20h35 Hugo Falgarone,  
CEO SkyReal &  
Nicolas Chevassus,  
Head of Ariane 6 Digital  
Transformation Ariane Group
- 20h40–22h00 Cocktail dînatoire

## TABLE RONDE

# Serious games : un outil prometteur pour l'armée de l'air et de l'espace sur certains segments

PAR LE GÉNÉRAL JULIEN SABÉNÉ, CHEF D'ÉTAT-MAJOR DU COMMANDEMENT DES FORCES AÉRIENNES

La simulation de vol a fait des progrès considérables en l'espace de quelques décennies, notamment grâce à l'avènement d'ordinateurs grand public dont les performances permettent désormais des usages quasi-professionnels. Sont aujourd'hui disponibles des logiciels du commerce au réalisme saisissant qui, couplés à une immersion en réalité virtuelle et à des interactions avec de nombreuses parties prenantes, permettent d'explorer de nouvelles possibilités dans le domaine aérien militaire. Cela nécessite cependant d'être vigilant sur les contraintes associées qui vont de la simplification excessive à la difficulté de synchronisation d'un nombre élevé de participants en passant par le recours à des contributeurs externes. Néanmoins, les perspectives de recours aux serious games dans ce domaine sont prometteuses : décroisement des expertises, rehearsals d'opérations complexes, initiation, rayonnement et recrutement.



La simulation aérienne est presque aussi ancienne que l'aviation militaire elle-même, dans un premier temps en raison de son apport décisif pour la sécurité des vols puis, plus proche de nous, afin de compléter la préparation de nos équipages en les exposant à des situations difficiles à reproduire « en vrai » et enfin dans une logique de maîtrise des coûts.

Reproduire le plus fidèlement possible le cockpit d'un avion de combat de dernière génération n'est cependant pas chose aisée et les simulateurs « full flight » qui sont les plus réalistes sont très onéreux (de l'ordre de plusieurs millions d'Euros, voire plus...).



C'est pourquoi, le recours à des logiciels de simulation de vol grand public, avec un coût de moins de 10 000€ pour une installation complète, est désormais étudié par l'armée de l'Air et de l'Espace, en complément des systèmes de simulation déjà acquis.

## LES SERIOUS GAMES DE SIMULATION DE COMBAT AÉRIEN ONT DES ATOUTS CERTAINS...

Très abordables financièrement, les logiciels de combat aérien accessibles à tous sont également bien plus réalistes aujourd'hui que les premiers à avoir été produits dans les années 80. Fonctionnant sur des ordinateurs dont les performances permettent des graphismes poussés (texture 8k) et une fluidité d'image incomparable, il est désormais possible de les coupler avec des dispositifs immersifs (casque de réalité virtuelle), ce qui permet une réplique très poussée.





Qu'il s'agisse du cockpit, des paysages ou bien des divers systèmes d'armes simulés, des logiciels grand public comme DCS World ou Microsoft Flight Simulator offrent des expériences dont le réalisme saisissant.

Par le biais d'un dispositif de suivi des mouvements de la tête (Track IR) ou bien encore plus immersif (casque de RV), il est possible de restituer plus fidèlement et avec des périodes de latence suffisamment faibles le combat aérien qui nécessite de garder le visuel sur son adversaire pendant les phases à courte portée.

Autre avantage de ces logiciels dits de « simulation massive en réseau » (SMR), le nombre de participants qu'il est possible d'agréger, ce qui contribue également au réalisme de l'ensemble puisque plusieurs dizaines (voire largement plus) de parties prenantes peuvent jouer de façon crédible leur rôle (chasseurs de défense aérienne, chasseurs-bombardiers, hélicoptères d'attaque, avions de transport militaires, systèmes de défense sol-air, AWACS ou centres de commandement et de contrôle au sol, services de la circulation aérienne,...) et maximiser les interactions.

### ...TOUTEFOIS DES CONTRAINTES DOIVENT ÊTRE ÉGALEMENT PRISES EN COMPTE...

Il n'existe aucune simulation parfaite, notamment avec des logiciels grand public qui sont moins poussés que les simulateurs professionnels. Au-delà de certains aspects très difficiles à simuler (facteur de charge en combat vs IG devant un ordinateur, distances d'accommodation de l'œil variant entre le cockpit et l'extérieur vs une valeur fixe face à un écran, rythme circadien réel vs simulé,...), certaines données (portées des radars et des missiles, efficacité de systèmes de brouillage, fonctionnement des dispositifs de leurrage...) ont été simplifiées pour le grand public car les vraies



sont classifiées. Concernant les interfaces homme-machine qui s'appuient principalement sur le manche et la manette des gaz dans le cadre d'interactions HOTAS (Hands On Throttle And Stick), permettant de dialoguer avec le système d'armes au travers d'interrupteurs multiplexés, les répliques fidèles des dispositifs présents dans les cockpits sont rares pour le grand public (avec quelques exceptions représentatives d'appareils essentiellement américains et commercialisées par la société française Thrustmaster). Ce décalage entre la simulation et la réalité peut occasionner de mauvaises habitudes (on parle de « *trainingism* ») si les équipages transposent intégralement leurs expériences de serious games dans leur entraînement opérationnel.



A cela s'ajoute un mélange de genre à prendre en compte entre les utilisateurs militaires, qui sont des professionnels par construction, et la communauté de « *Avgeeks* » qui développe les fonctionnalités sur mesure (« *customization* ») des logiciels de simulation de vol grand public.



Même si leur degré d'expertise informatique et leur implication sont très poussés, l'expertise opérationnelle de ces derniers est forcément moindre et ne leur permet pas de participer en tant qu'acteur réaliste aux SMR, même si leur niveau est souvent impressionnant pour des « amateurs ».

Qu'il s'agisse de contributeurs militaires ou de la communauté des « geeks », leur prise en compte à distance constitue une difficulté car il est plus difficile de synchroniser des parties prenantes éparpillées sur plusieurs sites distants, à la fois pour la préparation des missions, le briefing de tous les acteurs (« mass brief ») et le débriefing (rejeu puis retour d'expérience). Ces trois phases sont en effet beaucoup plus percutantes lorsqu'elles sont réalisées en présentiel qu'en distanciel (ce qui est également valable pour les réunions de travail, à l'instar de ce qui est souvent observé par ceux qui pratiquent le télétravail).



### ...AVEC NEANMOINS DE TRES BELLES PERSPECTIVES À LA CLEF

Une fois le potentiel de la SMR bien délimité en tenant compte des limites mentionnées ci-dessus, des usages apparaissent particulièrement pertinents dans le domaine du combat aérien voire dans celui d'opérations aérospatiales plus complexes.



Primo, elle peut constituer un outil utile pour décloisonner les savoirs et développer les connaissances croisées entre les différentes spécialités qui sont nécessaires pour la réussite d'une mission : entre chasseurs, avions de transport tactique, ravitailleurs en vol, hélicoptères, les équipages opèrent selon des procédures qui leur sont propres, tandis que les contrôleurs aériens (de circulation aérienne comme de défense aérienne) ou le personnel armant les structures C2 ont accès à d'autres informations qui se complètent utilement sous réserve de bien comprendre quel niveau de SA (« situational awareness » ou bonne vue d'ensemble de la mission) ont les autres pièces du puzzle. Ces simulateurs grand public permettent en effet de pouvoir facilement expérimenter les différents points de vue en un clic de souris.

Secundo, pour des missions complexes qui nécessitent de synchroniser des effecteurs de nature diverse (par exemple une attaque de saturation par missiles de croisière tirés par des Rafale et des frégates multi-missions) face à un adversaire bien défendu, un « rehearsal » visant à répéter la manœuvre en incluant tous les acteurs clés et en les confrontant à des cas non-conformes (ou « what-ifs ») constitue une aide de préparation précieuse.



Tertio, en externe aussi, la SMR a un rôle à jouer puisqu'elle peut facilement contribuer à l'initiation/sensibilisation de personnes non familières avec le monde des opérations aérospatiales : des décideurs politique, des journalistes ou bien des chercheurs par exemple.



Quarto et enfin, elle peut même constituer un outil très efficace pour le recrutement et le rayonnement de l'Armée de l'Air et de l'Espace (AAE). Dotée d'un réalisme suffisant et d'une accessibilité que l'on peut adapter à une population donnée, elle lui permet de se projeter en situation et de mieux appréhender un univers très particulier qu'il est difficile de se représenter autrement.

Alors que l'ère du métavers nous est annoncée comme très prochaine, les aviateurs de l'AAE, fidèles à leur réputation d'avoir un gène « innovation » plus développé, n'attendent pas les GAFAM pour explorer toutes les possibilités offertes par des logiciels grand public de simulation de vol en complément de leurs outils professionnels. Une façon d'avoir le coup d'avance qui fait toute la différence en combat aérien...

*Les propos exprimés n'engagent que leur auteur.*

Copyright photos – Alexandre Sabéné/DCS World

## TABLE RONDE

# Metavers et cognition

PAR BERNARD CLAVERIE, PROFESSEUR, ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE COGNITIVE - IMS UMR5218 - BORDEAUX INP

Le Métaverse, ou Metavers, est un monde virtuel immersif qui « ressemble » au monde réel, et qui selon certains de ses promoteurs ambitionne d'aller « au-delà » (*meta-*) de notre « univers » (*-vers*). Ce mot-valise sans réelle justification étymologique désigne un système ou un ensemble de systèmes numériques interactifs utilisant la réalité virtuelle. Le développement de tels dispositifs rencontre aujourd'hui l'intérêt des promoteurs et des usagers et motive un investissement socio-économique annonçant le développement généralisé de cette technologie. Pourtant, au-delà des dimensions technologiques et sociétales se pose le problème des dimensions personnelles, du domaine cognitif, qui pour l'heure semblent négligées.

## DE QUOI S'AGIT-IL ?

On annonce à propos du Metavers une version évoluée et inévitable d'Internet dans laquelle des espaces, objets et êtres virtuels dont les avatars d'individus réels (cf. infra) sont en interaction par les moyens de technologies de réalité virtuelle ou augmentée. Des offres ludiques, culturelles, éducatives, professionnelles, commerciales, dont des versions sont déjà accessibles à certains publics, sont envisagées dans un système d'économie parallèle recourant aux principes de la *blockchain* et des cryptomonnaies. Ce monde immersif est pour l'heure plus ou moins réaliste, avec des « jumeaux numériques » (cf. infra) ou des entités purement artificielles permettant une « immersion » numérique dans laquelle les utilisateurs peuvent « oublier » qu'ils sont dans une simulation. Certains usagers peuvent alors préférer le monde artificiel et les relations interpersonnelles ainsi numériquement médiées. D'autres développent une sorte de syndrome de confusion qui tend à rendre floues les limites entre réel et virtuel. Enfin d'autres encore peuvent être rebutés par les scénarios d'immersion et présenter, au contraire, une sorte de malaise dans l'usage, cela pouvant aller jusqu'à la répulsion et le refus de son utilisation.

Le Metavers peut être considéré comme un dispositif « réaliste » utile pour le jeu mais aussi pour de situations « sérieuses » d'apprentissage ou d'enseignement, de vente ou de consommation, d'échanges professionnels, etc. tout en s'affranchissant d'une partie des limites concrètes, physiques, budgétaires, réglementaires, voire éthiques du monde réel.

Certains acteurs du numérique entrent déjà en compétition pour proposer leurs propres solutions commerciales, laissant présager une arrivée « des » Metavers. Plus tard, un Metavers unifié pourrait être une nouvelle forme universelle d'Internet. Certains idéalistes y voient un « vrai » modèle du monde réel qu'il pourrait alors améliorer. Dans cette forme la plus aboutie, le Metavers pourrait même contribuer au projet de convergence transhumaniste, avec des convergences avec les biotechnologies,

grâce notamment aux interfaces cerveau-machine, ou avec l'intelligence artificielle en relation avec les développements du big data, des agents conversationnels et de l'informatique quantique afin d'assurer une immersion fluide et la fusion du réel et du virtuel.

Il y a donc fort à parier que nous aurons rapidement des produits accessibles partout, pour tout et pour tous. On comprend ici l'intérêt de certains grands acteurs de la sécurité ou de la défense à se préparer au Metavers, et d'envisager d'ores et déjà de faire évoluer grâce à lui plusieurs secteurs de la société aussi bien civils que militaires.

## UN DÉFI AÉRONAUTIQUE

Le secteur aérospatial caractérisé par l'utilisation de la simulation de vol, par les techniques de maintenance prédictive, et par le « *war gaming* » dans le C2, ne peut rester en dehors de la réflexion. Il doit accompagner la mutation des pratiques en introduisant des technologies du Metavers. La question d'un Metavers souverain et robuste tout en se gardant de la dépendance à quelques fournisseurs d'accès qui proposeraient leurs metasystèmes, plus ou moins ouverts à d'autres sociétés ou organismes devenus dès lors captifs.

Cette question de la normalisation s'avère critique et probablement être un point d'achoppement crucial. Comment disposer de différents Metavers spécifiques selon les sociétés d'aéroports, les compagnies, pour l'aéronautique civile, pour celle de défense, variant en fonction des appels d'offres ? Des produits gérés par des grandes compagnies ou à l'opposé par des *start-up* peu résilientes, posent la question de la confidentialité et du traitement des données personnelles, d'entreprises ou des organismes et institutions. Le problème de l'indépendance technologique recouvre alors ceux du secret et de la souveraineté.

Dans le déferlement technologique, commercial et financier du Metavers auquel les sociétés des pays développés ne pourront probablement pas échapper, une dimension reste non pensée. Elle concerne l'acceptabilité par les individus en revêtant deux volets. Le premier est celui de la généralisation, de l'accessibilité et de l'égalité technologique au risque d'une nouvelle fracture digitale, le second est celui des risques psychologiques pour les usagers. Ce sont ces dimensions individuelles qui font l'objet de notre préoccupation.

## LE CORPS ET L'AVATAR

Le Metavers est une analogie. Il « ressemble » au réel mais ne l'est pas. Des mondes réalistes, simple reproduction de situations connues comme ceux où des étudiants suivent des

enseignements réels, présentés de manière traditionnelle dans un amphithéâtre virtuel, à des Metavers inventés, ou totalement inconnus des utilisateurs avec des entités purement abstraites, on peut trouver toutes les formes allant de la concrétude à l'imaginaire. L'utilisateur peut explorer des mondes connus ou enrichis, partager des expériences avec des personnes existantes ou artificielles, en s'affranchissant des contraintes d'espace et de temps. Il peut aussi explorer des mondes corporellement inaccessibles tels que des espaces lointains, immenses ou microscopiques, ou visiter en toute sécurité des espaces dangereux. Il peut alors agir sur des mondes concrets à partir du monde virtuel, avec des collaborateurs humains ou de la robotique télé-opérée. Il peut établir des relations extracorporelles technologiquement médiées, et bénéficier d'illusions psychologiques, corporelles ou jusqu'ici inconnues.

Cependant, la question du rapport du corps réel au corps virtualisé nécessite chez l'utilisateur une aptitude à la « décorporéisation ». Cette sorte de « dualisme forcé » entre esprit et corps réel et virtuel n'est pas triviale. L'avatar est une représentation, il s'agit de la désincarnation numérique, sous une forme la plupart du temps naïve, d'un usager réel dans le monde virtuel, et c'est lui qui se donne à voir.

L'avatar est donc par définition ambigu, sans similitudes concrètes avec le corps sauf pour certaines dimensions simplifiées et standardisées : segments corporels, morphologie convenue, formes de tête, de membres, couleurs de cheveux et éléments faciaux, etc., caractéristiques additionnelles telles que tatouages, coiffure, maquillage, etc., tenues vestimentaires, lunettes, équipements... Une telle réduction du corps à l'avatar est limitée à des choix préprogrammés, gommant les originalités pour standardiser les apparences, et celles-là posent également les questions de la confiance, de la transformation, de la dissimulation, de l'identité forcément hybride des usagers ainsi représentés.

## UN CERVEAU DANS LA CUVE

L'avatar n'est pas un prolongement du corps, il n'en est qu'une métaphore. Ce constat évoque une célèbre expérience de pensée, due au philosophe Putnam en 1981. À la suite de circonstances particulières et sans que vous le sachiez, votre cerveau a été ôté de votre tête pour être conservé dans une cuve. Il reste néanmoins connecté à un système sophistiqué capable d'envoyer et recevoir les informations nerveuses du corps. Le cerveau reçoit donc par télétransmission les sensations et il envoie en retour des ordres de commande au corps qui les exécute. C'est là sa seule manière qu'a le cerveau d'interagir avec l'environnement réel.

Puisque le cerveau dans la cuve donne et reçoit exactement les mêmes influx nerveux qu'il l'aurait fait dans un corps, la question est de savoir si ce cerveau a raison de croire ce qu'il croit. Il lui est par exemple impossible de dire, du point de vue de ce cerveau, s'il est dans une tête ou dans une cuve. Par voie de conséquence, il nous est impossible d'exclure que nous soyons actuellement un cerveau dans une cuve, et nous ne pouvons pas savoir si les choses que nous percevons existent, ni si nous existons nous-mêmes. La similitude avec l'expérience du cerveau de l'avatar est alors évidente.

