



HAL
open science

Météorologie et sciences de l'observatoire à l'Observatoire royal de Paris (1671-1719)

Christophe Schmit, Éric Chassefière

► **To cite this version:**

Christophe Schmit, Éric Chassefière. Météorologie et sciences de l'observatoire à l'Observatoire royal de Paris (1671-1719). *Almagest*, 2023, 14 (1), pp.88-147. 10.1484/J.ALMAGEST.5.134612 . hal-04274058

HAL Id: hal-04274058

<https://hal.science/hal-04274058>

Submitted on 7 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Christophe Schmit et Eric Chassefière, « Météorologie et sciences de l'observatoire à l'Observatoire royal de Paris (1671-1719) », *Almagest, International Journal for the History of Scientific Ideas*, vol. 14, Issue 1, 2023, p. 88-147

MÉTÉOROLOGIE ET SCIENCES DE L'OBSERVATOIRE A L'OBSERVATOIRE ROYAL DE PARIS (1671-1719)

Christophe Schmit

SYRTE, Observatoire de Paris - Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, LNE,
61 avenue de l'Observatoire, F-75014 PARIS

Eric Chassefière

SYRTE, Observatoire de Paris - Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, LNE,
61 avenue de l'Observatoire, F-75014 PARIS

Résumé : Cette étude s'appuie sur des journaux d'observations originaux et examine les raisons et la manière dont les observations météorologiques se mettent en place au sein d'un observatoire à l'époque moderne en examinant le cas de l'Observatoire de Paris dans ses premières décennies de fonctionnement. Il montre l'existence de causes multiples à l'origine de tels relevés, étudie les pratiques, recense les instruments, pose la question de l'appartenance de la météorologie aux sciences de l'observatoire à cette époque. Ces causes sont spécifiques à l'histoire même de l'institution, relèvent de demandes du pouvoir, s'inscrivent dans des recherches scientifiques de l'époque, physique et astronomique. L'observatoire apparaît en météorologie comme un lieu édictant normes et pratiques, au centre de réseaux d'observations, un bâtiment-instrument au même titre qu'il l'est pour l'astronomie.

1. Introduction : météorologie et sciences de l'observatoire
 - Les journaux d'observations météorologiques*
 - La météorologie comme science de l'observatoire*
2. Expériences de physique et instrumentation à l'Observatoire
 - 2.1 Mesures barométriques
 - Mariotte, Cassini I et la loi barométrique*
 - Mesures barométriques et altimétrie*
 - 2.2 Température des caves et inter-étalonnage des thermomètres à alcool
 - Thermométrie dans les caves de l'Observatoire*
 - Les thermomètres d'Amontons à l'Observatoire : température référence et prototypes*
 - 2.3 Hydrologie et pluviométrie
3. Astronomie et météorologie : les réfractions atmosphériques
 - 3.1 Jean Picard : hauteur méridienne, diamètre solaire et réfraction
 - 3.2 Journaux d'observation, réfraction et matière réfractive
4. Les instruments météorologiques à l'Observatoire (1671-1719) : caractéristiques, localisations, fabricants
 - 4.1 Les thermomètres
 - 4.2 Les baromètres
5. L'Observatoire de Paris et la météorologie : réseaux savants et missions
 - 5.1 Publications académiques
 - Fontenelle, La Hire, et les « observations météorologiques » annuelles*
 - Maraldi et La Hire : réseaux, relevés barométriques et « règles »*
 - 5.2 Missions scientifiques : normes et sciences de l'Observatoire
 - Instructions*
 - Instrumentations*
 - Observations, mesures et réseaux*
6. Conclusion

1. Introduction : météorologie et sciences de l'observatoire

Les journaux d'observations météorologiques

Dans le « Discours préliminaire » de son *Traité de météorologie* de 1774, Louis Cotte écrit que « c'est à l'époque de l'établissement de l'Académie des Sciences que l'on doit rapporter des Observations météorologiques en France », que l'abbé Jean Picard est « le premier qui s'en occupa vers l'année 1666 » (Cotte 1774, xviii)¹, et que la période de ses observations « concourt » avec celle de Louis Morin qui, d'après Bernard le Bovier de Fontenelle dans le volume de l'*Histoire de l'académie royale des sciences* pour l'année 1701, consigne un « Journal » de « toute l'histoire de l'air depuis *trente-trois ans* » (*ibid.*)². Cotte rapporte que « ce ne fut qu'en 1688 que l'Académie résolut de mettre ces sortes d'Observations en règle », et évoque un ensemble d'« Observations continuées régulièrement à l'Observatoire royal » :

« M. Sédileau s'acquitta de cette commission depuis 1688 jusqu'en 1696 ; M.^{rs} de la Hire père & fils, continuèrent ces Observations depuis 1696 jusqu'en 1719, & ensuite successivement M.^{rs} Maraldi l'oncle & le neveu, Cassini, Fouchy, & l'abbé Chappe d'Auteroche. Les Observations de M. l'abbé Chappe n'ont pas été publiées dans les Mémoires de l'Académie » (Cotte 1774, xix)³.

Cette évocation, sous la forme d'un précis sur l'« Histoire des Observations Météorologiques », des premiers travaux menés à l'Observatoire royal de Paris à la fin du 17^e siècle et de leurs liens avec l'Académie royale des sciences, s'accompagne d'un inventaire de sources manuscrites utilisées par l'auteur dans la composition de son ouvrage⁴. Plus d'un siècle plus tard, en 1895, un compte rendu académique évoque les mesures thermométriques d'Ismaël Boulliau réalisées à Paris entre 1658 et 1660, et précise qu'on ne connaissait alors pas de mesures antérieures à celles de Philippe de La Hire (Maze 1895, 731-732)⁵. En 1897, A. Angot publie un impressionnant catalogue de manuscrits d'observations météorologiques effectuées en France jusqu'en 1830 où, dans une section concernant l'Observatoire de Paris, sont évoqués des relevés publiés dans les volumes de l'PHARS⁶ et dans ceux de la *Connaissance des temps*⁷, l'auteur déplorant qu'ils soient « seulement » mensuel ou annuel et « plus ou moins détaillés ». Angot ajoute, toutefois, qu'

« il paraît [...] possible de reconstituer les observations détaillées pour une assez longue partie de cette période [1664-1785], car on trouve beaucoup d'observations météorologiques mélangées aux observations astronomiques dans les registres manuscrits de l'Observatoire (*Journal des observations faites à l'Observatoire de Paris*, de 1680 à 1798 : 61 registres compris dans l'inventaire des manuscrits sous les n^{os} D.1, 7-8, D. 3, 1-30 et D4, 1-29) » (Angot 1895, B131).