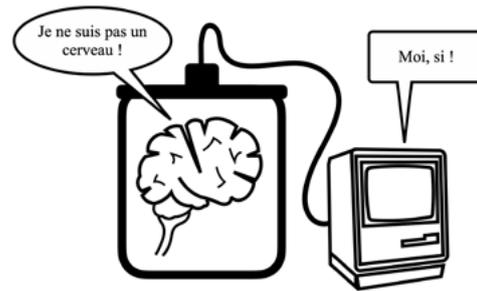


Figure n°1 - Problématique du cerveau dans la cuve de Putnam, à partir de Claverie (2021).

On peut s'intéresser à deux cas. Si le cerveau est branché à un ordinateur qui lui ferait croire qu'il a un corps, le cerveau peut-il croire qu'il est une personne s'il n'a pas de corps ? Et l'ensemble usager-avatar est-il donc une personne ? À l'opposé, si le corps est branché à un ordinateur suffisamment sophistiqué, cet ordinateur peut-il croire qu'il est un cerveau, et savoir si l'ensemble corps-ordinateur est similaire à l'ensemble corps-cerveau ? Pouvons-nous alors savoir si nous pouvons vivre dans un monde virtuel sans le savoir, si un cerveau n'est rien d'autre qu'un ordinateur, et si un corps est plus qu'un simple avatar ? L'expérience de Putnam amène à croire que nous pouvons être dans une sorte de réalité virtuelle pour le cerveau, une forme de matrice neuronale, alors que nous sommes dans la réalité pour le corps. Chaque jour, lorsque le cerveau se réveille, ou que le corps réveille le cerveau, tout paraît normal et le corps peut explorer le monde, le cerveau « croyant » qu'il s'y trouve alors qu'il ne reçoit que des influx nerveux.

De nombreuses questions ont évidemment été explorées suite à cette expérience de pensée et nous ne pouvons pas savoir si nous ne sommes pas déjà un cerveau dans une cuve et que notre corps existe bien ou est un avatar. Nous ne pouvons donc pas savoir si les choses que nous percevons existent ou sont virtuelles, et si nous sommes dans une simulation, c'est-à-dire ni plus ni moins si nous ne sommes qu'un avatar dans un Metavers.

On peut postuler une forme d'analogie entre l'expérience de Putnam et la condition du pilote de drone dans son conteneur, du manipulateur du robot téléopéré dans l'atelier de maintenance, du commandeur dans son poste de C2, ou du sujet d'un avatar dans le Metavers. Aucun d'eux ne peut savoir si son prolongement numérique ou si le monde dans lequel il évolue existe vraiment ; seule la croyance en la synchronisation de lui-même à son double est possible.

## JUMEAUX NUMÉRIQUES ET THÉORIE DE L'ESPRIT

Les jumeaux numériques (*digital twins*) sont des répliques d'objets ou de sujets réels dans le monde virtuel. Ces doubles sont évolutifs, synchronisés, et entretiennent des relations avec les autres objets et leur environnement numérique. De manière générale, ce sont les perturbations de l'objet dans le monde réel qui sont automatiquement répliquées dans le virtuel. Néanmoins, pour ce qui est des êtres humains et de leurs jumeaux numériques, on observe des conséquences bien réelles de modifications virtuelles des avatars ; celles-là contribuent à un changement, voire une évolution des personnes.

Pour les usagers du Metavers, les jumeaux numériques sont des avatars évolutifs. Ils doivent pouvoir entretenir des relations à d'autres avatars. De manière générale, les relations aux autres font appel à la théorie de l'esprit (*ToM pour « theory of mind »*). Il s'agit de la capacité cognitive d'inférer et d'attribuer des états mentaux à autrui. Elle permet de les comprendre ou croire les comprendre, grâce à une aptitude de « lecture de l'esprit » (*mindreading*) de l'autre et d'inférence de ses intentions. Comment cette ToM peut-elle être à l'œuvre dans le Metavers, et quelle est alors sa pertinence ?

La ToM s'établit par l'expérience chez l'enfant et l'adolescent, et dans l'expérience réelle des relations humaines tout au long de la vie. C'est donc une fonction hautement évolutive. Et elle est indispensable à la régulation des conduites et au bon déroulement des interactions sociales. Elle est donc au centre de la problématique de la médiation pour et par les avatars alors qu'on ne sait pas encore représenter de manière satisfaisante les humains ; leurs jumeaux numériques n'en sont aujourd'hui que de pâles réductions.

Le Metavers est donc condamné à n'être qu'une réduction et ne peut qu'être circonscrit à des relations standardisées, appauvries, et donc génératrices de frustration, de déception ou de pathologie. C'est cette préoccupation des troubles qui seraient induits ou révélés par le numérique, et demain par les utilisations du Metavers répétées, généralisées, voire imposées, qui alertent aujourd'hui les cliniciens.

### SOI ET NON SOI, LE BROUILLARD DES LIMITES

Dans le Metavers, suis-je moi ou mon avatar, est suis-je réel ou une représentation ? Ne suis-je que le cerveau du corps de mon avatar comme le cerveau de la cuve de Putnam est celui du corps séparé, et dans ce cas quelle réalité a-t-il dans un monde qui disparaîtrait à l'extinction de la machine ? Ces questions contribuent à brouiller les frontières entre réel et virtuel, entre soi et non soi, entre esprit et ordinateur, entre corps et avatar... et elles ne sont pas sans conséquences pour un utilisateur qui n'y aurait pas été préparé.

Au-delà des aspects d'usage, d'UX (design d'interface) et de simple ergonomie, la psychologie s'intéresse aujourd'hui à cette confusion. Le premier diagnostic porte sur les utilisateurs compulsifs pour qui la répétition revêt une dimension doublement symbolique : de l'irréel et de son usage. Le DSM-5 propose des critères pour la dépendance sans substance et pour les troubles obsessionnels, et le monde virtuel n'est pas étranger à ces nouvelles caractérisations. L'incapacité de se désengager du Metavers peut devenir une peur de perdre quelque chose de l'intérêt du monde virtuel ; la préférence pour la réalité numérique correspond à une crainte de revenir au monde réel. Les phobies, les états de dissociation anxieuse, les problèmes limites, etc. sont autant de cas également convoqués par l'expérience du virtuel. Là, les limites sont préservées, mais la préférence pour le numérique peut aller jusqu'à la confusion dans une superposition vécue de deux mondes entremêlés.

Les mécanismes de dissociation psychique permettent ce

maintien des deux réalités mentales hors de la conscience, et le « syndrome de confusion » qui en résulte permet à l'utilisateur de maintenir l'adhésion à ces deux vérités, parfois contradictoires, tout en restant inconscient de leur contradiction. Dans une forme plus grave, le sentiment d'aliénation envers sa propre personne et le sentiment de détachement de la réalité sont à l'origine d'une dépersonnalisation, voire d'une déréalisation à l'origine de troubles dissociatifs de l'identité, avec une altération de l'expérience de soi, comme si le sujet était un observateur extérieur de ses propres processus mentaux comme de son corps. Dans sa forme extrême, une personne présentera plusieurs personnalités indépendantes ; chacune d'elles peut alors ignorer les autres. C'est le cas lorsque chaque avatar vit une vie que l'utilisateur croit indépendante de la propre vie. La « confusion d'existence » produit ainsi des victimes dans un monde qui sont simultanément des bourreaux dans un autre, des soumis qui sont des tyrans, des changements ou différences de morphologie, de genre, d'âge, de profession, de statut social, de convictions politiques, religieuses, de valeurs...

La dénégation est presque toujours au rendez-vous de tels états limites ou de dissociation. Le sujet se convainc lui-même, faute de convaincre les autres, de la justification de sa dépendance au numérique, de son état de confusion, et de la validité de ses propos et de ses propres processus psychiques ou comportements qui peuvent pourtant sembler aberrants. La schizophrénie représente un cas ultime qui se caractérise par une perte de contact avec la réalité. La dépersonnalisation et la confusion réel/virtuel sont alors attribuées par le sujet à des causes externes, ou même aux autres, réels ou virtuels. Dans l'incapacité à gérer les limites du soi et du non soi, du monde numérique et du réel, le virtuel est alors vécu comme multiple et n'apparaît plus comme étant artificiel. Le sujet est alors écartelé, dans une croyance en l'existence d'un destin qui lui est imposé par un concepteur tout-puissant, parfois déifié, et qui peut même n'être autre que lui-même.

La question finale de la psychopathologie des usages reste toujours la même, c'est celle de l'étiologie : sont-ce les personnes ainsi caractérisées qui vont vers le Metavers, et c'est donc dans le Metavers qu'on rencontre d'autres personnes similaires, ou est-ce la fréquentation du Metavers qui produit la pathologie, ou facilite l'expression de formes jusque-là infracliniques ?

### LE METAVERS COMME APPAUVRISSEMENT COGNITIF

Le Metavers est un monde simplifié, le risque de s'y complaire est probablement celui d'un appauvrissement de la cognition. Certains auteurs se posent la question de cet appauvrissement et de celui conséquent des émotions chez l'utilisateur du Metavers. Ils s'interrogent même sur la capacité des individus à s'émouvoir, et à comprendre les émotions dans des mondes au réalisme plus ou moins grand, avec des avatars quasi étanches à la théorie de l'esprit.

Le risque est que les usagers soient amenés à simplifier dans le réel leurs propres caractéristiques, tenues, comportements, mimiques..., sur le modèle de leurs avatars. Ce n'est plus l'avatar qui ressemble au sujet, mais le sujet qui ressemble à son avatar. Certains comportements induits en sont l'illustration.

La préférence pour les mondes virtuels s'accompagne souvent d'un retrait de la société. Cet isolement pathologique, décrit à la fin du siècle dernier au Japon, est le syndrome d'« hikikomori ». Les personnes qui en souffrent vivent recluses chez elles, sans contact au-delà d'un petit réseau sans autre vie sociale que les livreurs d'alimentation. Ces « retirants sociaux » sont sujets à une sorte de vie clivée entre le monde réel considéré comme menaçant et le monde virtuel, simplifié à l'extrême, et dont on peut garder la maîtrise.

Ce retrait correspond à une fuite des défis sociaux, notamment pour ce qui est de la sexualité, dans une expérience imaginaire privilégiée de simplification du monde idéalisé, avec plaisir de l'immersion, sentiment d'élitisme, crainte de la perte en revenant au concret, mais surtout échappée des limites éducatives, sociales, éthiques, et surtout de la sanction morale. L'appauvrissement de la personnalité permet d'exprimer un comportement pulsionnel simplifié dans un monde relationnel quasi squelettique : « je joue, je joue, je joue, je tue, je tue, je tue, j'achète, j'achète, j'achète... ».

## CONCLUSION

Le Metavers est en marche ; il avance à marche forcée par les grands du numérique et les investisseurs qui ne manqueront pas de l'imposer. Ces partisans rencontrent d'ailleurs l'intérêt d'une génération de « digital natives » préférant virtuel à la concrétude de l'esprit et des corps. Le Metavers transformera et transforme déjà la sphère cognitive. Dans un premier cas, ce monde numérique facilitera la sélection des personnalités et des aptitudes intellectuelles à supporter et utiliser les outils du Metavers. Mais cet usage généralisé correspond à une probable modification de la façon de penser de ceux qui y seront soumis, au risque de la préférence numérique, de la dépendance, et peut-être du trouble cognitif.

Le monde aéronautique ne pourra rester à côté de ces développements. Les enjeux sont de taille, au risque du décrochage technologique de ceux qui ne s'y préparaient pas. Néanmoins, il faut penser aux utilisateurs, passionnés ou réticents, volontaires ou contraints d'utiliser ces dispositifs.

Les dimensions individuelles du Metavers sont loin d'être étudiées, connues et prises en compte, tant en ce qui concerne l'ambiguïté des processus cognitifs, entre réel, virtuel, l'appauvrissement par simplification, ou pour ce qui est relatif aux risques d'entraîner des usagers dans des déceptions, des troubles relationnels et de la communication, voire des misères mentales. Enfin, on voit aujourd'hui les premiers indices d'apparition d'une pensée technopolitique, allant de la simple influence à des projets de systématisation, pour un enjeu de transformation sociale, voire culturelle, et demain peut-être d'orientation ou même d'emprise sur les individualités des utilisateurs.

Ce sont toutes choses que semblent négliger voire ignorer aujourd'hui les promoteurs et partisans du Metavers et de ses usages, et pour lesquelles il convient de les sensibiliser au-delà de leurs certitudes techniciennes.

## Références bibliographiques

- Apperly, I. (2012). *Mindreaders: The Cognitive Basis of Theory of Mind*. Londres (UK): Psychology Press.
- Basdevant, A., François, C., Ronfard, D. (2022). *Mission exploratoire sur les métavers*. Rapport de mission interministérielle du 14 février 2022. Paris (FR) : Ministère de l'économie. <https://www.economie.gouv.fr/files/files/2022/Rapport-interministeriel-metavers.pdf>
- Bostrom, N. (2003). *Are you living in a computer simulation?* *Philosophical Quarterly*, vol.53, n°211, pp.243-255. <https://www.simulation-argument.com/simulation.pdf>
- Botella, C., Quero, S., Baños, R.M., Perpiñá, C., García Palacios, A., Riva, G. (2004). *Virtual reality and psychotherapy*. *Studies in Health Technology and Informatics*. N°99, pp.37-54. <https://ebooks.iospress.nl/publication/20737>
- Claverie, B., Kowalczyk, B. (2022). *Cyberpsychology*. In B. Claverie, B. Prébot, N. Buchler, & F. du Cluzel (eds.). *Cognitive Warfare: The Future of Cognitive Dominance*. Neuilly-sur-Seine (FR) : NATO Collaboration Support Office, pp.9/1-5, ISBN 978-92-837-2392-9. [https://www.sto.nato.int/public/\\$\\$CW\\_TOTAL\\_EN\\_COURS\\_ALL7\\_2021-10-26.pdf](https://www.sto.nato.int/public/$$CW_TOTAL_EN_COURS_ALL7_2021-10-26.pdf)
- Georgieff, N. (2005). *Penser l'autre, être pensé par l'autre : intérêts de la notion de théorie de l'esprit pour la psychopathologie*, *Le Carnet psy*, n° 99, pp. 24-33.
- Gupta, A. (2022). *Qu'est-ce qu'un métavers ?* Paris (FR) : Gartner France Insights. <https://www.gartner.fr/fr/articles/qu-est-ce-qu-un-metavers>
- Kato, T.A., Kanba, S., Teo, A.R. (2018). *Hikikomori : experience in Japan and international relevance*. *World Psychiatry*, vol.17, n°1, pp.105-106. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5775123/#wps20497-bib-0003>
- Peckmann, C., Kannen, K, Pensel, M.C., Lux, S., Philipsen, A., Braun, N. (2022). *Virtual reality induces symptoms of depersonalization and derealization : A longitudinal randomised control trial*. *Computers in Human Behavior*, Vol.131, n°6-107233, pp.1-10.
- Piotti, A. (2021). *Hikikomori : vivre sans son propre corps. Des effets du virtuel dans le retrait social*. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence*, vol.70, n°3, pp.132-135. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0222961721001215>
- Putnam, H. (1981). *Brain in the vat. Reason, Truth, and History*. Cambridge (MA, USA): University Press, chpt.1, pp.1-21. <https://archive.org/details/HilaryPutnam/page/n5/mode/2up>
- Rimol, M. (2022). *Gartner predicts 25 % of People will spend at least one hour per day in the Metaverse by 2026: Metaverse Hype to transition into new business models that extend digital business*. Stamford (CO, USA): Gartner. February 7, 2022. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2022-02-07-gartner-predicts-25-percent-of-people-will-spend-at-least-one-hour-per-day-in-the-metaverse-by-2026>
- Tisseron, S., Tordo, F. (2021). *Comprendre et soigner l'homme connecté - Manuel de cyberpsychologie*. Paris (FR): Dunod.
- Vlachopoulou, X., Missonnier, S. (2015). *Psychopathologie du virtuel*. In X. Vlachopoulou (ed.), *Psychologie des écrans*. Paris (FR) : Presses Universitaires de France. pp.90-122. <https://www.cairn.info/psychologie-des-ecrans--9782130627128-page-90.htm>

## TABLE RONDE

# Les enjeux des technologies « virtuel-réel » et du métaverse pour le secteur Aérospatial & Défense

PAR HUGO FALGARONE, CEO SKYREAL



Les technologies de Réalité-Virtuelle sont maintenant fortes de plus de 20 ans d'ancienneté dans certaines industries françaises. ArianeGroup utilisait des solutions permettant de voir Ariane 5 à l'échelle 1:1 dès 1999, puis en 2005 a développé la capacité à créer des mannequins pour vérifier la maintenabilité, ensuite autour de 2010 la Réalité Augmentée a été introduite pour guider les opérateurs dans les différentes étapes des opérations.

Fort de ces nombreuses années d'expérience, ArianeGroup cherche, comme de nombreuses industries, la "continuité numérique" ; la possibilité de travailler sur un même fichier de manière collaborative depuis la conception jusqu'à la maintenance, en passant par la production et la formation. C'est ici que réside le plus grand levier pour générer un gain d'efficacité et un décloisonnement entre les métiers et les usages au sein des industries ; et cela passe nécessairement par l'utilisation de jumeaux numériques. La volonté étant d'obtenir une meilleure flexibilité dans l'usage des données sur un fond d'évolution technique qui permet une meilleure immersion pour les exploiter.

Cette continuité numérique passera probablement par des métaverses qui nous proposent de nouveaux challenges.

Le métaverse, ce sont quatre promesses et enjeux :

1. La première promesse, c'est le futur de l'internet ; avec le Web3 on attend, et on espère un changement dans l'utilisation d'internet. Du point de vue de l'ingénieur, la promesse est la virtualisation de toute chose. L'enjeu c'est de rendre collaboratif un environnement pour les ingénieurs dans lequel on puisse travailler et surtout interagir pour creuser les idées. C'est un espace dans lequel le facteur humain est important.
2. La seconde promesse est celle d'un espace de développement et d'échange. Cela implique une gestion fine des utilisateurs et des « communautés » mais aussi une gestion des versions et de la traçabilité. L'enjeu c'est la sécurité des données. C'est un point clef qui soulève de nombreuses questions comme celle de la gouvernance des données, leur hébergement et bien sûr leur maîtrise. En bref : qui, comment et où sont hébergées les données.
3. La troisième promesse est celle d'une place de marché. Un lieu où l'on peut acquérir des produits physiques ou numériques ainsi que des services. L'enjeu est la régulation ; quelles bonnes pratiques, avec quel relais entre usage et législation.
4. La quatrième promesse est celle d'une plateforme contenant des contenus, des applicatifs, une infrastructure système et logiciel, et une infrastructure réseau. L'enjeu face à cela est la souveraineté.

Il faut pouvoir maîtriser l'ensemble des composants évoqués, a fortiori pour des sujets particulièrement sensibles des secteurs Aérospatial & Défense.

Il faut aussi prévoir de pouvoir former efficacement l'ensemble des parties prenantes pour faire face à l'importance des enjeux que nous avons évoqués.

Les promesses du Métavers amènent à imaginer des bénéfices colossaux pour l'innovation pure. De notre point de vue, une des finalités est de tester des choses que l'on ne connaît pas, dans des environnements que l'on ne connaît pas et donc de pouvoir accéder à des simulations concrètes de situations presque «inimaginables» tout en étant immersives.

Pour l'illustrer, nous pensons à l'exemple de la NASA qui, en partenariat avec Epic Games, a lancé un appel à projet pour créer des expériences VR de vie sur Mars à des fins de recherche et de test. On pense aussi à la présentation du nouveau projet de navette spatiale européen par ArianeGroup, Susie, dont les simulations permettent à un grand nombre de personnes de comprendre le projet et donc de pouvoir le soutenir.

Plus concrètement, le secteur Aérospatial & Défense est un secteur aux enjeux multiples et souvent spécifiques en raison de la notion de secret qui l'entoure ; il adresse des problématiques particulièrement complexes et implique un certain nombre d'usage :

Les projets innovants doivent être disruptifs pour ne jamais être pris par surprise. Ces projets nécessitent des représentations du réel pour faire des simulations ou de la surveillance et impliquent des besoins d'anticipation précises en vue de dérisquer au maximum et le plus en amont possible.

Les projets réunissent souvent un grand nombre d'acteurs : des collaborateurs, des fournisseurs, des partenaires ou encore des institutions publiques qui peuvent être répartis dans différents lieux géographiques ; les besoins d'outils de collaboration sont donc particulièrement importants.

On comprend donc très bien pourquoi les promesses du Métavers semblent tout à fait adaptées à l'ensemble de ces besoins.

De plus, l'existence de projets de très grande taille est une autre spécificité du secteur ; on pense ici aux fusées comme Ariane 6, à la station spatiale internationale ou encore aux porte-avions. Pour de tels produits, les prototypes à l'échelle 1:1 n'existent pas et les alternatives en réalité virtuelle proposées aujourd'hui sont une véritable évolution.

Dans ce contexte, l'émergence de nouvelles solutions immersives d'exploitation de données ouvre de nouveaux horizons pour tester toujours plus de situations possibles.

C'est pour tenter de répondre à ces multiples enjeux que SkyReal développe une solution logiciel permettant de transformer les fichiers CAD existant en expérience réaliste à l'échelle 1:1 en se basant sur la technologie du moteur Unreal Engine de la société Epic Games fondée par Tim Sweeney.

Concrètement, l'idée est de réunir les collaborateurs en réalité virtuelle autour d'un projet industriel pour travailler plus efficacement. C'est en ce sens que nous parlons maintenant de Metaverse, un mot entré dans le langage commun avec le changement de nom de la société Facebook. Un metaverse est, dans la manière dont nous le définissons chez SkyReal, un univers virtuel dans lequel plusieurs personnes peuvent se retrouver munis d'un casque VR ou non, pour effectuer des choses en commun dans le même espace et où se trouvent des éléments CAO qui n'ont pas été spécifiquement créés pour cela.

En d'autres termes, c'est une nouvelle manière d'exploiter des fichiers 3D existant pour réaliser tout type d'action portant sur la conception, la production ou encore la préparation, l'entraînement et la maintenance.

Le métaverse industriel offert par SkyReal permet de nombreux usages à ses utilisateurs avec en premier lieu la collaboration dont nous avons parlé plus haut.

Pour les ingénieurs c'est un lieu de conception aux possibilités infinies dans lequel les modifications apportées peuvent être sauvegardées sur le CAD d'origine en vue de lier innovation et production.

Il est également possible d'y faire des revues de design avec un très grand nombre de participants ; nous avons développé des outils spécifiques pour cela.

SkyReal permet aussi de simuler et d'expérimenter, de tester plusieurs scénarios et de voir rapidement les directions possibles pour innover plus vite.

Dans les projets de grande envergure qui impliquent de nombreux collaborateurs sur plusieurs sites de production et dans plusieurs pays, il n'est pas toujours aisé d'avoir une vue d'ensemble et de suivre avec précision son avancée. SkyReal propose une solution pour considérer un projet dans son ensemble en exploitant les données existantes ; c'est en cela un nouvel outil d'aide à la décision.

Enfin, et de manière générale, l'idée est de constituer un environnement de travail participatif où chacun pourra développer sa contribution et qui offrira une représentation commune d'un projet complexe réalisé par des consortiums très variés ; c'est un projet ambitieux dont les premières pierres sont d'ores et déjà posées. ■

TABLES RONDES DU 13 DÉCEMBRE 2022 CHEZ OLIVER WYMAN

# La Blockchain et son utilisation industrielle opérationnelle



La blockchain est une technologie multifacette en plein essor.

D'un point de vue industriel, cette technologie ouvre la voie à une traçabilité plus forte des produits ou composants, une meilleure visibilité et mémoire des différentes interventions sur une chaîne de production et de soutien, et un allègement des formalités administratives facilitant la coopération entre industriels. Les utilisations opérationnelles de cette technologie sont également à l'étude.

Nous vous invitons à participer à notre 8ème évènement Alumni Onera / Oliver Wyman autour du thème : « La Blockchain et son utilisation industrielle et opérationnelle ».

Cet évènement se déroulera dans nos locaux au 1 rue Euler, Paris 8ème.

Nous espérons pouvoir échanger avec vous à cette occasion et vous prions de bien vouloir nous confirmer votre participation avant le 2 décembre auprès de Julie Buisson : [julie.buisson@oliverwyman.com](mailto:julie.buisson@oliverwyman.com)

18h00-18h30 **Accueil / Introduction**

18h30-18h55 **Laurence Vanin**  
Université Côte d'Azur

18h50-19h05 **Odile Panciatici**  
Renault

19h10-19h25 **Alexandre Eich Gozzi**  
Chainalysis

19h30-19h45 **Philippe Proust**  
Thales

19h50-20h05 **Vincent Fournier**  
IBM Interactive

20h10-20h25 **Clément Bergé-Lefranc**  
OWNEST

20h30-20h45 **Questions / Réponses**

20h45 **Cocktail Dîatoire**

## TABLE RONDE

# La blockchain et ses enjeux éthiques !

PAR LAURENCE VANIN, TITULAIRE DE LA CHAIRE SMART CITY : PHILOSOPHIE ET ETHIQUE. UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR.

Selon *Blockchain France*, les blockchains permettent de stocker et d'échanger de la valeur sur Internet sans intermédiaire centralisé. Elles favorisent de nouvelles pratiques - grâce aux nouvelles technologies - les cryptomonnaies, le Web Décentralisé ainsi que la finance décentralisée. Cette indépendance de cette technologie à l'égard des banques enthousiasme ceux qui aujourd'hui ont fait le choix de la blockchain, mais agace le secteur bancaire qui trouve dans la blockchain une technologie concurrentielle. Pour mieux comprendre, la blockchain désigne une base de données constituée de l'historique de tous les échanges réalisés entre les utilisateurs, et ce depuis sa création. Les informations stockées dans la blockchain sont regroupées dans des blocs (d'où son nom). Elles peuvent être des transactions, par exemple avec les Bitcoins, des actions, etc.



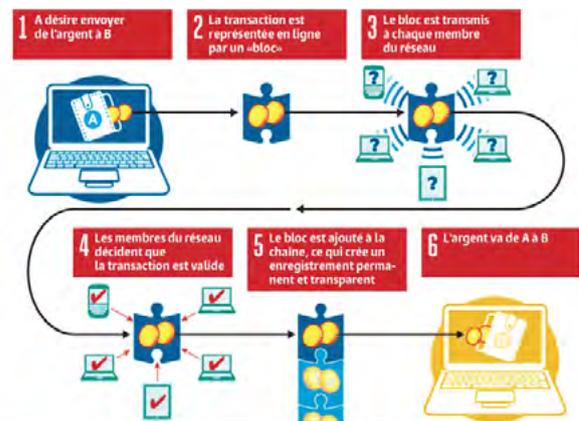
bitcoin

Tous ces blocs ne sont pas stockés sur une entité centrale mais répartis dans une multitude de serveurs qui portent le nom de nœuds du réseau. La blockchain fonctionne comme un grand registre, dont les informations et échanges sont consultables par tous et à tous moments. Cette base de données est sécurisée. En raison du stockage sur plusieurs ordinateurs, les informations et les échanges sont impossibles à effacer et restent traçables. Le réseau est indestructible. Partagée par ses utilisateurs, sans intermédiaire, elle permet à chacun de vérifier la validité de la chaîne.

C'est pourquoi la Blockchain semble sécurisée, vertueuse et efficace. Elle est donc utilisée essentiellement pour trois raisons principales. Elle permet le transfert d'actifs des monnaies, des titres, des votes, des obligations, etc. Elle constitue un registre et assure la traçabilité des produits et des actifs consultables à tout moment. Elle crée des programmes autonomes, des Smart Contracts qui exécutent automatiquement les conditions d'un contrat sans avoir besoin d'une intervention extérieure pour se réguler. Sans l'intervention humaine la blockchain est sécurisée parce qu'elle réduit les possibilités, d'erreurs ou de fraudes. Cette simplification renforce aussi l'efficacité de la blockchain dont

l'usage des crypto-monnaies ouvrent à de nouveaux services. Dans l'industrie alimentaire la blockchain est très utile pour tracer les aliments ce qui offre des garanties surtout si les aliments sont contaminés par des bactéries. Dans le cadre de livraison cela permet de suivre les colis. Pour l'utilisateur cette technologie offre davantage de transparence.

Néanmoins nous pouvons nous interroger sur son fonctionnement et sur l'éthique de la Blockchain.



Organigramme d'une transaction via la blockchain

D'abord nous comprenons que la suppression de la logique de l'intermédiaire n'empêche pas que soient coordonnées les diverses contributions. Néanmoins, nous pouvons nous demander en quoi consiste cette technique dont chacun ne retire finalement de la valeur que pour lui-même bien que la logique de la blockchain réponde à un système d'applications décentralisées et collaboratives. Il importe alors de connaître quelles sont les Valeurs qui sous-tendent ces systèmes. Il importe aussi de réfléchir en cas de fins illicites à la question de la responsabilité d'une organisation qui n'a pas d'administrateur, ou qui fait appel à des intermédiaires anonymes. Il devient alors nécessaire pour rendre le système vertueux de penser des règles là où les règles traditionnelles du droit ne s'appliquent pas.

Enfin, il reste un point essentiel à examiner au regard des défis climatiques et à l'heure de la sobriété énergétique. Le minage est extrêmement énergivore ce qui est désastreux pour l'environnement. À n'en point douter, il sera primordial de trouver des solutions pour remédier à ce dernier constat afin de faire de la blockchain un moyen au service des humains et exemplaire dans ses pratiques !

## TABLE RONDE

# La blockchain, vecteur de transformation de l'industrie

PAR ODILE PANCIATICI, EXPERT INDUSTRIEL

L'industrie automobile se transforme profondément et doit faire face à une évolution majeure de la société. La société devient plus exigeante, réactive, connectée et plus intelligente avec un désir fort d'authenticité. La sévérité de la réglementation imposée par les autorités augmente rapidement, pour répondre aux demandes des citoyens. Nous sommes de plus en plus nombreux à faire de la responsabilité des entreprises une priorité absolue dans nos critères d'achat.

Dans l'industrie automobile, le paysage de la concurrence évolue avec des nouveaux venus n'appartenant pas à l'industrie et de nouvelles collaborations offrant d'autres formes de mobilité, et pas seulement des voitures. Dans le même temps, le niveau de technologie augmente rapidement avec les voitures connectées et autonomes ainsi que le développement de l'IoT (*Internet of Things*). L'industrie automobile fait face à d'énormes investissements pour les développements technologiques et l'amortissement n'est pas évident avec des volumes décroissants en raison de la personnalisation et de la diversité des produits. Pour faire face à ces défis sociétaux, la collaboration au sein des écosystèmes devient indispensable.

Nous voyons tous les jours que nous vivons dans le VUCA (*Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity*) world : volatilité, incertitude, complexité et ambiguïté. Tout le monde veut garder la propriété de ses données et leur monétisation devient de plus en plus classique. Chaque jour, les clients veulent une expérience sans rupture et placent la responsabilité de l'entreprise au premier rang des critères d'achat. La fraude est redoutée, encore plus depuis la crise COVID, qui a accentué ce besoin de réassurance, et le renforcement de l'authentification est indispensable. Les clients veulent être protégés par des réglementations comme le RGPD (Règlement général sur la protection des données) mais bien d'autres réglementations chaque jour plus nombreuses et plus sévères. Et la voix de chacun est amplifiée par la digitalisation de la communication via les réseaux sociaux en particulier.

En synthèse, nous avons besoin d'augmenter la réactivité de l'écosystème. Nous avons la nécessité de partager les investissements des technologies pour en assurer la rentabilité. Si nous voulons continuer notre transformation digitale, nous avons besoin d'assurer une continuité digitale en largeur et en profondeur de l'écosystème avec les grands groupes mais aussi les petits acteurs. Nous avons enfin un grand besoin de protection

des données (cybersécurité / RGPD...) et pour toutes ces raisons, la technologie blockchain est intéressante.

Il existe plus de 1000 technologies blockchain, mais elles peuvent être classées en trois catégories principales:

- les blockchains publiques sont ouvertes, sans aucun contrôle des participants : tout le monde peut l'utiliser, comme Bitcoin ou Ethereum. Elles ont tendance à consommer beaucoup d'énergie même si les technologies plus récentes ont considérablement réduit leur impact environnemental ;
- les blockchains du consortium, qui nécessitent une autorisation d'accès des participants. Elles permettent aux entreprises ayant des intérêts différents d'échanger des données de manière sécurisée. Bien que très prometteuses, surtout pour les industries lourdes, il faut prêter une attention particulière à l'interopérabilité entre ces blockchains à l'avenir. Un des principaux obstacles de ce type de blockchain est de réussir la mise en œuvre de la gouvernance. Un projet Blockchain doit être un projet gagnant-gagnant. La valeur doit être trouvée par chaque partie et ce type de business model n'est pas trivial à trouver. C'est ce type de blockchain que nous avons choisi pour notre industrie.
- on peut également observer les blockchains privées, ce qui signifie qu'une entreprise adopte un moyen très sophistiqué pour instaurer la confiance entre chacun des départements de l'entreprise. Difficile de trouver un retour sur investissement dans ce cas.

A noter que nous passons aussi à l'hybride dans ce domaine avec un combinatoire public/consortium.

Fabriquer des voitures et fournir des services de mobilité impliquent de nombreuses fonctions: ingénierie, fabrication, logistique, vente et après-vente, achats, qualité, etc dans un processus très linéaire étape par étape.

Au sein des OEM (Original Equipment Manufacturer), des fournisseurs, des concessionnaires, de nombreuses fonctions travaillant en silos. Et lorsqu'une entreprise travaille avec une autre entreprise, la communication se fait de silo de fonction à silo de fonction. Cette façon de travailler génère beaucoup de retard et de non qualité dans la communication d'une fonction à une autre.

Notre principale voie d'amélioration est de briser les silos et de changer notre façon de travailler, en faisant des liens à travers

toutes les fonctions de toutes les entreprises travaillant ensemble et en apportant plus de rapidité et de réactivité dans les échanges et les processus à travers l'écosystème. Et Blockchain est clairement le moyen de le faire. Etre capable en cas de besoin de partager des informations en temps réel à travers toutes les fonctions de toutes les entreprises impliquées augmente beaucoup l'efficacité de l'écosystème.