Ces cotes correspondent à celles actuelles des *Journaux des observations faites à l'Observatoire royal de Paris* conservées à la Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, liste à laquelle on peut ajouter D1/1-

¹ Cotte mentionne aussi « quelques Curieux » qui ont observé les précipitations, l'évaporation et l'infiltration de l'eau dans les terres, ceci en lien avec la question de l'origine des fontaines et des rivières, avant même la création de l'Académie. Il évoque alors des « ouvrages fort antérieurs » à cette année 1666 et le *Traité du mouvement des eaux et autres corps fluides* d'Edme Mariotte dans une version insérée dans les *Œuvres de Mr. Mariotte* (Mariotte 1740), qui paraît originellement en 1686 (Mariotte 1686) ; ses sources peuvent provenir de Mariotte qui cite en particulier Perrault, 1674.

² Sur les observations et journaux de Morin, voir Legrand et Le Goff 1992. Voir Fontenelle 1704, 18.

³ Outre ces observations, Cotte évoque aussi des publications au sein de l'Académie des sciences de René-Antoine Ferchault de Réaumur, les observations des aurores boréales de Jean-Jacques Dortous de Mairan, puis les contributions de correspondants, tels que Pierre van Musschenbroek et Jean François Gauthier. Voir Rousseau 2019, 21-28 ; Chassefière 2021 ; Slonosky 2003.

⁴ Cotte mentionne les manuscrits de Morin, Réaumur, Joseph-Nicolas Delisle, et des observations de correspondants de différents pays obtenues par l'intermédiaire de Jérôme de Lalande. Voir Cotte 1774, xix-xxij et 372-373 pour les relevés barométriques à Paris à partir des manuscrits de Morin, Delisle et Charles Messier.

⁵ Sur ces mesures, voir Rousseau 2013.

⁶ Nous abrégons par la suite les parties « Histoire » et « Mémoires » des publications annuelles de l'Académie royale des sciences de Paris par HARS et MARS suivie de l'année du volume.

⁷ Pour l'histoire de ces éphémérides, voir Boistel 2022.

6 et D1/14-16⁸. Bien que mentionnées dès 1895, des études actuelles, tout comme Cotte en son temps, qui s'appuient sur des observations météorologiques parisiennes, n'évoquent pas ces manuscrits⁹ ; ils comprennent depuis 1671, et en particulier depuis l'installation de Jean-Dominique Cassini (par la suite Cassini I) à l'Observatoire le 14 septembre, des relevés thermométriques et barométriques, des descriptions de l'état du ciel, de la direction des vents, les températures et pressions pouvant faire l'objet de plusieurs mesures journalières sur de longues périodes, avec des indications des heures d'observations. Ces journaux sont la plupart du temps rédigés par Cassini I, mais on y trouve aussi d'autres graphies ; ces documents « semblent appartenir au lieu, ainsi qu'au savant » (Deias 2020, 200)¹⁰.

Nous disposons d'une couverture seulement partielle, environ 3 ans, de la décennie 1670, les journaux D1/1-6 démarrant le 14 septembre 1671 pour se terminer le 15 juin 1674, le journal D1/7 n'enchaînant qu'à partir du 1^{er} janvier 1680. Les périodes de relevés météorologiques au sein des journaux D1/1-6 sont elles-mêmes limitées : septembre 1671-février 1672, quelques mesures en juin-juillet 1672, puis janvier-mars 1673, enfin quelques mesures en mai-juillet 1673. On trouve dans le journal D1/7 quelques mesures en janvier-mars 1680, mais cela n'est qu'à partir de janvier 1682, dans le journal D1/8, que les relevés se font quasi quotidiens. Le graphique ci-dessous (fig. 1) fournit l'évolution générale sur quatre décennies du nombre annuel de relevés, avec un pas d'environ cinq ans, fournissant notamment le nombre annuel de relevés, le nombre annuel de jours comportant au moins un relevé, ou encore le nombre annuel de jours pour lesquels ne figure qu'un seul relevé réalisé à midi. On compte dans les deux dernières décennies du 17^e siècle entre 500 et 800 relevés par an, couvrant la quasi-totalité des jours de l'année, les relevés, jusqu'à trois par jour (voire plus dans de rares cas), étant le plus souvent effectués à des heures autres que midi. La situation change radicalement au 18^e siècle, les mesures se concentrant à l'heure de midi, et couvrant un peu plus de 300 jours par an.

⁸ Ces manuscrits composent un ensemble complet de mesures couvrant les périodes 1671-1674 (D1/1-6), 1680-1683 (D1/7-8), 1683-1798 (D3/1-30 et D4/1-29). D1/14-16 correspondent aux journaux de l'abbé Picard. L'étude qui suit s'appuiera sur les séries D1 et D3. La série D2 correspond aux journaux de Philippe de La Hire, mais ils ne contiennent pas d'observations météorologiques, les manuscrits de celles-ci sont introuvables à ce jour. Tous ces journaux, exceptés ceux de Picard, sont consultables sur la bibliothèque numérique de l'Observatoire de Paris : <https://bibnum.obspm.fr>.

⁹ Legrand et Le Goff 1992, 260 n'évoquent que les observations de La Hire publiées annuellement dans *l'Histoire de l'Académie royale des sciences* pour les années 1699 à 1712. Il est noté que La Hire effectue ses mesures à l'Observatoire royal de Paris dès 1669, mais il ne s'y installe qu'à partir de 1682, voir Picolet 2019. Rousseau 2013 ne mentionne pas ces journaux. Pfister and Bareiss 1994 et Slonosky et al. 2001 s'appuient avant tout sur les relevés de Morin.

¹⁰ Voir par exemple l'identification de la main d'Ennemond Cusset par Picolet 2020.