La technologie Blockchain est un pur vecteur d'excellence opérationnelle parce qu'elle nous permet de construire un lean process mais au niveau de l'écosystème. Aujourd'hui quand nous échangeons des informations avec des entreprises externes, que ce soit fournisseur ou dealer par exemple, nous le faisons à travers des portails de données. Chacun a ses propres processus et ses propres bases de données et nous créons des matrices de transfert d'un processus à un autres et nous passons plus de temps à définir et à récupérer les tableaux excel que sur la donnée elle-même. L'optimum que nous faisons à ce jour est de partager dans le cloud des silos de données. La blockchain va se positionner en réseau entre les différentes bases de données et, par sa sécurisation, va permettre de mettre en lien directement les bases de données entre elles. Chaque propriétaire de donnée va pousser sa donnée via API (Interface de Programmation d'Application) dans l'API de la blockchain, avec à la clé une plus grande qualité de la donnée et une vitesse quasi-temps réel de l'information. Chacun garde son processus et on passe à un ensemble de processus data driven avec en bénéfice, de l'efficacité pour chacun et un partage des coûts d'investissements de développement.

Nous avons vu **trois étapes dans la mise en œuvre de Blockchain** qui vont nous aider dans l'évolution future de notre industrie.

**La première étape** est la transformation du réseau. Prenons l'exemple de l'écosystème de production d'un OEM avec ses fournisseurs. Nous travaillons maintenant dans un réseau en étoile où l'OEM est au centre de l'étoile et tous les échanges d'informations à travers l'écosystème passent par le centre de l'étoile. Avec la blockchain, on aplatit le réseau et on peut permettre par la gouvernance l'échange direct de données d'un fournisseur à un autre, en restant bien sûr conforme à la loi antitrust.

Cela sera particulièrement intéressant dans le cas des fournisseurs gérant des pièces en interface dans le véhicule.

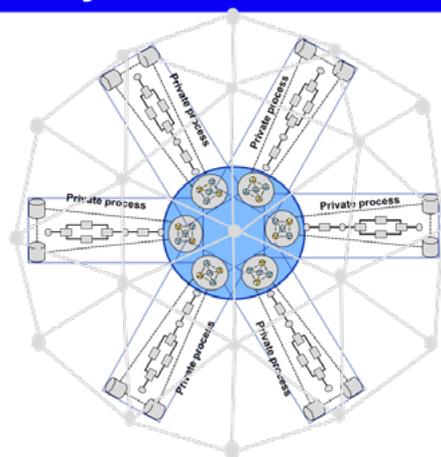
**La deuxième étape** est la vérification et l'alerte automatique des données, grâce aux smart contrats. Et pourquoi est-ce si important dans notre métier? Parce que nous avons, à travers l'écosystème, beaucoup d'informations et de données protégées par la confidentialité ou la propriété intellectuelle. Grâce à la technologie blockchain, les données peuvent être mises dans la blockchain en mode protégé crypté. Ces données ne sont accessibles que par le propriétaire, mais on peut y appliquer un smart contrat et fournir des informations en temps réel au réseau. Par exemple, si vous souhaitez aujourd'hui fournir des informations de conformité en temps réel sur un code de logiciel protégé par la propriété intellectuelle, vous ne pouvez pas le faire de manière simple et sécurisée. Avec la Blockchain, vous le pouvez. Et vous pouvez imaginer sa puissance pour assurer la cohérence en temps réel avec plusieurs dizaines de logiciels dans le cas du véhicule connecté et les mise à jour over the air. On peut parler aussi de procédés de production qui sont souvent protégés par Propriété Intellectuelle.

**La troisième étape** est la plus intéressante, mais nous avons besoin des deux premières pour atteindre celle-ci, est la création d'une intelligence collective. Aujourd'hui, pour répondre aux exigences des clients ou des autorités, nous avons besoin de plus en plus de réactivité dans la compréhension des phénomènes, l'appréhension des nouveaux contextes et la mise sur le marché de nouveaux produits ou services. Nous avons des technologies très complexes. Pour les voitures connectées ou autonomes, Nous avons vraiment besoin d'un partage de données en temps réel au niveau de l'écosystème pour faire les évolutions nécessaires pour répondre aux demandes futures.

L'intelligence collective de l'écosystème permettra à chaque membre d'être plus réactif et d'aller aux différentes étapes de prévention, de prédiction et de prescription dans son propre domaine. On retrouve ici le cycle vertueux du PDCA (Plan do Check Act) Digital mais à l'échelle de l'écosystème pour le bénéfice de chaque membre.

## Un lean process d'écosystème

- **Orienté client final**
- **Processus piloté par les données**
- **Suppression des activités sans valeur ajoutée**
- **Partage des coûts**
- **Partage des bénéfices pour la pérennité de l'écosystème**



C'est un atout clé de la technologie Blockchain car elle se fait dans un mode très sécurisé, certifiant la propriété des données.

Vous pouvez facilement imaginer à quel point cette intelligence collective peut être bénéfique pour les voitures connectées et autonomes.

Je voudrais partager avec vous ce schéma sur l'interaction des transformations digitales. Beaucoup d'entre nous opérons des transformations digitales dans nos entreprises respectives. Quand nous faisons un projet blockchain, il rentre en interface avec celles-ci et ce que nous avons observé c'est que ces projets communs nous permettent d'avoir accès à des nouvelles données dans l'écosystème. Et parfois, dans notre silo d'entreprise, nous avons prévu un projet digital pour reconstituer une donnée qui devient directement accessible dans la blockchain comme par exemple dans le cas de la traçabilité demander de mettre sur une étiquette une donnée et mettre en place une caméra pour lire l'étiquette alors que la donnée va être directement accessible dans la blockchain grâce à une connexion sécurisée des données fournisseur.

L'autre intérêt qui est constaté dans les autres industries financières ou alimentaires qui utilisent la blockchain, est qu'un projet blockchain est un projet inclusif. Pour les petites et moyennes entreprises qui ne peuvent pas se permettre de supporter seules les coûts d'une transformation digitale c'est l'opportunité d'accéder à une première brique commune, comme on le voit en pointillé sur la figure de droite, sur laquelle construire des éléments digitaux personnalisés de performance

Au sein de notre industrie, nous avons quatre principaux écosystèmes :

- Production avec les fournisseurs pour la fabrication de voitures et le développement de services de mobilité ;
- Vente avec les concessionnaires du monde entier pour la vente de voitures et de services ;
- Clients pour la relation de vente et après-vente de voitures et services ;
- Et de plus en plus des partenaires de mobilité pour définir de nouveaux services de mobilité.

Tous ces écosystèmes sont liés et interagissent entre eux. Tous ces écosystèmes sont constitués de longues chaînes de valeur.

Nous voyons dans la technologie blockchain l'opportunité de travailler de manière fiable en particulier pour les partenaires de mobilité où nous interagissons avec de nouvelles entreprises ou des entreprises n'appartenant pas à l'industrie.

Ces quatre écosystèmes constituent le support de notre feuille de route blockchain de l'industrie automobile.

En synthèse pourquoi utiliser la blockchain ? Bien sûr parce que c'est une solution reconnue pour sa sécurité, état de l'art en matière de cybersécurité et qui a démontré ses performances dans d'autres domaines

Cette technologie bénéficie du plein soutien et de la confiance des autorités (nationales et européennes)

La Blockchain protège la propriété des données et permet des vérifications et des alertes automatiques des données en temps réel. Il n'y a pas besoin de certification par un tiers et cela donne un point unique de vérité.

Résumons maintenant la valeur apportée par la Blockchain :

Tout d'abord, vous obtenez des performances, une efficacité accrue au sein d'un écosystème avec un accès automatique et en temps réel aux données et une vérification et une alerte automatiques des données. La valeur ajoutée intéressante est de créer une continuité numérique avec les plus petits acteurs de la chaîne qui peuvent ne pas avoir un ou ne peuvent pas se permettre un système d'information sur leur propre et peut accéder à un système blockchain puissant à faible coût. Ensuite, vous obtenez la réactivité : dans la mise en œuvre de Blockchain car il n'est pas très intrusif dans le système d'information de chaque entreprise et dans l'utilisation parce qu'il facilite les échanges en temps réel. Et la réactivité permet également d'augmenter la satisfaction des clients. Vous avez la certification, l'authentification et la lutte contre la fraude par conception. L'important est la certification de la propriété des données.

Enfin, l'ouverture de nouvelles opportunités avec la génération de nouvelles données, les nouvelles opportunités commerciales et la transformation du modèle d'affaires.

Mais au centre de la valeur, vous trouvez la confiance dans l'écosystème de travail et en dehors de celui-ci pour les clients. Vous passez d'une relation client-fournisseur à une relation partenaire, ce qui amène beaucoup plus de valeur.

Dans les moments difficiles, la collaboration est le seul moyen de poursuivre le progrès et l'innovation. Les projets blockchain sont des projets de collaboration, et cela signifie aussi des dépenses et des risques partagés. ■

## TABLE RONDE

## La blockchain

PAR PHILIPPE PROUST, THALES

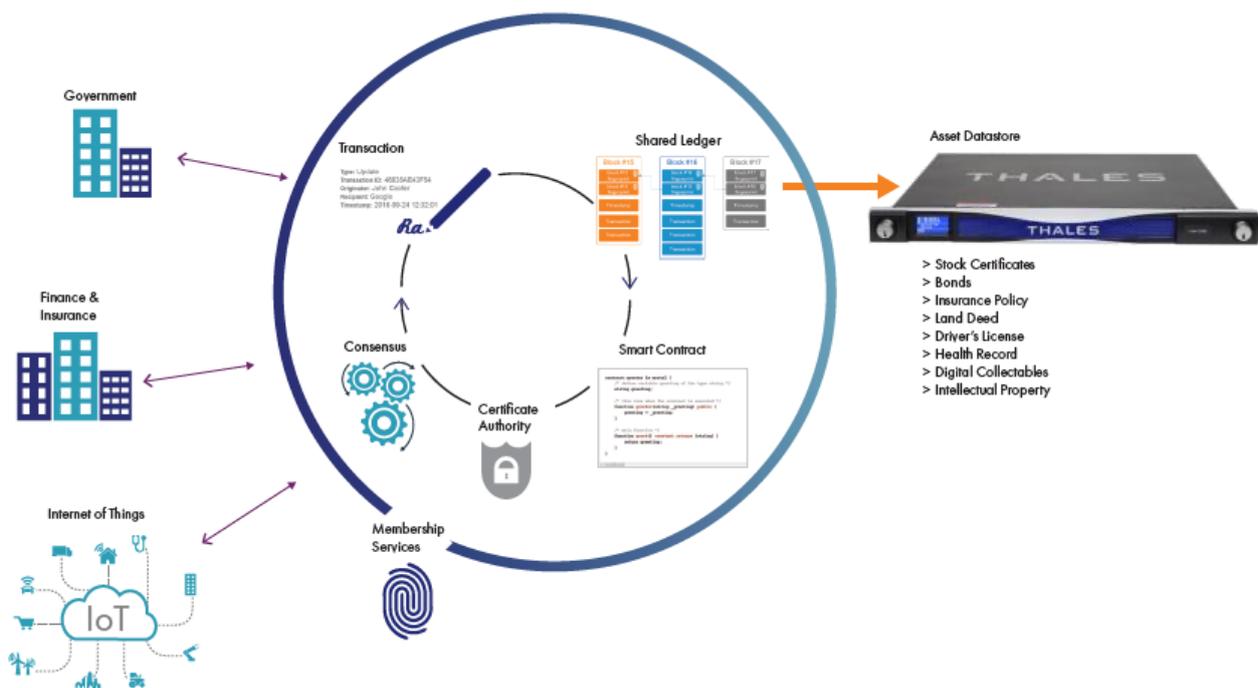
Depuis les premières utilisations de la technologie, Thales délivre les éléments indispensables au déploiement de blockchains sécurisées : Hardware Security Modules – HSMs - et solutions d'authentification fortes sont en effet deux éléments clés d'un déploiement robuste et fiable d'une blockchain. Les premiers assurent la protection et le bon usage des clés cryptographiques et les secondes un accès contrôlé aux infrastructures IT déployées. La génération et le stockage des clés cryptographiques, la signature de blocs, le chiffrement de données sensibles, la sécurité des algorithmes de consensus... peuvent ainsi s'appuyer sur l'utilisation de modules de sécurité certifiés, les HSMs. L'accès aux infrastructures bénéficie de son côté d'une gestion rigoureuse des identités et des droits, couplée à une authentification forte des intervenants.

En plus de la fourniture de blocs de sécurité, Thales évalue de façon régulière la pertinence de la technologie dans ses écosystèmes : défense, télécommunications, services bancaires, services gouvernementaux, avionique... En effet, la gestion des chaînes d'approvisionnement, du cycle de vie des équipements, des identités numériques, des actions écoresponsables... peuvent avantageusement tirer parti de la technologie blockchain et bénéficier à l'ensemble d'un écosystème. Dans ces cas d'utilisation, les blockchains privées et de consortium sont une des réponses possibles. Toutefois, contrairement aux blockchains publiques qui

sous-tendent par exemples les cryptomonnaies, les blockchains privées et de consortium ont souvent des technologies alternatives comme les bases de données ou les registres centralisés. Le choix se fait alors au cas par cas en fonction des infrastructures IT existantes, des exigences d'audit, des besoins de performances...

Au-delà de la sélection de la technologie la plus adaptée au cas d'utilisation considéré, la pertinence d'une solution collaborative repose sur l'adhésion des parties prenantes et sur leur volonté de participer activement à la mise à jour du registre. Convaincre un écosystème incluant souvent des entreprises concurrentes est un processus lent. Ce processus peut toutefois être accéléré s'il est par exemple encouragé par une autorité « publique » ou impulsé par une régulation. La question du modèle économique, du financement, et de la juste rétribution des entités qui conçoivent et opèrent la blockchain collaborative est alors à considérer.

S'il existe quelques cas particuliers où la mise à jour d'un registre est dans l'intérêt immédiat des intervenants, nombreux sont les cas d'usage où une solution collaborative de type blockchain pourrait bénéficier à plus moyen terme aux participants. Le processus d'adhésion et de déploiement pouvant cependant être long, un appui par une autorité publique pourra alors s'avérer utile voire décisif. ■



## TABLE RONDE

# Mécanique de consensus et transfert de responsabilité blockchain

PAR CLÉMENT BERGÉ-LEFRANC, CEO OWNEST

Quand on parle de traçabilité, la plupart des systèmes actuels reposent sur une mécanique déclarative. C'est-à-dire que l'on fait exclusivement confiance aux acteurs pour remonter une information «fiable» et - idéalement - en temps et en heure.

Avez-vous déjà essayé, dans votre propre entreprise, de faire remonter le reporting des commerciaux de manière fiable et en temps voulu ? C'est extrêmement difficile. En l'absence de contrainte hiérarchique ou de sanction vous réussirez surtout à récolter des reportings de manière sporadique au bon vouloir de l'humeur de vos commerciaux.

Et bien, c'est exactement ce que l'on demande aujourd'hui à nos réseaux logistiques. La seule différence est que les commerciaux sont des partenaires, des prestataires externes ou encore des sous-traitants.

Résultat : Aujourd'hui la traçabilité reste parcellaire, encapsulée dans les SI de chacun, non instantanée avec, en prime, toute une armée de personnes chargées de rechercher, d'envoyer des mails, de faire des réclamations, le tout en espérant récupérer des produits ou de simples bribes d'informations.

Parlons maintenant de Blockchain et surtout de sa mécanique de consensus.

*La blockchain, ce registre décentralisé et sécurisé par procédé cryptographique, est souvent vanté pour son caractère infalsifiable. C'est vrai dans sa mécanique mais pas dans son contenu.*

Autrement dit, elle horodate l'ensemble des opérations mais rien ne garantit pour autant la véracité de l'information qui y est inscrite.

Ainsi, beaucoup de projets Blockchain/Supply Chain sont arrivés à cette conclusion : Horodater du déclaratif via la blockchain ne change rien ou pas grand-chose et la baguette magique Blockchain peut-être remise «chez Ollivander».

*Mais la vraie révolution blockchain ne serait-elle pas juste derrière avec le mécanisme de consensus ?*

Pour le comprendre, le plus simple reste de déconstruire un transfert Blockchain avec l'exemple de bitcoin où Mrs A veut donner 1 bitcoin à Mr B.

Pour donner 1 bitcoin, Mrs A doit écrire la transaction informatique d'1 bitcoin vers Mr B (un peu comme un chèque) avant de la mettre dans un panier de transaction en attente de validation.

Mr B regarde et attend la validation de la transaction.

Survient un 3ème acteur - le mineur M - qui va vérifier le solde de Mrs A dans ce registre pour valider la transaction et l'intégrer dans le futur bloc de la blockchain. S'il est le premier, il gagne environ 100 000 EUR, en fonction de la période et du cours.

Ainsi, la blockchain représente ce registre, cet enchaînement de blocs qui contiennent des milliers de transactions depuis le début. C'est cette chaîne de blocs que l'on nomme la Blockchain.

Rien d'extraordinaire techniquement sauf que :

Quand Mrs A détient un bitcoin et veut le donner à Mr B :

- **Son objectif individuel** est de prouver qu'elle détient un bitcoin de valeur pour pouvoir le transmettre à B.
- **Son effet collatéral** est de créer une transaction Bitcoin en attente de validation.

Pour Mr B :

- **Son objectif individuel** est de récupérer ce bitcoin de valeur.
- **Son effet collatéral** est d'inspecter les blocs.

Pour le mineur M (ou validateur) :

- **Son objectif individuel** est de créer un bloc, en vue d'une forte rétribution financière.
- **Son effet collatéral** est de mettre des transactions valides dans un bloc et donc de valider la transaction.

La révolution Blockchain se trouve exactement ici dans la mesure où l'on a agencé les effets collatéraux des objectifs individuels de chacun dans un système qui s'auto complète et qui se sécurise.

Pour le dire simplement : dans une mécanique de consensus, chacun pense à soi et les actions de chacun renforcent et sécurisent le système.

Et c'est simplement avec ce mécanisme que désormais les Blockchains sécurisent des milliards d'actifs dans le monde...



Accord blockchain – supply chain

#### Le consensus de responsabilité Blockchain d'OWNEST :

De notre côté, nous avons simplement créé la même chose pour les produits physiques. **Chaque acteur de la chaîne va penser d'abord à lui mais au final va contribuer à la sécurisation et à la traçabilité globale.**

Comment ?

Pour chaque produit physique est associé un jumeau numérique blockchain ou NFT (non fungible tokens – jetons non fungibles) de responsabilité qui encapsule la responsabilité du produit et enregistre sur une blockchain publique son détenteur à chaque étape.

Ainsi, **chaque fois que des opérateurs vont se transférer le produit physique, ils vont se transférer en même temps la responsabilité de ce produit.** C'est ce que l'on appelle «se refiler la patate chaude» de la responsabilité. Autrement dit, chaque acteur cherche ici à livrer le produit, en conformité avec la demande initiale, afin de se déresponsabiliser le plus rapidement possible, tandis que l'autre souhaite avant tout récupérer le produit.

Derrière ce transfert de responsabilité, **nous avons recréé un mécanisme de consensus de type blockchain** ou chaque opérateur agit au nom de :

- Son objectif individuel : **refiler la patate de la responsabilité**
- Son effet collatéral : **co-valider le transfert de responsabilité vers le maillon suivant.**

Un tel système de consensus contradictoire permet de **savoir exactement qui est responsable de quoi, sur n'importe quel réseau, à n'importe quel moment.**

On obtient ainsi **une remontée d'information valide**, puisqu'émise structurellement à chaque étape du parcours du produit et ce quel que soient les personnes présentes à ces étapes.

Cette traçabilité d'un nouveau genre - permet **d'atteindre enfin le suivi temps réel** - et est déjà opérationnelle dans de grands groupes et acteurs industriels, issus aussi bien des transports et de la logistique, de la grande distribution, de l'industrie du luxe que des télécommunications.

OWNEST déploie également des mécaniques de démocratisation de la blockchain pour adresser la distribution de NFT à 100% de la population avec l'application Owalt et un simple numéro de téléphone. ■

## EXPOSITION

# Exposition au Hangar Y dans le cadre du colloque Les nouvelles mobilités

Le colloque Les Nouvelles Mobilités s'est tenu les 22 et 23 septembre 2022 dans le Hangar Y de Meudon. La vastitude des lieux a permis de tenir concomitamment un hackathon avec 200 participants, la présente exposition et le colloque dont les actes sont disponibles dans le n°2 de Trajectoire(s) : [https://w3.onera.fr/alumni/system/files/trajecoire\\_-\\_lundi\\_5\\_decembre.pdf](https://w3.onera.fr/alumni/system/files/trajecoire_-_lundi_5_decembre.pdf)



Cette manifestation multiple s'est déroulée dans de bonnes conditions avec un magnifique soleil le premier jour, plus voilé le second. Le midi les participants déjeunaient au PERCHOIR Y dans une ambiance bon enfant.

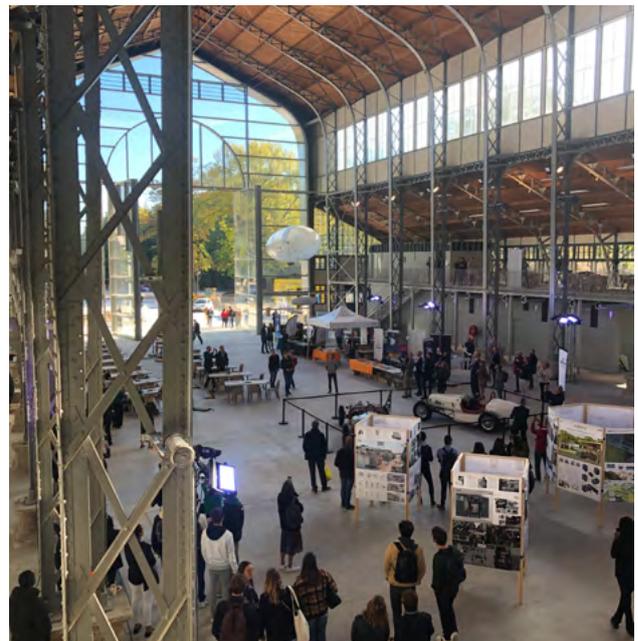


La « plage » du perchoir Y face au Hangar



Déjeuner le 22 septembre : de g. à d. : S. Demilly, sénateur de la Somme, Ph. Lacroute, porte-parole Air France, D. Gouband, président du Hangar Y, B. Chanetz, Alumni-ONERA, G. Leclerc, CNEWS, D. Larghero, maire de Meudon

## LES EXPOSANTS AU HANGAR Y



L'exposition vue de la mezzanine ouest

## ONERA



Le stand ONERA avec le projet d'avion électrique AMPERE

L'ONERA, acteur central de la recherche aéronautique et spatiale, emploie plus de 2000 personnes. Placé sous la tutelle du ministère des Armées, il dispose d'un budget de 266 millions d'euros (2022), dont plus de la moitié provient de contrats d'études, de recherche et d'essais. Expert étatique, l'ONERA prépare la défense de demain, répond aux enjeux aéronautiques et spatiaux du futur, et contribue à la compétitivité de l'industrie aérospatiale. Il maîtrise toutes les disciplines et technologies du domaine.

Tous les grands programmes aérospatiaux civils et militaires en France et en Europe portent une part de l'ADN de l'ONERA : Ariane, Airbus, Falcon, Rafale, missiles, hélicoptères, moteurs, radars...

Reconnus à l'international et souvent primés, ses chercheurs forment de nombreux doctorants.

Recrutement en 2022 : nouvelle année record pour l'ONERA ! Avec 194 nouveaux talents embauchés, l'année 2022 a de nouveau été marquée par une hausse des recrutements !

**Nathalie Guillochon, Direction des ressources humaines ONERA**, proposait les postes à pourvoir. Son interview est disponible sur coworking channel : <https://coworkingchannel.news/colloque-les-nouvelles-mobilites-2022-interview-nathalie-guillochon-drh-de-lonera-par-meriem-belazouz-coworking-channel/>

Aujourd'hui, l'ONERA propose plus de 200 postes. Intégrer l'ONERA, c'est :

- Être au cœur de la performance scientifique pluridisciplinaire de haut-niveau ;
- Travailler au sein d'infrastructures de recherche hors du commun ;
- Travailler dans une équipe tout en restant autonome et avec des responsabilités rapidement confiées ;
- S'ouvrir à la communauté scientifique internationale avec des enjeux forts comme l'environnement ou le transport aérien du futur ;
- Avoir la possibilité de partager sa passion en dispensant un enseignement en université et école.

<https://www.onera.fr/fr/actualites/recrutement-2022-nouvelle-annee-record-pour-l-onera>

## AVIONS MAUBOUSSIN



Alérion M1h

La marque mythique d'Avions Mauboussin a été relancée par David Gallezot qui a fondé l'entreprise en 2011. Celle-ci est implantée à Belfort depuis 2017 avec une équipe d'une dizaine de personnes. L'objectif est de permettre une mobilité aérienne interurbaine responsable. En d'autres termes, le souhait est de relier directement le cœur des villes avec une solution de transport aérien rejetant peu de CO<sub>2</sub>. Afin d'illustrer l'intérêt de cette mobilité interurbaine, considérons par exemple le trajet entre Paris la Défense et Canary Wharf à Londres. Le trajet par avion de ligne ou par Eurostar dure environ 3h30, porte à porte. Avec un avion pouvant décoller de l'héliport d'Issy-les-Moulineaux et atterrir à London City, le trajet porte à porte ne dure plus que 1h30. Puisque la piste d'Issy-les-Moulineaux ne fait que 300 m de long, l'avion doit posséder la capacité de décoller et atterrir court (STOL en anglais). Ensuite, la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> des Avions Mauboussin passe par le développement d'un système de propulsion hybride électrique – thermique innovant, projet baptisé Zéphyr. Le moteur thermique, dans un premier temps alimenté en carburant conventionnel, fonctionnera à terme avec de l'hydrogène. Enfin, la structure sera réalisée en composites naturels avec du bois et des fibres issues de filières responsables.

Le premier modèle d'Avions Mauboussin sera un avion léger biplace en tandem : Alérion M1h. Le second sera un avion multimoteur régional hybride de 6 places : Alcyon M3c. Le premier vol d'Alérion est prévu en 2023 et celui d'Alcyon en 2024. La conception d'Alcyon s'appuiera sur les briques technologiques développées pour Alérion.

Voir interview de **David Gallezot, CEO Avions Mauboussin** sur coworking channel : <https://coworkingchannel.news/tag/avions-a-hydrogene/>

## DEVINCI



*La DEVINCI dans les vignes*

En 2017, la DEVINCI voit le jour sous la forme d'un cabriolet biplace que l'on croit directement échappée des années 30. Passé l'aspect « rétro » du plus bel effet, certains éléments évoquent volontairement la modernité de l'automobile. En effet, on peut dire que DEVINCI fabrique des modèles de collection sortie d'usine.

La conception est 100% française. Les ateliers de fabrication et d'assemblage se situent proche de Toulouse. Les DEVINCI sont entièrement construites à la main et en quantité limitée.

Pour réaliser ses automobiles 100% électriques, DEVINCI ne s'entoure que d'artisans français. Chaque DEVINCI reçoit un soin unique. La finition répond au même degré d'exigence qui fait de chaque véhicule une véritable œuvre d'art. L'autre particularité de ces véhicules, c'est le plaisir de conduite qu'ils procurent.

Parfaitement équilibrée, l'automobile allie confort et performances sans aucune forme d'assistance artificielle à la conduite. Le tout bénéficie d'une homologation européenne en tant que quadricycle lourd et peut même être conduit dès 16 ans avec un permis B1.

DEVINCI propose ainsi une véritable œuvre d'art française à la fois innovante et exclusive qui permet de rouler de manière originale et écologique tout en procurant des sensations uniques inégalées. C'est ça l'art de vivre DEVINCI. [devinci-cars.com](https://devinci-cars.com)

voir l'interview de **Jonathan Rouannet**, CEO DEVINCI sur coworking channel : <https://coworkingchannel.news/interview-coworking-channel-drive-with-me-jonathan-rouannet-dr-cial-de-de-vinci-automobiles/?playlist=138367>



*Des visiteuses - Emilie Chanetz et sa tante Marie-Claire Coët - n'ont pas résisté à la tentation de se mettre au volant d'un des deux véhicules présentés, celui au second plan – blanc – étant la propriété du prince de Monaco qui l'avait spécialement prêté pour l'occasion*

## FLYING WHALES



*Au-dessus du stand Flying Whales dans le Hangar Y*

## Un Dirigeable pour le transport de charges lourdes

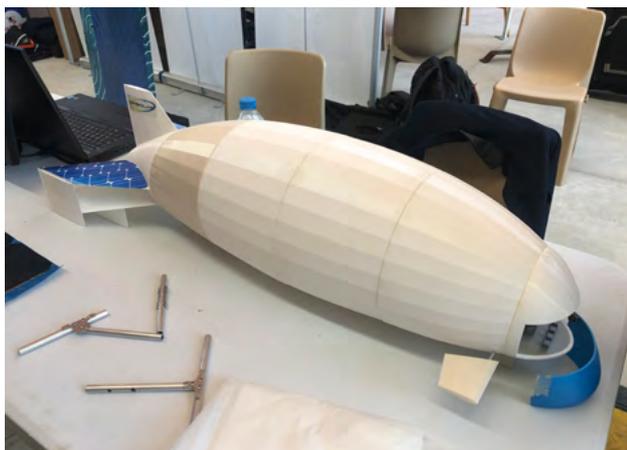
En 2012, la société Flying Whales, pour répondre à une problématique économique et écologique, débute le développement d'un dirigeable cargo. Economique car la France importe massivement diverses essences de bois, alors qu'elle dispose de l'une des plus grandes forêts d'Europe ; écologique car cette ambiguïté vient du problème d'accès à cette ressource, lourde d'impacts sur l'environnement. Le secteur forestier français repose sur la coupe et l'extraction d'essences dont les accès sont partiellement en place en forêt mais sont aussi régulièrement détériorés par les passages de grumiers. Les impacts économiques et environnementaux de création et d'entretien de ces accès ne permettent tout simplement pas d'équilibrer l'équation économique et environnementale de l'exploitation forestière française.

Ainsi est née la solution « LCA60T » ou Large Capacity Airship 60 tons, en français « dirigeable de transport de charges jusqu'à 60 tonnes » est un dirigeable ayant pour vocation le transport à faible impact environnemental depuis et vers des lieux isolés, de charges volumineuses et/ou lourdes. D'une capacité de chargement de 60 tonnes en soute ou sous élingues pour les éléments les plus volumineux, le LCA60T dispose de dimensions imposantes, 200 m de long pour un diamètre de 50 m, le plaçant comme le plus grand aéronef du monde.

L'avantage principal de cet aéronef réside dans sa capacité à décoller et atterrir verticalement, mais aussi et surtout sa capacité à charger et décharger en vol stationnaire, sans nécessiter de lourdes infrastructures de transport au sol.

Voir aussi l'interview de **Sylvain Allano et Christophe Rodde** sur coworking channel : <https://coworkingchannel.news/colloque-les-nouvelles-mobilites-interview-de-sylvain-allano-et-christophe-rodde-de-flying-whales-par-meriem-belazouz/>

## DIRISOLAR



Maquette Dirisolar présentée sur le stand au Hangar Y

Dirisolar développe un dirigeable solaire de nouvelle génération. Le blocage du marché civil des dirigeables dure depuis cent vingt ans. Ce n'est ni l'accident du Hindenburg en 1937, ni la concurrence triomphante des avions qui expliquent ce blocage.

C'est le besoin d'une importante équipe au sol pour permettre aux dirigeables d'atterrir. Le coût trop élevé de cette équipe plombe depuis toujours la rentabilité des dirigeables.

Dirisolar a mis au point et breveté une solution simple et radicale pour supprimer cette équipe au sol : c'est une forme nouvelle du dirigeable avec un fond plat. L'autre innovation de Dirisolar est l'usage de l'énergie solaire comme seule source d'énergie. Le rêve de toujours de l'homme de voler durablement dans l'atmosphère sans effort est enfin réalisé. Pas de pétrole, donc pas de CO<sub>2</sub>, pas de pollution, pas de bruit, les écologistes ne savent plus quoi exiger.

L'appareil, conçu pour emmener cinq personnes est idéal pour faire du tourisme de proximité, c'est-à-dire le survol court (une demi-heure) des plus beaux sites touristiques, comme par exemple le château de Chambord. Des centaines de sites dans le monde attendent cet appareil, et les enquêtes de marché montrent que deux milliards de touristes souhaitent voler à bord chaque année. Un prodigieux business à venir.

Voir site web : [dirisolar.com](http://dirisolar.com)

Voir l'interview de **Thierry Roucaute**, ingénieur DIRISOLAR, sur coworkingchannel :

<https://coworkingchannel.news/colloque-les-nouvelles-mobilites-2022-interview-thibault-roucaute-de-dirisolar-par-meriem-belazouz/>

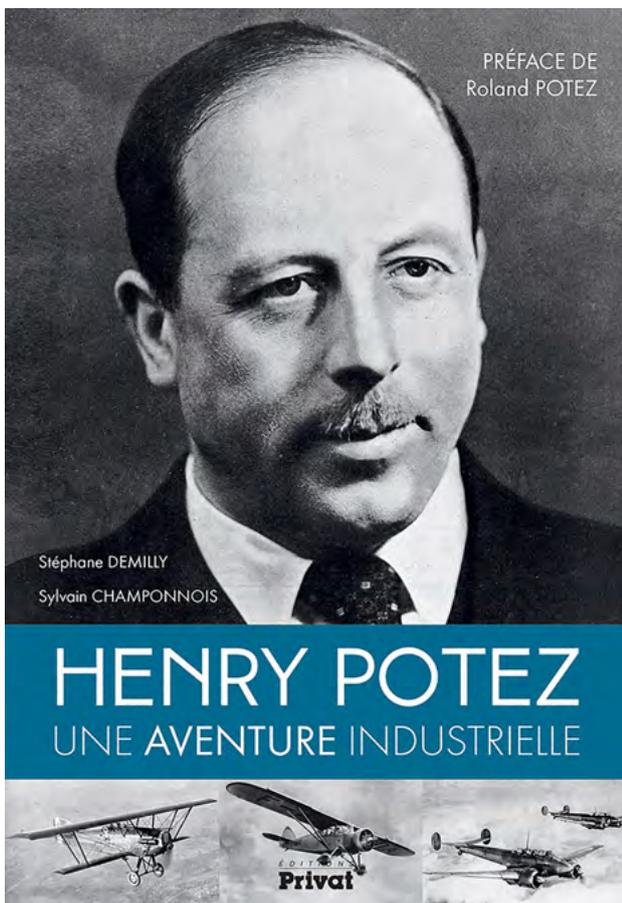
## Le DS-1500 : Un aéronef 100% électrique en réponse aux attentes actuelles



## RECENSIONS

# Henry Potez, une aventure industrielle par Stéphane Demilly et Sylvain Champonnois aux Editions Privat

PAR BRUNO CHANETZ



Stéphane Demilly, sénateur de la Somme, est l'un des auteurs de cet ouvrage consacré à un enfant du pays Henry Potez (1891-1981), qui comme lui, fut maire d'Albert. Son co-auteur Sylvain Champonnois est officier de l'Armée de l'air, chargé de recherche au Service historique de la Défense. L'ouvrage est préfacé par Roland Potez, petit-fils d'Henry Potez.