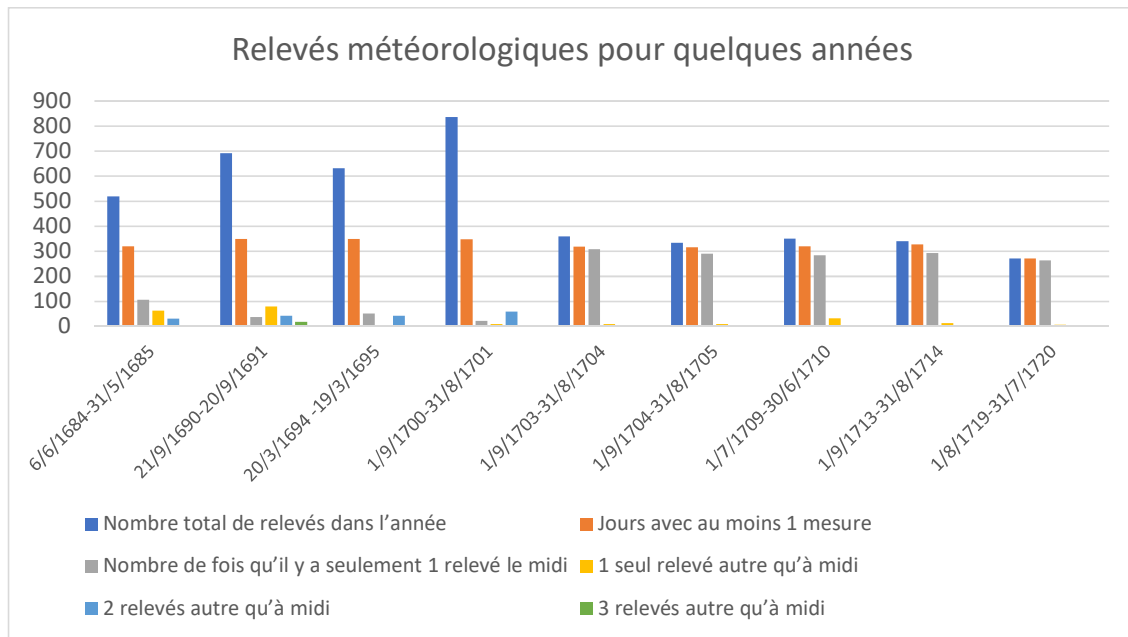


Fig. 1 : Évolution générale sur quatre décennies du nombre annuel de relevés avec un pas d'environ cinq ans.

À partir des MARS 1700, La Hire publie annuellement des comptes rendus d'observations du même type en y joignant des quantités de précipitation annuelle. Sa publication dans les MARS 1713 porte pour la première fois dans son titre la mention d'« observations météorologiques » : celles-ci sont faites « comme les années précédentes, & dans le même lieu, & avec les mêmes instrumens » ; le nouvel intitulé vaut donc aussi pour les relevés antérieurs (La Hire 1716)¹¹. Fontenelle introduit parfois ces observations par la mention « le Journal des Observations de M. de la Hire » (Fontenelle 1718, 17). Les relevés barométriques de La Hire sont quotidiens¹², il écrit par ailleurs au sujet du thermomètre que « toutes les observations que j'en fais chaque jour sont un peu avant le lever du Soleil » (La Hire 1703a, 7) ; des « observations chaque jour à une certaine heure & sans aucun relâche » (La Hire 1717, 2). Ce « Journal », pour l'heure introuvable, consigne ainsi quotidiennement des observations à heures fixes effectuées à l'Observatoire de Paris de 1689 à 1719, et ce en parallèle aux *Journaux des observations* évoqués ci-dessus. L'ensemble des données produites à l'Observatoire est donc quantitativement important, et il atteste du rôle de l'institution dès sa fondation dans ce domaine ; nous conserverons, dans cette étude, la terminologie « météorologique » pour les qualifier.

La météorologie comme science de l'observatoire

Outre l'existence même de ces données, leurs recoupements avec d'autres sources, telles que, par exemple, les *Registres des procès-verbaux de l'Académie royale des sciences*¹³ et les volumes de l'HARS, apportent des enseignements sur les pratiques météorologiques à l'Observatoire de Paris, souvent ignorées par l'historiographie¹⁴. Plus globalement, elles documentent ce que sont les « sciences de

¹¹ Excepté les MARS 1714, ceux pour les années 1715 à 1719 s'intitulent aussi « Observations météorologiques ».

¹² Ce que suggère les comparaisons que fait La Hire de mesures journalières réalisées à Paris et Zurich. Voir ci-dessous, « 5.1 Publications académiques ».

¹³ Par la suite abrégés par RMAS suivi de l'année et/ou de la tomaisson et de la date de la séance académique.

¹⁴ Parmi des travaux qui relatent les débuts des observations et mesures instrumentales au 17e s. et leur essor, Frisinger 1983, 104 évoque les relevés dès 1688 de membres de l'Observatoire et seulement les publications de La Hire ; Feldman 1990 ne mentionne pas l'Observatoire, pas plus que Kingdon 1988, 3-17 ; la recension des « early short instrumental

l'observatoire »¹⁵ au moment de la naissance de tels bâtiments dans la seconde moitié du 17^e siècle à Paris et à Greenwich et la part que la météorologie y occupe, en associant observations, mesures, instruments à un espace bien identifié, en évoquant la fonction de ces observations, les services rendus à l'état, en permettant de mieux saisir l'importance de l'observatoire dans le développement de ce domaine¹⁶. L'objet de la présente étude est alors d'examiner les raisons et la manière dont se mettent en place des pratiques météorologiques dès les premières décennies de l'Observatoire, et la part prise par la météorologie dans l'activité d'un observatoire à l'époque moderne. L'article s'appuie en particulier sur les journaux d'observations astronomiques des premières décennies de fonctionnement de l'institution afin de mieux saisir les motivations et l'installation de pratiques qui deviendront par la suite pérennes¹⁷. Nous remarquerons que la présence d'observations météorologiques au sein de l'Observatoire est le fruit d'une pluralité de raisons de différentes natures, où se mêlent science (instrumentations, physique, astronomie), spécificités de l'architecture du bâtiment et du site qu'il occupe, dimensions politiques et économiques. Ces éléments contribuent à faire de l'Observatoire un bâtiment-instrument dans le champ météorologique au même titre qu'il l'est en astronomie¹⁸, c'est-à-dire à la fois un instrument pour des mesures et une entité de référence à laquelle rapporter des mesures. Il est un lieu où s'établissent des normes, et il s'insère dans des réseaux qu'il ordonne.

Nous constaterons, tout d'abord, que l'Observatoire est dès sa fondation le théâtre d'un certain nombre de recherches et d'expérimentations de physique, recherches menées dans un cadre académique et qui s'appuient sur les particularités du lieu telles que ses carrières sur lesquelles le bâtiment est construit, ses caves, les astronomes-physiciens profitant aussi de la présence sur le site de la tour de Marly et de la structure du bâtiment (l'ouverture de la tour orientale de l'Observatoire) à des fins observationnelles et expérimentales. Ces travaux effectués dès 1670 alors même que la bâtiment n'est pas encore terminé par des membres fondateurs de l'Académie nouvellement née, ne sont probablement pas étranger à la vocation originelle de l'Observatoire qui devait accueillir l'Académie royale des sciences, des laboratoires, et être un lieu de conservation des machines et

series » dans les « meteorological stations » européennes aux 17^e et 18^e s. donnée par Alcoforado et al 2012 relate les seules mesures de Louis Morin.

¹⁵ Sur ce concept, voir Aubin, Bigg and Sibum 2010, 1-32.

¹⁶ Dans sa thèse, D. Deias souligne la naissance des « sciences et des techniques » de l'Observatoire dès le Grand Siècle, montrant qu'il s'y développe « un ensemble de savoirs » soudés autour de la notion de précision, se manifestant par des pratiques et des recherches sur les instruments, leur calibration, les méthodes systématiques d'utilisation, l'étude des réfractions, le dessin des cartes... Ainsi « la météorologie, des expériences sur les changements d'états ou sur les matériaux touchant aussi aux pratiques de chimie, la pratique d'observations astronomiques, l'amélioration de la connaissance de la géographie terrestre et notamment des études sur la géodésie se doivent d'être pratiquées dans le même espace savant en recherchant une *esattezza* [précision] de plus en plus grande ». Voir Deias 2020, 197. Nous souscrivons à ces remarques, bien que concernant la météorologie, l'auteure évoque avant tout des mémoires et observations sur les changements physiques d'état et ne propose, ni une analyse des instruments physiques utilisés pour les relevés météorologiques, ni l'examen de ceux-ci tels qu'on les trouve dans les journaux d'observations.

¹⁷ Les bornes temporelles de l'étude coïncident avec les premières observations de Picard à l'Observatoire, l'installation de Jean-Dominique Cassini le 14 septembre 1671, et se termine en 1719, année du décès de La Hire. Sur la présence de ces astronomes à l'Observatoire comme lieu de vie, voir notamment Voir Deias 2020, 147-148.

¹⁸ « A son arrivée [à Paris en avril 1669], Cassini cherche immédiatement à infléchir le chantier [de l'Observatoire] pour que l'Observatoire devienne ce grand instrument astronomique polyvalent qu'il appelle de ses vœux. Avant même l'arrivée de Cassini, pourtant, Claude Perrault [l'architecte] a aussi formulé l'idée selon laquelle l'Observatoire doit être conçu de telle sorte qu'il puisse, seul, remplacer certains instruments astronomiques essentiels », Deias 2020, 90. Pour Deias, « ce n'est pas au bâtiment de s'adapter aux instruments, mais c'est plutôt le bâtiment qui doit être adapté aux objectifs astronomiques » (p. 95). Selon Cassini I, « (1) c'est l'édifice entier, non l'une de ses parties, qui doit être adapté à la pratique astronomique et les instruments (méridienne, cadrans, scaphé, cercles muraux, et plus tard le parterre géographique) sont intégrés à la structure et la déterminent ; et par conséquent (2) les savoirs ou la famille de savoirs auxquels on peut se consacrer doit nécessairement refléter les choix fonctionnels faits dans la conception et la construction de l'édifice » (p. 145) ; voir aussi p. 146, p. 188-189 sur l'Observatoire comme « grande machine à verres » avec l'usage des optiques de grande distance focale sans tuyau.

instruments¹⁹. Astronomes, physiciens et académiciens œuvrent alors à la détermination de la loi barométrique, à des mesures de températures de caves liées notamment à des réflexions sur la nature du « chaud » et le « froid », à des inter-étalonnages entre thermomètres, à de l'hydrologie et à la question de l'origine des rivières. Ces travaux mobilisent une instrumentation (thermomètres et baromètres) sur laquelle reposent les observations météorologiques. Les relevés pluviométriques de La Hire entrepris à la fin des années 1680 vont se muer en comptes rendus quotidiens associant pluie-vent-pression-température à la base de modèles théoriques atmosphériques ; Jacques Philippe Maraldi énoncera aussi des modèles.

Le recoupement des journaux avec d'autres sources témoigne aussi des liens entre concepteurs, fabricants d'instruments, observations et tests sur ceux-ci. Il révèle le type, le nombre d'instruments et leur localisation dans les premières décennies de fonctionnement de l'Observatoire, et l'évolution de l'équipement global d'une telle institution au cours du temps. Les caves apparaissent comme un élément essentiel des observations physico-météorologiques car elles fournissent une référence, un étalon de température. Par ailleurs, la pression atmosphérique étant mesurée quotidiennement à l'Observatoire, et connaissant sa hauteur au-dessus de la mer, ce lieu sert de référence dans la détermination de hauteurs relatives de montagnes et à l'établissement d'une relation régissant l'évolution de la pression avec l'altitude. De tels éléments méritent rapprochement avec le statut de la méridienne de l'Observatoire, et plus globalement de l'Observatoire lui-même comme point central où ramener et raccorder les mesures astronomiques et géographiques. De la même manière, on rappellera le projet de Picard d'instaurer la longueur du pendule simple battant la seconde comme étalon de longueur universel (Costabel 1987). Des travaux sont aussi liés à des demandes directes du pouvoir royal : le cas des mesures de quantité de précipitations illustre la manière dont se mettent en place un dispositif intégré au bâtiment et des relevés qui vont par la suite dépasser le cadre d'une requête spécifique des autorités et s'instaurer comme partie intégrante des observations menées à l'Observatoire. Dans le champ de l'instrumentation météorologique, le bâtiment se présente alors comme un lieu-instrument-étalon.

Enfin, dès 1669, Picard énonce un programme de recherches proprement astronomique qui souligne l'enjeu essentiel de relevés météorologiques dans la quête des astronomes pour leurs corrections des effets de la réfraction atmosphérique.

Les différents types de relevés – température, pression, pluviométrie – seront introduits dans le but de déterminer des régularités, et s'articulent à des modèles théoriques atmosphériques, régularités dont l'intérêt pour l'agriculture est souvent évoqué dans les publications académiques. L'Observatoire est alors un espace qui s'inscrit dans des réseaux de correspondants et centralise des mesures. Ces observations météorologiques s'inscrivent dans un temps long et à une échelle globale, qu'elles soient effectuées lors de travaux cartographiques concernant le royaume ou lors d'expéditions lointaines. Dans tous les cas l'Observatoire demeure le point focal des mesures qu'il rassemble car il est lieu d'une veille scientifique de mesure enregistrées quotidiennement. Il est aussi le lieu où s'élaborent des méthodes standardisées, le calibrage d'instruments, la formation et l'instruction pour les futurs voyageurs : ce sont, pour reprendre un terme utilisé, des « manières » qui se trouvent exportées hors des murs.