Cette très riche biographie permet de découvrir la personnalité de ce brillant industriel, qui dès l'âge de 14 ans, dessina son premier appareil à ailes fixe et le fit réaliser par le menuisier de la minoterie familiale. Il avait 18 ans lorsqu'il déposa, avec le chauffeur de son père Bienvenu-Cyrille Rouzé, son premier brevet pour un moteur à explosion à mouvement excentrique. En 1910, il est admis dans la toute nouvelle École supérieure d'aéronautique et de construction mécanique (ENSACM). Diplômé en 1911, il appartient à la première promotion qui compte dans ses rangs Raoul Badin et

Henri Coanda. L'année suivante il effectue son service militaire à l'Établissement aéronautique de Chalais-Meudon, où il perfectionne ses connaissances techniques sous la direction du commandant Dorand et conçoit de nouvelles formes d'hélice. À Meudon, il fait la connaissance de Marcel Bloch et de Louis Coroller, qui deviendra un homme-clef de son aventure industrielle. À eux trois ils mettront au point la fameuse hélice Éclair, fabriquée en noyer par les fabricants de meubles du Faubourg Saint-Antoine, à 4 000 exemplaires. En 1916, Marcel Bloch et Henry Potez créent la Société d'étude aéronautique (SEA), installée dans l'ancienne usine Antoinette à Suresnes. Cette même année, elle produit le prototype SAE 1. Henry Potez a seulement 25 ans. En 1918, le SAE 4 sera produit en série à Angers, mais l'armistice met fin à la production. Pressentant l'essor de l'aviation civile, il fonda en 1919 La société des aéroplanes Henry Potez, laquelle employa entre les deux guerres jusqu'à 10 000 personnes et produisit plus de 7 000 avions. En 1931 Henry Potez est élu pour quatre ans président de la Chambre syndicale des industries de l'aéronautique, qui deviendra en 1936 l'Union syndicale des industries aéronautiques, puis en 1975 le Groupement des industries françaises aéronautique et spatiales (GIFAS). Au sein de cette institution, il œuvre pour que l'aéronautique française rattrape son retard sur ses concurrentes allemande, américaine, anglaise et russe.

Henry Potez avait une image de patron social, auquel Jean-Pierre Cot, ministre de l'Air, rend un vibrant hommage en ce 27 août 1933, où il visite à Méaulte, la plus grande usine aéronautique du monde, inaugurant restaurant d'entreprise et divers équipements sportifs destinés aux ouvriers. Félicitant celui qui « fit surgir à Albert de cette terre meurtrie de la Somme un stade magnifique », il ajoute « Le travail moderne, c'est moins un homme, qu'une association qui commande à d'autres hommes, qu'une collaboration d'hommes établissant entre eux ces rapports - et je vous en félicite - que vous avez su créer entre vous, et tout votre personnel ». Jean-Pierre Cot voyait également en Henri Potez « un homme conscient des responsabilités que lui crée ce titre de président de la chambre syndicale d'une des plus grandes industries françaises, de la plus grande puisqu'elle est destinée à permettre à notre pays de se rélever ».

Pourtant en 1937, le gouvernement du Front Populaire nationalise la société d'Henry Potez, de même que la société de Marcel Bloch. À eux deux ils totalisent plus de 61% des indemnités versées par l'État et chargent Abel Chirac, leur conseiller financier commun de faire fructifier cette manne financière importante.

Henry Potez est cependant nommé directeur général de la *Société nationale de construction aéronautique du Nord* (SNCAN) et reste donc à la tête de l'ancienne société Potez jusqu'au désastre militaire de 1940, où il est démis de ces fonctions. Pourtant la cadence de production à Méaulte et aux Mureaux était de 120 appareils par mois. Henry Potez déclara : *Dans le fond, on a satisfait au programme. On a sorti beaucoup d'avions à la fin... Mais ils n'ont pas été tous utilisés.* Durant la guerre l'usine de Méaulte, réquisitionnée par l'occupant, fabrique des avions allemands. De 1940 à 1944, elle est bombardée onze fois, deux fois par les forces allemandes et neuf fois par les alliés. Henry Potez, réfugié dans sa propriété du Rayol au sud de la France, accueille durant les cinq ans de la guerre Abel Chirac et son épouse ainsi que leur fils Jacques, futur président de la République. En 1948, plusieurs entreprises de moteur d'avion sont nationalisées et Henry Potez est nommé par le gouvernement administrateur spécial de la *Société nationale d'études et de construction de moteur d'avion* (SNECMA). En 1955, Henry Potez devient Gérant-directeur des Établissements Henry

Potez, qui viennent d'être créés. En 1958, il achète *Air-Fouga* qui devient *Potez Air-Fouga*, la future *Potez Aéronautique*. À partir de 1967, alors âgé de 76 ans, Henry Potez ralentit ses activités aéronautiques, réalisées par l'usine d'Aire-sur-Adour, dont son petit-fils Roland Potez reprendra plus tard les activités.

En 1960, il devint président de l'Association française des ingénieurs et techniciens de l'aéronautique (AFITA), créée en 1945, et devenue en 1961 AFITAE - E pour Espace, puis dissoute pour se transformer en 1970, avec la *Société française d'aéronautique* (SFA) en AAAF.

En 1958 il devient également président de l'*Association des amis du Musée de l'Air*, ce qui l'amène à travailler régulièrement avec le général Lissarague, directeur du Musée de l'Air, qui écrit en 1977 à son propos : *Un passionné d'aviation qui a eu la chance de faire de cette passion son métier, et qui a bien réussi.* ■



Publicité pour le Potez 36

## RECENSIONS

*Sculpture et Chaos. Quel héritage pour quel futur (juin 2018)*  
 par Jean Letourneur aux éditions  
*Connaissances et Savoirs*, préface  
 de Jean Luminet (CNRS) et postface  
 de Bruno Chanetz (ONERA)

PAR BRUNO CHANETZ

## Sculpture et Chaos

Postface de Bruno Chanetz

...sans rien finir trop tôt, nous faisons travailler en permanence notre inconscient qui sait que rien n'est terminé, que l'on a laissé partout des problèmes non résolus en ne finissant pas alors que des solutions se présentaient en foule ; mais un inconscient lucide, capable de terminer à notre place... Ces concepts figurent ensemble ou séparément, à des degrés divers, dans toutes mes sculptures, et je les ai présents à l'esprit. Mais ils ne se montrent pas. Ils sont intégrés au processus de création, étroitement entremêlés comme dans un « art de la fugue » plastique. Le concept, c'est la tonalité. Son incarnation formelle – tel mouvement, tels rapports de formes – c'est le thème. Le gradient, c'est le souffle, la volonté d'expression, le désir.

Ses développements harmoniques et mélodiques constituant le tissu structurel de la composition.

Professeur agrégé à l'ensaama et héritier de la tradition de la Taille Directe apprise auprès d'un Prix de Rome 1926, Jean Letourneur initia dès le début des années 80 un travail de recherche en lien avec les sciences qui le place parmi les précurseurs de l'art fractaliste. Entre les figures de Malraux et de Restany, l'auteur, en ouvrant les portes de son atelier ainsi que celles des laboratoires de recherche qu'il a pu fréquenter, lève un coin du voile de la création artistique.



15,00 €



9 78



Agrégé de l'Université, ancien professeur de sculpture à l'École Nationale Supérieure des Arts Appliqués et des Métiers d'Art (ENSAAMA) est le sculpteur du mouvement fluide par excellence (site de Jean Letourneur : <http://www.jeanletourneur.com/>)

Sculpture et Chaos JEAN LETOURNEUR

Connaissances  
et Savoirs

JEAN LETOURNEUR

## Sculpture et Chaos

Quel héritage, pour quel futur ?

Préface de Jean-Pierre Luminet

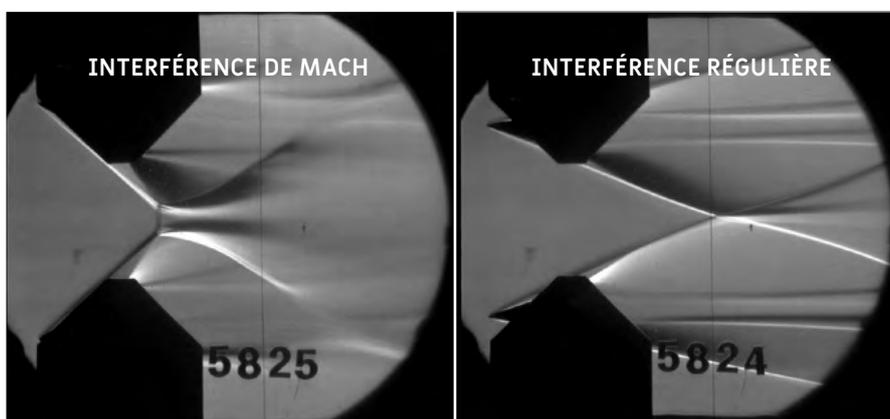
Art et Culture  
Arts plastiques et graphiques

Collection Art, Philosophie, Humanités numériques

Dans cet essai publié dans la collection *Art et Culture. Arts plastiques et graphiques*, qui prend parfois des allures de pamphlet, Jean Letourneur établit un constat sans concession sur notre époque, où malgré les propos convenus d'ouverture à toutes les formes d'art, de véritables forteresses, impénétrables à qui ne fait pas partie de *l'establishment* se sont constituées. Ce réquisitoire est émaillé d'anecdotes qui font tout le charme du récit. Mais ces dernières ne sauraient occulter la trame de l'œuvre de Jean Letourneur : sa quête de l'unité, entre art et science.



*Interférences de chocs (2005), œuvre en stuc (61x7 cm) conçue pour l'Année Internationale de la Physique*



*Visualisations strioscopiques à Mach 10 dans la soufflerie R3Ch de l'ONERA à Meudon.*

À l'aube de sa carrière, Jean Letourneur a puisé son inspiration dans les visualisations, réalisées au tunnel hydrodynamique de l'ONERA à Châtillon par l'ingénieur Henri Werlé. On peut même affirmer que les films d'Henri Werlé, à la confluence de l'art et de la science, ont été à l'origine de son œuvre. Plus tard Jean Letourneur a découvert, avec les souffleries de l'ONERA à Meudon, des écoulements à très grande vitesse. Il en est résulté une grande médaille pivotante « Interférences de chocs » représentant sur une face un croisement de chocs du premier type, ou interférence régulière, et sur l'autre face un croisement du second type, ou phénomène de Mach [1]. Les visualisations d'origine ont effectuées dans le cadre de la thèse de doctorat d'Alain Durand, sous la direction de Bruno Chanetz.

Cette médaille bi-face a été retenue pour constituer un trophée pour l'édition 2023 du festival *star's up* au Hangar Y.

[1] Chanetz B. et Benay R., *Hysteresis phenomena associated with shock waves interference in steady flow*, Int. J. of Aerodynamics, Vol 2, Nos. 2/3/4, 2012. ■

## RECENSIONS

# Traité de Perspective - Géométrie de la forme (janvier 2019) par Jean Letourneur aux éditions Eyrolles, préface Caroline Lecourtois<sup>1</sup>

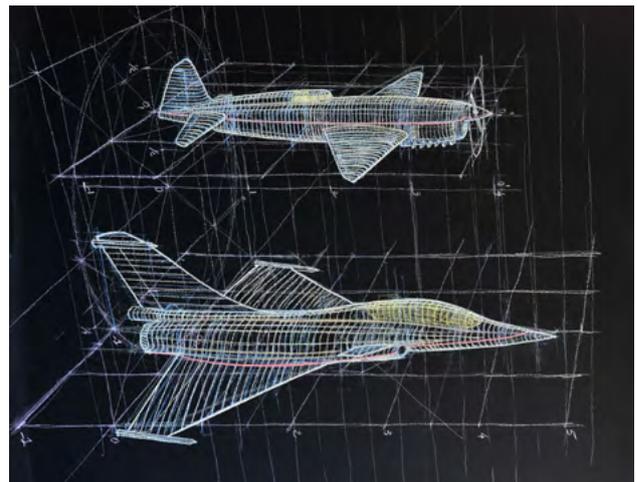
PAR BRUNO CHANETZ



Ce traité est entièrement dessiné en situation de cours théoriques et pratiques, avec plus de 400 dessins à la craie improvisés à main levée, sans aucune des béquilles que sont règles, équerres, compas.

A l'interface entre de nombreuses disciplines - géométrie, cristallographie, sculpture, design, architecture, statique graphique, topologie, tensegrité<sup>2</sup> - et en établissant des ponts avec l'histoire de l'art, ce traité a pour ambition de poser les jalons d'un langage commun les réunissant toutes, entre sciences et arts, par une analyse structurelle éclairante et non des recettes de rendus.

Le dessin n'est autre qu'un mode d'expression artistique, même si la nécessité l'aura ici nappé d'un peu de science. En prenant le risque de se poser très souvent un problème nouveau et d'en improviser la solution, Jean Letourneur aura passé trois ans à peaufiner cet ouvrage en s'amusant beaucoup m-a-t-il confié. Etant convaincu que tout cela n'est pas si difficile, il espère que son lecteur puisse en faire autant !



*Dessin structuraliste d'un avion de combat à la craie de couleur au tableau noir*

1. Caroline Lecourtois est directrice générale de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris La Villette

2. en architecture, la faculté d'une structure à se stabiliser par le jeu des forces de tension et de compression qui s'y répartissent et s'y équilibrent

## RECENSIONS

# Les Chevaliers du Ciel – Tanguy vs Laverdure par Patrice Buendia et Frédéric Zumbieh avec dessins de Sébastien Philippe chez Dargaud

PAR BRUNO CHANETZ



Cet album est la suite d'un premier tome *Retour aux Cigognes* des mêmes auteurs, mais il constitue une aventure passionnante en soi. Ces auteurs ont déjà produit deux autres aventures avant cet intéressant diptyque dont la trame s'appuie sur les dernières avancées en matière de nanotechnologies.

A cause de nano-implants installés dans leurs cerveaux, des pilotes de l'armée sont contrôlés à distance par le docteur Rochette, un scientifique spécialiste des biotechnologies et des expériences sans limite. Dans l'épisode précédent, les exactions commises ont obligé Tanguy à abattre un avion dont le pilote lançait des missiles en direction de voitures sur une autoroute. Dans le présent album, Ernest Laverdure, le meilleur copain de Michel Tanguy, est lui aussi sous influence et c'est Tanguy qui est chargé de le mettre hors d'état de nuire. Il en résulte une situation cornélienne où notre héros est partagé entre son devoir et son amitié. Tanguy

tente de raconter sa version des faits à un ministre, dont il subit en retour une violente diatribe, vitupérant notamment contre un *complotiste* notoire...injure terriblement actuelle ! Mais ce n'est pas le seul signe d'actualisation de la série, née en 1961 sous la plume de Charlier et le crayon d'Uderzo. En effet, les héros utilisent Skype, envoient des SMS, même aux commandes de leurs avions ... Sans avoir pris une ride ils ont pourtant 60 ans de plus. Les auteurs ne se contentent pas d'intégrer à leur récit les nouvelles pratiques quotidiennes, ils utilisent la langue de notre époque et en particulier le mot « putain » désormais employé dans le langage courant comme une banale interjection, alors qu'il constituait le « gros mot » par excellence à l'époque de la création de la BD ...

Cet album contient en outre des suppléments intéressants ou d'actualité.

On découvre une photo du hangar qu'Albert Uderzo, décédé le 24 mars 2020, avait fait construire dans son jardin des Yvelines pour abriter son *Mirage IIIE*. Les portes de ce Hangar s'ornaient à l'intérieur d'images géantes des deux héros à qui il avait donné vie : Tanguy et Laverdure. Uderzo avait par la suite confié cet avion à la base des Cigognes à Dijon.

Un autre supplément intitulé *Tanguy et Laverdure face à la Covid*, rappelle en image la contribution de l'Armée de l'air à la lutte contre cette pandémie. Son auteur, le dessinateur Sébastien Philippe raconte que le lendemain où il avait griffonné les trois pages reproduites dans cet album, un SMS lui apprit la mort d'Uderzo ...