¹⁹ Voir notamment ce point Cassini 1810, 184 ; Taton 1976 ; Picolet 2000 ; Deias 2020, en particulier p. 46 : « dans le projet d'origine l'Observatoire doit héberger toutes les activités de l'Académie et, bien qu'une partie de ce dessein ne soit pas réalisable [...] certaines pratiques relevant de la physique ou des sciences naturelles trouvent leur place à l'Observatoire », voir aussi p. 47, p. 72 sur les caves (« les caves de l'Observatoire [qui] sont censées, à l'origine, [...] héberger des expériences de physique et de chimie », p. 80-84. Notamment à partir de l'examen des plans de construction de l'Observatoire entrepris en 1667, l'auteur suggère un abandon progressif de laboratoires probablement à partir d'avril 1669 date d'arrivée de Cassini I à Paris, et une « séparation » entre « les savoirs de l'Académie » et « l'observation des astres », l'observatoire regroupant alors « la place d'une famille des savoirs de pratiques et de branches de recherche liant ensemble observation céleste, géodésie, cartographie, météorologie, sciences physiques (si l'on se réfère à la signification d'aujourd'hui pour ces termes) qui gravite autour de l'observation astronomique » (79-80 ; 144-146). Pour la conservation des machines et instruments, *ibid.*, 176-178. Pour des expériences de physique et sciences naturelles, voir 191-196.

2. Expériences de physique et instrumentation à l'Observatoire

2.1 Mesures barométriques

Mariotte, Cassini et la loi barométrique

Dans son essai *De la nature de l'air*, Mariotte relate les expériences de barométrie menées de concert avec Picard et Cassini I à l'Observatoire de Paris pour déterminer la variation de la hauteur du mercure avec l'altitude (Mariotte 1679a, 181-183), à la suite des expériences réalisées par Pascal et Périer sur le Puy de Dôme (Périer 1663, 165-194). En utilisant une « cave », que Mariotte nomme aussi « un caveau de l'Observatoire Royal » dont la profondeur est de 84 pieds (Mariotte 1679b, 38, 43)²⁰, et les étages supérieurs de l'Observatoire, en particulier la « platte-forme » (la terrasse du bâtiment), l'ensemble permettant d'estimer la variation du niveau du mercure sur un différentiel maximal d'altitude de 168 pieds (environ 54 m), Mariotte déduit la loi barométrique, à savoir que la pression atmosphérique augmente d'une ligne (1/336 bar) tous les 63 pieds (19 m), valeur qu'il arrondit à 60 pieds pour son calcul de la distribution verticale du degré de « raréfaction » de l'air (inversement proportionnel à sa densité) (Mariotte 1679a, 181-183).

Cassini I écrit aussi avoir « observé plusieurs fois avec M^{rs} Picard & Mariotte, qu'en 168 pieds de différence depuis les caves jusqu'à la plate-forme de l'Observatoire, le vif-argent dans le Barometre descendoit de 2 lignes & $\frac{2}{3}$ » (Cassini 1693a, 20). Les *Journaux des observations* montrent, en effet, que dix jours seulement après son installation à l'Observatoire qui remonte au 14 septembre 1671, Cassini descend dans les caves où, comme il le mentionne, se trouve un baromètre « permanent », et y relève la hauteur du mercure²¹, effectuant d'autres relevés le 1^{er} octobre, puis le 2 janvier 1672. À certaines occasions, Cassini descend son propre baromètre aux caves et y compare la pression mesurée à celle relevée à la fenêtre de son appartement du 1^{er} étage de la tour orientale (Wolf 1902, 377-378), comme par exemple le 23 janvier 1673 (Journal D1/4) où il enregistre un différentiel de 2,2 lignes, comparable à la valeur mentionnée ci-dessus. Le 19 mai 1682, étant descendu dans les caves avec son baromètre il écrit que « le Barometre qui estoit dans la tour du couchant de mon appartement a 27.11 [27 pouces 11 lignes] monta a 28.1 [28 pouces 1 ligne]. Mais au retour il se remit a 28.0 » (Journal D1/8). Le 23 juin 1684, il transporte son baromètre et des thermomètres de son appartement à la terrasse de l'Observatoire, puis dans les caves, avant de les remonter chez lui, le tout dans un laps de temps de 45 minutes, enregistrant une variation entre les deux points extrêmes de 1,8 ligne. La même expérience est réalisée plusieurs fois dans les deux décennies suivantes, notamment le 13 juillet 1685, le 1^{er} janvier 1686, le 11 février 1696, ou encore les 10, 13 et 28 juillet 1702 (resp. Journaux D3/2, D3/3, D3/4, D3/15, D3/20). La séquence du 11 février 1696 inclut un passage par le sommet de la « tour de bois », un édifice de « 130 pieds » de hauteur²², transporté en 1685 depuis Marly et positionné sur la terrasse méridionale de l'Observatoire pour y permettre l'installation d'une lunette sans tuyau (Wolf 1902, 125, 167-168 ; Deias 2020, 74, 174). Le dénivelé total de l'ordre de 65 m laisse présager une variation de 3 lignes de la hauteur du mercure entre les caves et le sommet de la tour : c'est ce que Cassini écrit ce jour-là dans son journal (Fig. 2)

²⁰ L'Observatoire est construit sur des carrières utilisées pour bâtir plusieurs caves. Voir Wolf 1902, 53-60. Deias 2020, 71-72.

²¹ Cassini I, *Journal des Observations faites à l'Observatoire de Paris*, D1/1, Bibliothèque numérique de l'Observatoire de Paris. Dans la suite, on se contentera d'indiquer la référence alphanumérique (ici D3/1), précédée de la mention *Journal*.

²² Pour cette dimension, voir Cassini I, « Description du Bâtiment de l'observatoire par Cassini I », D1/13(12) ; Cassini 1717, 363 note 20 toises de hauteur, soit environ 40 m.

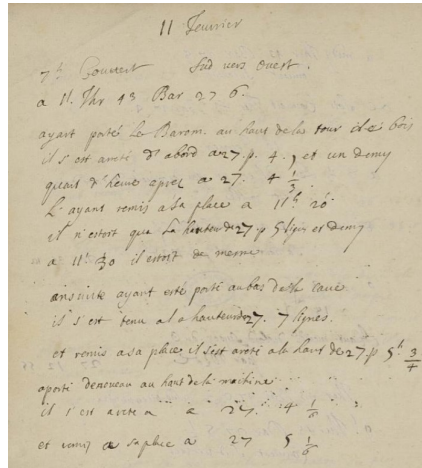


Fig. 2: Jean-Dominique Cassini, Journal, D3/15, 11 février 1696

Mesures barométriques et altimétrie

Les observations astronomiques réalisées en 1672 par Cassini I dans le sud de la France et les opérations de triangulations menées le long de la Méridienne de Paris s'accompagnent de relevés barométriques auxquels sont attribuées différentes fonctions : la détermination des variations de la hauteur de l'air qui répond à une ligne de mercure à différents niveaux de pression, celle de la hauteur de l'air correspondant à ces niveaux, des estimations relatives de la hauteur de montagnes. Dans tous les cas, les relevés de pression à l'Observatoire de Paris et la connaissance de la hauteur de ce lieu par rapport au niveau de la mer jouent un rôle essentiel.

La détermination de la hauteur d'une montagne vers Toulon en 1672 par rapport au niveau de la mer est accompagnée de mesures de la réfraction atmosphérique. Des relevés de pression à de différentes stations de hauteurs connues montrent que la hauteur de l'air correspondant à 1 ligne de variation du mercure est 65,5 pieds. Cassini I souligne alors avoir « observé plusieurs fois avec M^{rs} Picard & Mariotte, qu'en 168 pieds de différence depuis la cave jusqu'à la plate-forme de l'Observatoire, le vif argent du Barometre descendoit de 2 lignes & $\frac{2}{3}$ », ce qui devrait être 2 lignes en choisissant une hauteur de 65,5 pieds pour 1 ligne, « ce qui n'est pas sensiblement différent ». À partir de la hauteur de mercure de 28 pouces au pied de la montagne, Cassini I déduit une hauteur de l'atmosphère, si on la supposait homogène, de 3668 toises, la valeur vraie, tenant compte du fait que l'air se raréfie avec l'altitude, étant nécessairement plus grande, précise-t-il. Cette valeur est supérieure à celle requise pour rendre compte des réfractions atmosphériques en supposant l'atmosphère constituée d'une couche homogène d'égale densité sur toute sa hauteur, c'est-à-dire 2000 toises, d'où l'hypothèse avancée par Cassini d'une matière réfractive distincte de l'air et qui n'en occuperait que la partie inférieure (Cassini 1693a, 20)²³.

En 1701, dans son compte rendu des triangulations sur la méridienne vers le sud, Cassini I rapporte à propos de la mesure de la hauteur des montagnes, nécessaire afin de réduire les triangles au niveau de la mer, que

« dans [les] plus hautes montagnes, où l'on a été obligé de monter, on a observé la hauteur du vif argent dans le Barometre pour le comparer à la hauteur qui en étoit observée en même temps à Paris, & en déterminer les hauteurs par la comparaison avec les observations faites ailleurs sur des montagnes dont on avoit mesuré la hauteur sur la surface de la mer par le nivellement. On a aussi observé les mêmes hauteurs par le moyen des distances d'une montagne à l'autre & de leurs hauteurs apparentes prises par les Instrumens, continuant ces observations jusqu'à la mer » (Cassini 1704, 178).

²³ Pour cette matière, nous renvoyons à la section qui suit.

La dernière méthode ici décrite consiste à observer les hauteurs des montagnes ou des points élevés dont les distances sont connues par triangulations, et ceci de proche en proche jusqu'à la mer où est effectuée une mesure de hauteur apparente des montagnes qui la bordent (Cassini 1718, 9 ; Maraldi 1705, 229-230). Les relevés barométriques permettent des mesures relatives de hauteurs de lieux : il s'agit de comparer le niveau du mercure à celui obtenu le même jour dans la tour orientale de l'Observatoire de Paris, dont la hauteur par rapport au niveau de la mer est connue ou mesurée. Ils permettent aussi, en multipliant ce type de relevés, d'établir une règle d'évolution de la hauteur du mercure en fonction de l'altitude du lieu par rapport au niveau de la mer et, en utilisant cette règle, une fois suffisamment documentée et solidement établie, d'être capable de remonter de la mesure du baromètre à une hauteur au-dessus du niveau de la mer. Par ailleurs, Fontenelle ne manque pas de souligner que

« comme le Barometre varie, selon les differens changemens de l'air, & principalement par rapport au temps serain, & au vent ou à la pluye, il est visible que les observations par lesquelles on veut trouver la quantité dont il descend pour une certaine hauteur, doivent être faites dans le même tems, afin que les changemens de l'air n'entrent pour rien dans son élévation ou dans sa descente » (Fontenelle 1705, 11).

Il s'agit alors de se référer aux journaux d'observations tenus à l'Observatoire qui consignent des relevés quasi-quotidiens de pression. Ainsi, Maraldi détermine dans un premier temps la hauteur de « la grande salle de l'Observatoire » par la comparaison « en même tems » du niveau de mercure en cet endroit et à Collioure en un lieu dont la hauteur par rapport à la mer est connue (Maraldi 1705, 230-231)²⁴. La valeur obtenue de 45 toises, qui correspond à une hauteur de mercure moindre par rapport à ce qu'elle est au niveau de la mer de 4 lignes $1/6$, est ensuite utilisée pour évaluer la relation entre la hauteur du mercure sur des montagnes éloignées de la mer et leurs hauteurs au-dessus du niveau de la mer déterminées géométriquement au cours des triangulations. En effet, les relevés barométriques faits sur ces montagnes et simultanément à l'Observatoire, dont la pression est réduite à celle du niveau de la mer²⁵, permettent d'attribuer à chacune d'elle une hauteur de mercure, la répétition du procédé conduisant à une loi d'évolution altitude-pression. Ainsi, c'est la pression mesurée simultanément à l'Observatoire, dont la hauteur au-dessus du niveau de la mer est connue, qui sert de référence pour les montagnes éloignées de la mer. Maraldi en déduit alors cette « règle » suivant laquelle au bord de la mer une ligne soutient une colonne d'air de 61 pieds, et qu'il faut ajouter un pied par ligne supplémentaire ; il s'ensuit une estimation de la hauteur de l'atmosphère (Maraldi 1705, 233-234)²⁶. Jacques Cassini (par la suite Cassini II) utilise ces mêmes méthodes pour établir les hauteurs de montagnes relativement à l'Observatoire par le moyen de relevés barométriques, le savant évoquant indistinctement « la Salle de l'Observatoire » et la « Tour de la Salle Orientale de l'Observatoire » et donnant pour toutes deux une mesure de 44 toises attribuée à Picard (Cassini 1718, par ex. 113, 117-118, 121-122, 123-124). Il publie, dans le prolongement des travaux de son père et de Maraldi, une table fournissant, entre le niveau de la mer et une altitude de 1044 toises (soit 2034 m), la hauteur de l'air répondant à chaque ligne de mercure, et la hauteur de l'air intégrée depuis le niveau de la mer, suivant deux échelles : celle

²⁴ Sur une période allant du 19 février au 12 mars 1701, la comparaison de relevés de pressions entre une hauteur connue au-dessus de la mer (11,5 toises) à Collioure avec l'Observatoire donne une hauteur de mercure en moyenne 3 lignes $1/3$ plus haute dans cette ville. Maraldi utilise alors la relation énoncée par Mariotte qui établit que 1 ligne de mercure au niveau de la mer soutient une colonne d'air de 60 pieds (10 toises). Par conséquent, les 3 lignes $1/3$ correspondent une altitude de 33 toises $1/3$ qui jointes à 11,5 toises donnent environ 45 toises. Voir Mariotte 1679a, 181-183. On notera que Maraldi se réfère à la « grande salle » qui correspond à l'actuelle salle dite « Cassini », tandis que Picard se réfère à la tour orientale de l'Observatoire et qu'il établit une hauteur de 44 toises.