Un autre supplément traite des exercices de tir effectués chaque année à partir de la base de Solenzara en Corse par les Cigognes de Luxeuil. Il s'agit de viser une cible de quelques dizaines de centimètres tractée par un *Alphajet* à près de 500 km/h. ■

## RECENSIONS

# 60 Histoires d'Espace en France de Pierre-Françoise Mouriaux et Philippe Varnoteau aux Editions Ginkgo

PAR NICOLAS BÉREND, ONERA



met en lumière de façon plus large les acteurs multiples de cette aventure, à la fois à titre individuel et collectif. Chacune de ces 60 « histoires d'espace » est ainsi illustrée par des témoignages directs et des anecdotes, rendant l'ensemble vivant et agréable à lire. L'ensemble peut se lire comme un feuilleton mais il est aussi tout à fait possible de lire ces histoires individuellement, chaque chapitre étant centré un épisode distinct, dont certains sont parfois peu connus. Certains chapitres concernent directement l'ONERA comme celui sur l' « opération Eclipse », qui a vu le lancement de deux fusées suborbitales Titus depuis l'Argentine pour des observations du rayonnement de la couronne solaire pendant une éclipse (1966) et ceux sur les satellites Castor (1965) et Microscope (2016), utilisant des accéléromètres ultra-sensibles ONERA. Un des points forts de ce livre est précisément de rappeler, au côté des projets phares du spatial français (Diamant, Ariane, Spot, ...), des réalisations relativement peu connues aujourd'hui mais qui ont été autant de jalons permettant à la France de devenir un acteur un majeur du spatial. L'ouvrage est préfacé par Charles Bolden (ancien Administrateur de la NASA 2009-2016), Jean-Jacques Dordain (ancien Directeur Général de l'ESA) et Jean-Yves Le Gall (ancien Président du CNES 2013-2021).

<https://www.ginkgo-editeur.fr/product-page/soixante-histoires-d-espace-en-france-1961-2021> ■

L'année 2022 marquait les 60 ans de la création effective du CNES, l'agence spatiale française. Publié à cette occasion et coordonné par Pierre-Françoise Mouriaux et Philippe Varnoteau, « 60 Histoires d'Espace en France » dresse un panorama de ces 60 ans d'histoire spatiale, sous une forme originale : un ensemble de 60 courts chapitres centrés chacun sur un épisode ou une réalisation notable de l'aventure spatiale française, rédigés par une dizaine de contributeurs. Si le CNES occupe naturellement une place centrale, l'ouvrage ne lui est cependant pas consacré et

## RECENSIONS

# Intuition et rationalité de Claude Roche et Gérard Sabah chez Les impliqués Editeurs, 2022

PAR THIERRY BOURON, MANAGEUR, DATA SCIENTISTE CHEZ ORANGE, AUTEUR DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, L'AFFAIRE DE TOUS, DE LA SCIENCE AU BUSINESS, PEARSON



Voilà près de 70 ans que la recherche sur l'Intelligence Artificielle a commencé. Les deux auteurs se sont intéressés à ce domaine depuis le tout début des années 1970. Cela leur apporte un retour d'expérience, une vue à la fois panoramique et approfondie du sujet. Ce livre prend du recul sur l'IA, raconte le passé et ce projette dans le futur. Il remet en lumière des pistes de recherche à creuser et s'interroge sur la qualification d'une IA forte. Le livre montre comment l'IA fondée sur les traitements probabilistes de données, le connexionnisme, celle des réseaux de neurones, s'est élaborée autour de la reconnaissance de forme (une forme étant comme l'explique les auteurs un pattern ou un patron qui ne se limite pas à des données graphiques). Cette IA « probabiliste » a abouti au cours de la dernière décennie, avec l'apprentissage profond, à des systèmes de vision et des systèmes de dialogues, de reconnaissance vocale intelligents très performants. Qui n'a pas

entendu parler en ce début d'année de « Chat GPT ? ». Les auteurs rapprochent cette IA de l'intuition. Le développement de cette IA c'est fait en parallèle d'une autre IA dite symbolique, fondée sur la logique et la rationalité. J'aime à rappeler cette pluralité de l'IA et de ce fait j'ai particulièrement apprécié le regard croisé des auteurs sur le sujet. Les auteurs cherchent à réconcilier ces IA plurielles et voir comment elles peuvent s'articuler dans une IA forte. Le livre présente plusieurs pistes de recherche autour de la Rationalité, l'IA symbolique, qui gagneraient à être reconsidérées avec les puissances de calcul actuel et les progrès récent de l'IA. C'est une bonne motivation pour des jeunes chercheurs à aller voir du côté des travaux de J. Pitrat, de R. Shank, T. Winograd, et bien d'autres chercheurs. L'ouvrage est au demeurant bien renseigné et didactique sur l'utilisation de l'IA dans des systèmes militaires, par exemple sur les systèmes de navigation, de vision, embarqués dans des missiles ou des drones autonomes, sur l'utilisation de l'IA dans les processus de traitement d'images issues d'observation spatiales, sur l'envoi de robots dans l'espace. Claude Roche nous fait bénéficier là de sa longue expérience au ministère de la défense. On apprend que dans des applications de Machine Learning militaires très critiques, un 4e jeu de données est créé en plus des données d'apprentissage, de validation et de test, pour permettre à un tiers d'auditer la qualité des résultats. Un tel processus existe donc déjà pour qualifier certaines IA ! Pourquoi ne pas s'inspirer de ce procédé d'audite dans d'autres domaines ? Les auteurs s'interrogent également sur le développement de systèmes intelligents de pilotage complètement autonomes dans l'aviation ou l'automobile. Ils mettent en perspective les risques. Sur les voitures autonomes ou robots taxis (« self driving car ») je parie sur un aboutissement plus rapide que celui estimé par les auteurs. Le service de « robot taxi » sans chauffeur WaymoOne n'est-il pas ouvert commercialement depuis 3 ans ? La dernière partie du livre constitue un essai autour de l'intelligence, la conscience et le langage. Les auteurs cherchent à déterminer ce qu'il manque à l'IA pour devenir une IA forte, une « intelligence » à proprement parlé.

D'un point de vue personnel ce livre m'a donné l'occasion de me replonger dans l'Univers du laboratoire d'IA de l'université Paris 6, où j'ai accompli mes études de 3ème cycle et j'ai eu la chance de suivre le cours d'un des deux auteurs, Gérard Sabah, au milieu des années 80 sur le langage naturel et les réseaux sémantiques. Ce laboratoire d'IA s'appelait plus exactement le LAFORIA (LABoratoire FORMes et IA). Je viens de comprendre une trentaine d'année plus tard la pertinence de cette juxtaposition « Forme » et « IA ».

## RECENSIONS

# Note de lecture sur le livre de Thierry Bouron « Intelligence artificielle, l'affaire de tous : de la science au business » paru aux éditions Pearson en juillet 2020

PAR BRUNO CHANETZ



Thierry Bouron a effectué une thèse à l'ONERA sur l'Intelligence artificielle (IA) dans les années 80 sous la direction de Jean Erceau. Il a dirigé des recherches en IA chez Orange et fondé des programmes innovants sur l'économie numérique. En charge de l'exploitation de services de données clients et d'outils de recommandations personnalisés dans le WEB, il utilise les techniques du machine learning à des fins opérationnelles. Il enseigne le management et le business de l'IA à la Skema Business School. Thierry Bouron n'en est pas à son premier ouvrage. Le 13 février 2019, Thierry Bouron était venu à l'ONERA à l'invitation d'Alumni-ONERA pour donner une conférence l'innovation au fil du temps à partir de son livre L'innovation 50 success stories ruptures, héritages et coups de génie paru chez DUNOD.

Le présent ouvrage traite de l'Intelligence artificielle (IA). Le premier à envisager l'intelligence des machines est le mathématicien britannique et cryptologue Alan Turing qui durant la seconde guerre mondiale contribua à percer le secret de la machine Enigma utilisée par les armées allemandes. Après la guerre il conçoit les premiers ordinateurs et énonce dès 1948 ce que pourrait être une machine pensante tout en reconnaissant qu'il « serait tout à fait abusif de s'attendre à ce qu'une machine sortie d'usine soit compétitive ou l'égale d'un diplômé universitaire ». Soixante-dix ans plus tard, de telles machines pensantes existent et surpassent l'homme. En octobre 2015, AlphaGO devient le premier programme à battre un champion au jeu de go. Les victoires des logiciels d'échec dix ans auparavant étaient avant tout fondées sur des performances de calcul, les logiciels étant plus simple à concevoir. Avec le jeu de go, le nombre de situations étant considérablement accru, les stratégies gagnantes sont apprises à partir d'un grand nombre d'exemples de parties. Plus encore, l'évolution AlphaGo Zero a montré des performances accrues : l'IA s'est entraînée contre elle-même sans avoir connaissance de parties jouées entre les humains. Apprendre par soi-même, ne serait-ce pas là encore faire preuve d'intelligence ?

D'autres réalisations des IA sont tout aussi marquantes : achèvement de la symphonie n°8 de Schubert, écriture de poèmes, avènement des véhicules autonomes et des populations de robots se mouvant dans les entrepôts d'Alibaba et d'Amazon, capacité de traduction et faculté de conversation. Cette dernière performance mérite d'être soulignée car souvent présentée comme preuve de la suprématie de l'homme sur les autres espèces. Or l'assistant de Google parvient à ne pas être décelé au cours d'échanges téléphoniques avec les accueils d'un restaurant ou d'un salon de coiffure.

Dans les dix prochaines années, nous allons côtoyer toutes sortes d'intelligences artificielles (IA). Nous en croisons d'ailleurs déjà. L'arrivée de robots-taxis, le sens de l'à-propos d'assistants virtuels et la suprématie de logiciels dans des jeux de stratégie montrent l'imminence d'un nouveau monde.

Mais les IA n'habitent pas que des robots, ce sont souvent des logiciels dans la finance, la justice, le commerce, la santé et aussi l'armement, où les solutions de suivi utilisées dans les véhicules autonomes servent également à poursuivre des cibles. Les grandes puissances s'inquiètent d'ailleurs de l'usage de flottes de drones à usage militaire dans la mesure où de telles armes sont beaucoup plus faciles à développer que la bombe atomique, une trentaine d'ingénieurs spécialisés pouvant les finaliser en trois à cinq ans avec des technologies en open source.

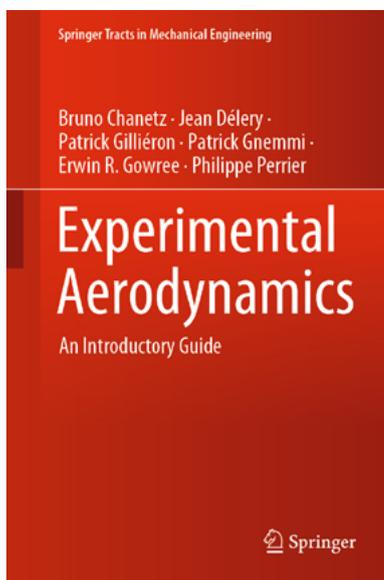
Ce livre permet de découvrir l'IA telle qu'elle est aujourd'hui dans sa pluralité, avec ses dimensions business et techniques. À travers un grand nombre d'exercices ludiques, il permet de comprendre les principes de fonctionnement de l'IA et ses fondements scientifiques, ses enjeux économiques et sociétaux ainsi que les risques et questions éthiques à considérer.

1 Laurent Chaudron : L'intelligence artificielle symbolique contre-attaque dans Lettre 3AF n°34 (novembre-décembre 2018) ■

## RECENSIONS

# Experimental Aerodynamics : An Introductory Guide by B. Chanetz, J. Délerly, P. Gillérion, P. Gnemmi, E. Gowree et Ph. Perrier chez SPRINGER

PAR LAURENT DALA, PROFESSEUR D'AÉRODYNAMIQUE ET CHEF DE DÉPARTEMENT À L'UNIVERSITÉ NORTHUMBRIA  
À NEWCASTLE (ROYAUME-UNI), MEMBRE DE LA COMMISSION AÉRODYNAMIQUE DE LA 3AF



La version anglaise du livre « Aérodynamique expérimentale : souffleries et méthodes de mesure » édité par Cépaduès, représente une nouvelle référence dans le domaine. Cette édition est unique en langue anglaise. Elle complète et remplace le fameux livre intitulé « Low-Speed Wind Tunnel Testing » écrit par Barow et al. et édité pour la première fois en 1984.

Les différents chapitres représentent une contribution des meilleurs spécialistes d'aérodynamique expérimentale tant en aéronautique qu'en automobile et représentent plus de 100 ans d'expérience dans les domaines allant des écoulements subsoniques aux écoulements hypersoniques. Ces contributions ont été organisées par Jean Délerly, ancien directeur du Département d'aérodynamique fondamentale et expérimentale de l'ONERA.

Ce livre regroupe les dernières méthodes de mesure expérimentale telles que la vélocimétrie par imagerie de particules ou Particle Image Velocimetry (PIV) et la peinture sensible à la pression (PSP). L'application de ces méthodes est illustrée par des exemples dans les différentes souffleries. Il est également à noter qu'une large place est donnée à la métrologie ce qui permet une meilleure compréhension des écoulements.

Ce livre unique en langue anglaise va très rapidement devenir une référence pour les étudiants de premier et deuxième cycles, les doctorants, les techniciens, les ingénieurs et les scientifiques.

Je suis très heureux de recommander ce livre sur l'aérodynamique expérimentale non seulement à la communauté scientifique et académique, mais également aux Ingénieurs. Je suis certain que chaque université, chaque centre de recherche et chaque entreprise intéressée par l'aérodynamique trouveront une place de choix pour ce livre dans leur bibliothèque et leur référence.

Jean-Pierre Marson, Président des éditions CEPADUES, éditeur de cet ouvrage nous a écrit suite au décès de Jean Délerly, le mot suivant :

« Cher Monsieur Chanetz et Cher Patrick Gillieron que j'associe à ce message, Je vous sais gré de nous avoir avertis du décès de Jean Délerly, ce qui est une bien triste nouvelle. Je regrette de n'avoir pas été en mesure de lui annoncer que votre ouvrage sera un jour édité en chinois. »

Les auteurs sont tous membres de la Commission technique aérodynamique de la 3AF, qui était présidée par Jean Délerly jusqu'à son décès le 6 décembre 2023.

**Bruno Chanetz** est ancien directeur adjoint du Département Aérodynamique fondamentale et expérimentale de l'ONERA à Meudon et ancien professeur associé des universités de Versailles Saint-Quentin et de Paris-Nanterre.

**Jean Délerly** fut directeur du Dpt Aérodynamique fondamentale et expérimentale de l'ONERA à Meudon et professeur associé des universités à Versailles Saint-Quentin et professeur chargé de cours à l'ISAE-SUPAERO et à l'Ecole polytechnique.

**Erwin Gowree** est professeur associé à ISAE-SUPAERO.

**Patrick Gillérion** est ancien chef de groupe de recherche chez Renault et professeur associé au Conservatoire national des Arts et Métiers.

**Patrick Gnemmi** est ancien responsable de la division Techniques de Vol pour les Projectiles à l'ISL.

**Pierre Perrier** est ancien responsable technique du programme Rafale et directeur technique chez Dassault Aviation. ■

## IN MEMORIAM

## HOMMAGE A JEAN DELERY : 60 ans au service de l'Aérodynamique

*Jean Détery nous a quittés brutalement le 6 décembre 2022 à l'âge de 83 ans. Jean Détery ne faisait pas partie de notre association. Toutefois son aura était telle au sein de notre association qu'Alumni-ONERA s'associe avec ferveur aux hommages de l'ONERA (décembre 2022) et de la 3AF (janvier 2023). En effet après 40 ans passés à l'ONERA, il présidait depuis 20 ans la commission technique Aérodynamique de la 3AF. Sa disparition est une grande perte pour le monde de l'aéronautique, auquel il a beaucoup apporté durant 60 ans d'activités. Certains d'entre nous ont beaucoup appris auprès de lui et ont tenu à exprimer leur peine présente et la satisfaction de l'avoir côtoyé.*



En 1962, Jean Détery sort major de la prestigieuse Ecole nationale supérieure de l'aéronautique (SupAéro). En 1964, il rejoint l'ONERA comme ingénieur de recherche au centre de Meudon. En 1982, il devient chef de la division Aérodynamique Fondamentale (OAF). En 1996, il est nommé directeur du département Aérodynamique Fondamentale et Expérimentale (DAFE), qui embrasse toutes les activités aérodynamiques du centre ONERA de Meudon avec un parc de souffleries qui va du bas subsonique jusqu'à l'hypersonique. Parallèlement à ses activités de recherche, il a également exercé une activité soutenue d'enseignant. Il fut professeur d'aérodynamique à Supaéro, professeur associé à l'université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, professeur à l'EPF et à l'université La Sapienza de Rome.



Un peu avant son départ en retraite de l'ONERA en 2004, Jean Détery avait pris la présidence de la Commission technique Aérodynamique de la 3AF. J'ai alors rejoint la 3AF pour continuer à travailler avec lui. Il m'avait embauché 20 ans plus tôt et je lui étais très reconnaissant de son aide importante, en tant qu'encadrant de ma thèse, car il avait toujours eu à cœur de transmettre son savoir. Plus tard en 2003, Jean me proposa de prendre sa suite en tant que professeur associé à l'université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines. Il me remit alors avec une grande générosité tous les cours qu'il avait préparés avec la rigueur et la minutie qu'on lui connaît. Jean avait en effet un goût inné de la transmission et a toujours eu à cœur de favoriser, au sein de son département, les vocations enseignantes. Ses nombreux ouvrages scientifiques sont également un témoignage de son inlassable activité pour former les plus jeunes à l'aérodynamique.

Jean Détery avait reçu le Prix Monthion de l'Académie des sciences pour l'ensemble de ses travaux sur les écoulements décollés turbulents. Il était Chevalier de l'Ordre National du Mérite, Chevalier des Palmes Académiques, directeur de recherche émérite de l'ONERA, membre émérite de la 3AF et Associate Fellow de l'American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) après avoir reçu le prestigieux Aerodynamics Award de l'AIAA en 2004.

À sa famille et à tous ses amis il manquera beaucoup.