²⁵ A la pression relevée à l'Observatoire est ajoutée la valeur de 4 lignes $1/6$ pour avoir la pression estimée au même moment au niveau de la mer (Maraldi 1705, 231-233).

²⁶ L'auteur vérifie la cohérence de la règle notamment avec les mesures de Cassini I faites à Toulon de la hauteur de la montagne de la Garde et de la pression à ce sommet et au niveau de la mer. Le domaine de validité de la règle s'étend « jusqu'à la hauteur de près d'une demi-lieuë sur la surface de la mer, qui est la hauteur où se terminent nos observations ».

déduite de la loi établie par Mariotte, celle résultant des mesures effectuées sur les montagnes (Cassini 1706, 72-74). Cette table montre notamment un écart significatif entre les deux échelles, l'atmosphère se raréfiant davantage selon Cassini que selon Mariotte.

2.2 Température des caves et inter-étalonnage des thermomètres à alcool

Thermométrie dans les caves de l'Observatoire

Mariotte fut probablement le premier, en 1670, à placer un thermomètre dans les caves de l'Observatoire, dont il observa les variations pendant près de deux ans, entre le 6 décembre de la même année et le mois de septembre 1672 (Mariotte 1679b, 38-43). On trouve manifestement dans les caves deux autres thermomètres²⁷ déposés en 1671 par Pierre Perrault²⁸, qui constate la quasi-constance de la température en ce lieu entre l'hiver et l'été 1672 (Perrault 1674, 85-86). Les mesures de Mariotte s'inscrivent dans le cadre de recherches sur le « chaud » et le « froid », celui-ci étant conçu comme une « privation » de celui-là, et ces notions étant relatives à nos sensations. Ainsi convient-il, selon Mariotte, de ne pas juger de la plus grande fraîcheur des caves en été qu'en hiver, comme « la plupart des hommes [en] sont prevenus », sur le seul témoignage des sens : les relevés thermométriques dans « un caveau de l'Observatoire » ont pour but de valider l'hypothèse d'une inertie de la chaleur telle que les sous-sols sont plus chauds à la fin de l'été qu'au début, et que le plus grand froid de ces lieux a lieu à la fin d'hiver ; ils montrent que les caves sont réellement plus chaudes en été qu'en hiver (Mariotte 1679b, 35-69). Les variations mesurées par Mariotte sont représentées sur la Fig. 3. La valeur de la température dans les caves reste voisine de 53 parties, pour ce thermomètre à « esprit de vin »²⁹, qu'on peut raisonnablement attribuer à l'émailleur d'origine anglaise Louis Hubin³⁰, dont les thermomètres marquent autour de 50 parties dans les caves de l'Observatoire et 25 parties à la congélation de l'eau (Martine 1751, 47-48).

Hubin a réalisé dans la même période le thermomètre de La Hire (La Hire fils 1707, 439). Placé dans une cave de l'Observatoire, ce dernier indique 48 parties, valeur que La Hire cite de nombreuses fois dans ses comptes rendus météorologiques en la présentant comme invariable (par ex. La Hire 1704, 10). On ne sait pas précisément de quand date la réalisation de cet instrument, La Hire fils indiquant en 1706 que le thermomètre de son père a plus de 30 ans (La Hire fils 1707, 439), tandis que La Hire père lui attribue un âge d'« environ » 40 ans en 1710 (La Hire 1712a, 139) et en 1716 (La Hire 1718, 3), sa date d'acquisition devant donc se situer entre 1670 et 1676.

²⁷ Il est néanmoins possible que les deux thermomètres dont parle Perrault incluent celui de Mariotte. Cassini, dans son journal, cite régulièrement Perrault et Mariotte à propos des thermomètres qui se trouvent dans la cave, mais on ne trouve pas trace de la mention de deux thermomètres quand Perrault est cité.

²⁸ Ancien receveur général des finances de Paris, il s'agit du frère de l'architecte de l'Observatoire Claude Perrault.

²⁹ L'éthanol, obtenu par distillation du vin.

³⁰ Hubin présente des travaux à l'Académie royale des sciences et collabore avec plusieurs de ses membres, notamment Mariotte. Voir sa notice biographique dans le *Dictionary of precision Instrument-makers and related craftsmen in France & Switzerland, 1430-1960* (<https://bibnum.explore.psl.eu/s/dictionarypim/ark:/18469/1r073>). Martine 1751, 47-48, note que « M. Hubin fut employé en France, pour en [des thermomètres] construire à l'usage de l'Académie des Sciences ».

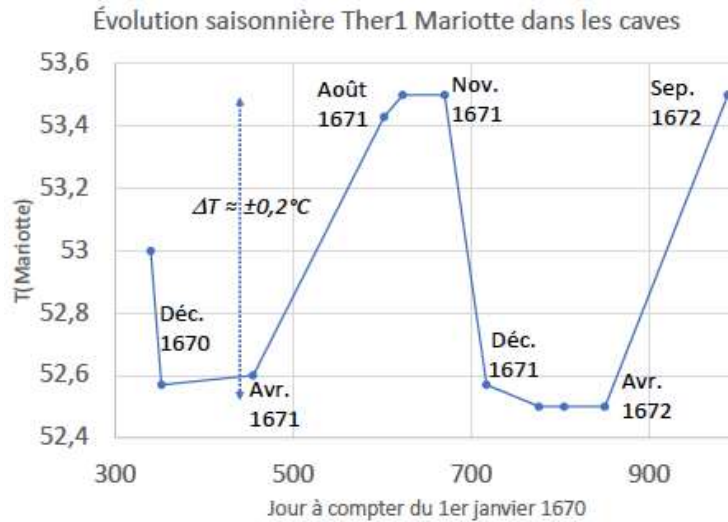


Fig. 3 : Variation de la température enregistrée dans les caves de l'Observatoire par Mariotte