Bruno Chanetz  
président d'Alumni-ONERA, ancien président du Haut conseil scientifique et du comité de rédaction de la Lettre 3AF



Voici divers témoignages reçus d'anciens docteurs formés à l'ONERA :

« J'ai eu la grande chance d'être aux côtés de Jean Détery pendant la plus grande partie de ma carrière à l'ONERA. En retraite, Jean est resté toujours très actif, et m'avait sollicité de participer à l'écriture d'un ouvrage sur l'aérodynamique de la propulsion, un livre auquel il tenait particulièrement. Avec excellence et ferveur, bienveillance et attention, Jean prodiguait ses conseils experts à l'ensemble du monde de l'aéronautique et de l'aérospatial. Pour plusieurs générations d'aérodynamiciens, il était un de nos meilleurs professeurs, doué d'une pédagogie exceptionnelle. » **Philippe Reijasse**, ONERA

« Je garde un excellent souvenir de Monsieur Jean Détery qui m'a accueilli, il y a très longtemps, plus de trente ans, dans son service de l'aérodynamique expérimentale. Il a su, par ses qualités humaines et pédagogiques m'initier et me faire découvrir l'aérodynamique. Il a eu l'extrême gentillesse de relire mon manuscrit avec une minutie et un souci du détail qui le caractérisait. Sa participation à mon jury de thèse m'a beaucoup honoré, compte tenu de son statut d'expert international. Il a été pour moi un encadrant de thèse très attentif et toujours disponible, sachant me suggérer des thèmes à approfondir. L'Aérodynamique perd un grand chercheur d'une profonde simplicité. » **Philippe Pascal**, Aix-Marseille Université.

« J'ai rencontré Jean Détery pour la première fois à la fin des années 1990 lorsque je débutais une thèse sur la simulation numérique des charges latérales dans les tuyères de lanceur spatial. J'ai ensuite eu l'occasion de le côtoyer au début de ma carrière d'ingénieur à l'ONERA jusqu'à encore très récemment où il m'avait demandé de faire la "key note lecture" d'ouverture du congrès A3F de Poitiers en 2021. Je garderai de lui le souvenir d'un homme passionné par son métier au sens pluriel du terme. » **Sébastien Deck**, ONERA

« J'ai été honoré de côtoyer ce grand scientifique et manager pendant mes jeunes années à l'ONERA. » **Ajmal Mohamed**, ONERA

« Je conserverai le souvenir agréable d'une personne affable et d'un éminent scientifique restant accessible à tous. » **Florent Renac**, ONERA

« J'ai rencontré Jean Détery alors qu'il coordonnait l'enseignement de mécanique des fluides à l'Ecole fondation-EPF puis, lors de journées du Patrimoine, au centre ONERA de Meudon où il assurait des visites à la fois scientifiques et historiques. Je garde le souvenir d'un homme très bienveillant, très soucieux de la qualité des relations humaines et du savoir transmis. » **Jacques Peter**, ONERA

« Jean Détery incarne concrètement pour moi l'excellence de la formation par la recherche que procure l'ONERA. J'ai eu le privilège de l'avoir comme directeur de thèse, en bref il m'a appris à devenir aérodynamicien. Mais je garde avant tout de lui, le souvenir de ses qualités humaines. » **Alexis Bourgoing**, Ariane Group

« Jean Détery était de ces scientifiques qui ont la passion de transmettre, avec rigueur et bienveillance. C'est une chance d'avoir pu le côtoyer lors de ma thèse car, au-delà des aspects académiques, il savait tirer le meilleur de chacun. Il m'a ouvert des portes et m'a accordé sa confiance, notamment en me laissant participer à de nombreux congrès, ce qui a été très formateur. Je garderai en mémoire sa capacité à croire en l'autre et à le valoriser. » **Alain Durand**, Sopra steria next

« Jean Détery a eu un énorme impact sur ma vie et a changé le cours de mon destin de façon considérable. Par son accueil chaleureux à l'ONERA et ses encouragements à poursuivre un PhD à Paris VI, il m'a ouvert la porte à des opportunités que je n'aurais jamais imaginé pouvoir avoir. Par son mentorat professionnel et son attention personnelle, il a fait de moi un meilleur ingénieur, en me transmettant sa passion pour sa science et en élargissant mes connaissances des méthodes expérimentales. Plus important encore, il a fait de moi un homme meilleur. » **Tony Mitchell**, ex-US Air force.

« J'ai côtoyé Jean au sein de la commission aérodynamique. Il menait ses réunions à la baguette, capable de solliciter et d'écouter les avis de chacun pour en faire la synthèse qui lui convenait au final. Il a toujours fait preuve de dynamisme et de volontarisme pour faire vivre et développer cette association. Merci à lui. » **Aurélien Arntz**, ADIT

« J'ai eu la chance de le croiser dans les couloirs de Meudon. Il aura gravé son nom dans le monde de l'aérodynamique. » **Benjamin Deveaux**, EUROCFD

« Je me souviendrai d'un pédagogue hors normes, heureux de pouvoir transmettre aux jeunes, et d'un vieux Monsieur qui me vouvoyait, dont j'appréciais l'humour » **Bruno Mangin-Birrer**, Dassault-Aviation

« Le départ de Jean est une perte immense pour l'aérodynamique. Je me souviendrai toujours de ses venues hebdomadaires à Meudon durant son éméritat et encore après, des discussions passionnantes qu'il suscitait toujours et de ses conseils o combien utiles. » **Vincent Brion**, ONERA

« J'ai eu l'honneur de côtoyer Jean Détery pendant mon doctorat, qui est ensuite devenu simplement Jean après les nombreuses années ensemble à la commission technique d'aérodynamique de la 3AF. Le monde scientifique a perdu un grand homme aujourd'hui. » **Fulvio Sartor**, ONERA

## DÉCORATIONS ET PRIX SCIENTIFIQUES

### ORDRE NATIONAL DU MÉRITE

Le 1er juillet 2023 : Florin Paun, membre du conseil d'administration d'Alumni-ONERA, a été décoré de l'ordre national du mérite dans les magnifiques salons de l'hôtel de Béhague à Paris, siège de l'ambassade de Roumanie en France.

D'autres photos de la cérémonie sont disponibles en suivant ce lien :

<https://florin-paun.com/2022/07/09/quelle-sorte-dhommes-serions-nous-si-nous-nessayions-pas-a-ameliorer-les-choses/>

un film de la cérémonie est aussi accessible :

<https://www.youtube.com/watch?v=aGuSohtAEJ4>

Et voici aussi le lien vers le discours de Florin Paun :

<https://www.youtube.com/watch?v=aGuSohtAEJ4>



*Florin Paun*



*Les invités à la cérémonie*

**PRIX D'EXCELLENCE « RECHERCHE ET INNOVATION »**

Le 26 septembre 2022 : Deux membres d'Alumni-ONERA, **Bruno Chanetz** et **Laurent Chaudron**, ont reçu le Prix d'Excellence « Recherche et innovation » dans la salle Monory du Sénat, ancienne chapelle de la chambre des, dans le cadre du forum d'affaire franco-roumain, organisé par Florin Paun et Ingrid Vaileanu. Au cours de cette cérémonie, Bruno Sainjon, président de l'ONERA a également reçu ce prix dans la promotion « Recherche et innovation », de même que son homologue Roumain, Catalin Nae, président d'INCAS (Institut National de Recherche Aérospatiale).

Le film de la cérémonie est disponible sur coworking channel :

<https://coworkingchannel.news/sommet-daffaires-franco-roumain-octobre-2022-palais-du-luxembourg-avec-florin-paun-ingrid-vaileanu-partie-2/>



*Les récipiendaires du prix d'excellence « Recherche et innovation » dans le salon Monory du Sénat le 26 septembre 2022  
(tout à g. Laurent Chaudron, en bleu au milieu Florin Paun et Bruno Chanetz, tout à d. Catalin Nae)*

## DISCOURS DE BRUNO CHANETZ

*Je suis très heureux de recevoir ce prix en ce lieu et j'en remercie chaleureusement les organisateurs du Sommet d'affaires franco-roumain, son fondateur, le docteur Florin Paun et Ingrid Vaileanu pour Interview Francophone.*

*Ce prix a une dénomination délicieusement ancienne, qui évoque les livres rouges et dorés des bibliothèques familiales, dont l'ex-libris porte la mention « prix d'excellence ». J'apprécie cette considération pour le passé dans une instance qui promeut l'innovation. C'est également un aspect développé par Alumni-ONERA, l'association des docteurs de l'ONERA, fondée en 2016 à la demande du Président Bruno Sainjon, afin de conserver le lien avec les docteurs qui quittent l'ONERA. Ils sont 1 500 depuis 2000 à avoir rejoint l'industrie ou le milieu académique. Ainsi notre association organise chaque année sous le patronage de l'UNESCO, un colloque historico-scientifique en partenariat avec l'Académie des Sciences. Le 3 juin dernier, ce fut un colloque à Loudun dans la Vienne, consacré à l'astronome du XVIIe siècle Ismaël Boulliau. Le sénateur de la Vienne Bruno Belin avait apporté son soutien à ce colloque. On vient de me remettre de sa part à l'instant une carte, où il exprime ses regrets de ne pas être présent aujourd'hui. Ce colloque fut ouvert par Joël Dazas, Maire actuel de Loudun, successeur de René Monory, à qui cette salle est dédiée. C'est donc une heureuse coïncidence que cette cérémonie dans ce salon, d'autant que ces dernières années, jusqu'à son décès, mon épouse et moi rencontrions régulièrement Madame Suzanne Monory, veuve de René Monory dans un salon littéraire et scientifique de Poitiers.*

*Chaque année également nous organisons un colloque technico-scientifique dans le cadre de Star's up, le festival de l'aérospatiale à Meudon. La semaine dernière ce fut un colloque de 2 jours dans le Hangar Y, grande halle à ballons du XIXe siècle, sur les nouvelles mobilités où nous nous projetions à 3 ans, à 10 ans et à 30 ans. Laurent Chaudron, faisait partie du conseil scientifique du colloque, auquel il est intervenu.*

*Ce colloque fut ouvert par Denis Larghero, maire de Meudon et par le sénateur Stéphane Demilly, membre de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable, qui regrette de ne pas être là, étant en déplacement en Côte d'Ivoire. Stéphane Demilly, sénateur de la Somme, fut longtemps maire d'Albert où Henry Potez - dont il est le biographe - avait ses usines. Stéphane parraine également nos dîners-conférences semestriels au restaurant du sénat.*

*Je voudrais terminer en disant un mot sur la composition de notre association, dont le côté francophone est indubitable, puisque nous comptons plusieurs étrangers, parmi nos membres. La langue d'usage est le Français puisque tous ont en commun d'avoir effectué leur doctorat en France à l'ONERA. Parmi les membres de notre conseil d'administration, un seul franco-roumain Florin Paun, qui anime avec brio nos tables rondes et colloques, à qui je suis très reconnaissant du prix que je reçois aujourd'hui.*

Voir également l'interview faite par Ingrid Vaileanu dans Interview francophones : <https://www.interviewfrancophone.net/bruno-chanetz>

## DISCOURS DE LAURENT CHAUDRON

*Cher.e.s ami.e.s,*

*Vous êtes donc chaleureusement invités à contribuer à ce programme extraordinairement stimulant et prometteur : Odobleja\_2.0!*

*Nous sommes fin des années 30 à Paris, dans la force de l'âge, un Docteur en médecine, Stefan Odobleja publie une œuvre en deux volumes : "Psychologie Consonantiste. Ce trésor scientifique que j'ai découvert grâce à Ingrid et Florin Paun, contient tous les éléments de la cybernétique (popularisée plus tard par d'autres auteurs qui ont ignoré cet héritage) et bien davantage : il s'agit d'une dynamique de la création collective de connaissance qui constitue ainsi des outils pour répondre aux défis permanents et universels de toutes les organisations humaines :*

- prises de décisions à tous les niveaux des entreprises ;
- conduite de mission : dans une station spatiale, opération multiforme complexe ;
- agrégation d'avis pour la conception du projet d'une collectivité ;
- gestion de crise ....

*Plus extraordinaire encore : une douzaine d'années plus tard, toujours à Paris, un autre Stéphane, Lupasco, apporte une contribution majeure autour de la dynamique de la logique contradictoire ; son œuvre a d'ailleurs fondé de très nombreux succès de projets aérospatiaux à l'époque où l'ONERA menait encore une brillante activité en sciences de la cognition, sous la gouverne de notre collègue, le Dr Jean Erceau. Et certainement à l'avenir aussi par les alumni grâce à notre collègue, Dr Bruno Chanetz que je remercie chaleureusement.*

*Une sorte de magie scientifique lie donc la Roumanie et la France !*

*La relecture sévère des deux œuvres, consonantistes et dissonantistes : Stefan le médecin et Stéphane le philosophe, leurs développements au moyen de nos outils mathématiques d'IA formelle de ce millénaire constituent, nous le réaffirmons, un extraordinaire enjeu motivant et prometteur, et toutes vos propositions et contributions y sont attendues.*

*Merci de votre consonante attention !!*

Voir également l'interview de Laurent Chaudron par Meriem Belazouz sur coworking channel : <https://coworkingchannel.news/colloque-les-nouvelles-mobilites-2022-interview-laurent-chaudron-de-safetyn-et-theorik-lab-par-meriem-belazouz/> ■

TÉLÉCHARGEZ CE N° SUR LE SITE ALUMNI-ONERA :

[https://w3.onera.fr/alumni/system/files/trajectoire\\_-\\_lundi\\_5\\_decembre.pdf](https://w3.onera.fr/alumni/system/files/trajectoire_-_lundi_5_decembre.pdf)

N°2 / Décembre 2022

# Trajectoire(s)



## Les nouvelles mobilités

Les actes du colloque de Meudon  
des 22 & 23 septembre 2022

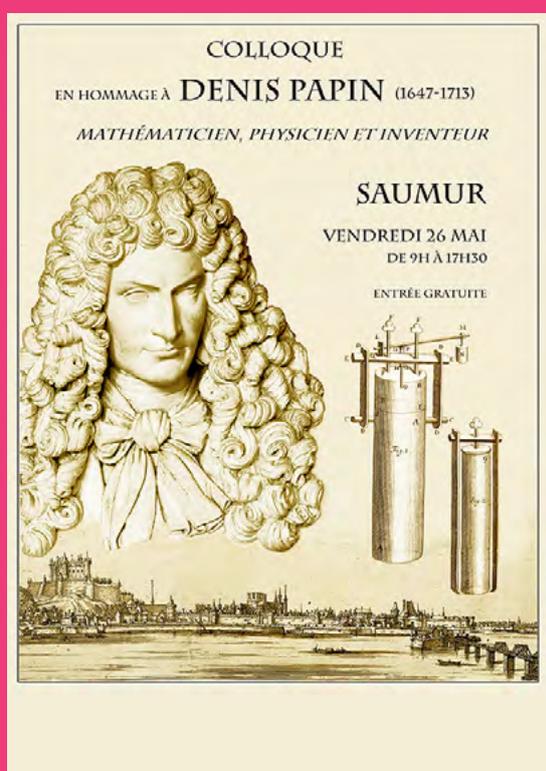


## CALENDRIER DES ÉVÈNEMENTS 2023

20 avril 2023 à Paris

Table ronde sur le newspace en partenariat avec le cabinet de stratégie international Oliver Wyman, 1 rue Euler, Paris VIIIe

Inscription auprès Julie Brunatto : [julie.brunatto@oliverwyman.com](mailto:julie.brunatto@oliverwyman.com)



INSTITUT DE FRANCE  
Académie des sciences



26 mai 2023 à Saumur

Colloque sous le patronage de la commission nationale française pour l'UNESCO, en partenariat avec l'Académie des Sciences et l'université d'Angers en hommage à Denis Papin

Inscription gratuite et obligatoire au 02 44 68 78 00 ou sur <https://mm-ouest.fr/evenement/colloque-denis-papin/>



12 juin 2023 à 18 h à Paris

## Dîner-Conférence au Palais du Luxembourg, au restaurant des sénateurs avec le soutien de Monsieur le sénateur Stéphane Demilly

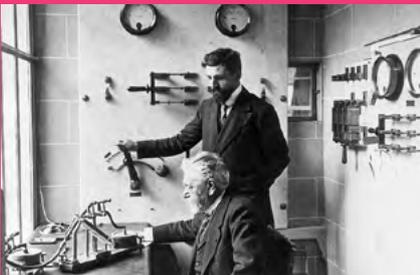
Avion bas carbone – avion à hydrogène et carburants alternatifs  
par Eric Dautriat, vice-président de l'Académie de l'Air et de l'Espace, ancien directeur des lanceurs du CNES et ancien directeur exécutif de *Cleansky*

Inscription auprès de Bruno Chanetz : [chanetz@onera.fr](mailto:chanetz@onera.fr)



21 et 22 septembre 2023 à Meudon

## Colloque *newspace* dans le cadre du festival *star's up* au Hangar Y à Meudon



7 et 8 décembre 2023 à Paris

## Colloque en hommage à Gustave Eiffel

organisé en partenariat avec l'École Nationale supérieure d'architecture de Paris-Malaquais (ENSAPM) à l'École des Beaux-Arts de Paris, 14 rue Bonaparte, Paris VIe



École nationale supérieure  
d'architecture Paris-Malaquais



100<sup>e</sup> anniversaire de  
la mort de Gustave Eiffel,  
commémoré en association  
avec l'UNESCO

# Trajectoire(s)