Les variations saisonnières de la température des caves enregistrées par Mariotte sont de $\pm 0,5$ parties de son thermomètre. Il est possible d'estimer ces variations en degrés Celsius en se servant des relevés d'un deuxième thermomètre, à l'évidence aussi un thermomètre de Hubin, que Mariotte plaça à la fenêtre d'une maison parisienne, et dont il releva régulièrement la température entre le 16 novembre 1674 et le 25 janvier 1677 (Mariotte 1679b, 1-64). À partir d'une comparaison entre les températures reportées par Mariotte et celles relevées par Morin aux mêmes jours (Legrand et Le Goff 1992) (voir Fig. 4), on montre que 1°C est équivalent à un peu moins de 3 parties sur l'échelle des thermomètres de Mariotte, ce qui permet de chiffrer approximativement le niveau de stabilité saisonnière de la température des caves de l'Observatoire à $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

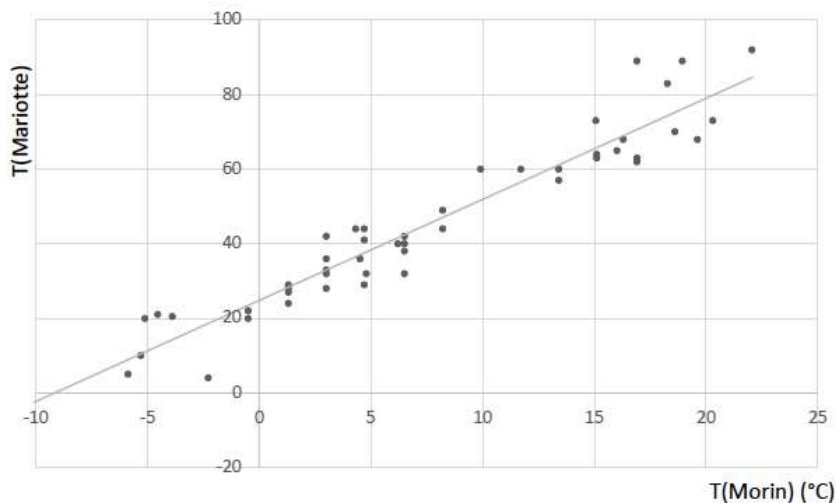


Fig. 4 : Corrélation entre les mesures de Morin (température moyenne) et de Mariotte les mêmes jours.

Le journal de Cassini I nous apprend qu'entre le 25 septembre 1671 et le 29 mars 1672 (Journaux D1/1 et D1/2), il descend, pour sa part, une quinzaine de fois à la cave pour y relever la température, et parfois la pression. Il suit l'évolution de la température par rapport à des repères déjà existants inscrits sur les bordures des thermomètres (par Perrault et/ou Mariotte, qui sont régulièrement mentionnés), ou marqués par lui lors de sa première descente à la cave, les écarts étant chiffrés en nombres et fractions de lignes, évolution globalement cohérente avec celle donnée

sur la figure 3³¹. Le savant n'explique pas les motivations de telles mesures, qu'il compare cependant à celles de ses collègues et qui aboutissent à des conclusions similaires concernant la stabilité de la température des caves.

Le thermomètre de Cassini I, qui éclate durant l'été 1705 (Journal D3/23)³² suite à une vague de chaleur extrême qui touche toute la France³³, est encore un thermomètre de Hubin qui pourrait avoir été acquis en 1669, 36 ans auparavant, d'après le témoignage de Fontenelle (Fontenelle 1706, 39)³⁴. Mais, comme nous le verrons, Cassini I utilise un thermomètre différent entre 1671 et 1673, instrument dont la graduation se distingue nettement de celle du thermomètre cassé en 1705, ce qui met en doute concernant ce dernier une acquisition dès 1669. Les thermomètres réalisés par Hubin pour Cassini, La Hire et Mariotte présentent des calages assez nettement différents, resp. 55, 48 et 53 parties pour la température des caves, et 22, 31 et 25 parties pour la congélation de l'eau (voir Tableau 1)³⁵.

Cassini I rappelle régulièrement dans son journal que son thermomètre (celui qui éclate en 1705) indique dans les caves 54,5 parties. Le 14 septembre 1696, il écrit néanmoins : « j'ay descendu le Therm. a la cave je l'y ay laissay un jour entier et je l'ay trouvé a la hauteur de 55 ½ » (Journal D3/15). Six ans plus tard, le 13 juillet 1702, le thermomètre laissé dans les caves plus d'une nuit marque 54 ½ (Journal D3/20). Ces mesures suggèrent une variabilité saisonnière de $\pm 0,5$ parties, soit de l'ordre de $\pm 0,2^\circ\text{C}$, comparable à celle mesurée par Mariotte trente ans plus tôt. Il faut noter l'inertie considérable du thermomètre de Hubin, dont le temps de mise à l'équilibre thermique avec l'air qui l'entoure est de plusieurs heures³⁶.

Les thermomètres d'Amontons à l'Observatoire : température de référence et prototypes

Guillaume Amontons présente un thermomètre à air lors des Assemblées de l'Académie des 1^{er}, 5, 8 et 12 juillet 1702 (RMAS 1702, t. 21, 257r-277r ; Amontons 1704). Le principe du thermomètre à air est d'utiliser comme fluide dilatable l'air gazeux atmosphérique, contenu dans une boule surmontée d'un tube rempli de mercure ouvert sur l'extérieur. L'air dans la boule est comprimé par la colonne de mercure, et la colonne d'air qui pèse sur le mercure, et fait d'autant plus monter la colonne de mercure qu'il est échauffé, et donc se dilate. Les thermomètres d'Amontons,

³¹ Le 25 septembre 1671, le niveau du mercure se trouve « six quarts de ligne au-dessus de la marque *a* placée sur le panneau latéral gauche », suggérant une augmentation significative par rapport à un niveau antérieur, sans qu'il soit possible de savoir quand la marque *a* a été faite, et s'il s'agit du thermomètre placé par Mariotte ou d'un thermomètre placé par Perrault (Journal D1/1). Le même jour, Cassini inscrit sa propre marque *b* sur le panneau latéral droit pour indiquer le niveau du mercure ce jour-là. Le mercure ne bouge pas par rapport à la marque *b* jusqu'au 19 novembre, mais le 7 décembre, le mercure a baissé, en cohérence avec l'évolution reportée par Mariotte (cf. Fig. 3). Le 25 janvier, Cassini écrit que le thermomètre se trouve à la marque faite par Perrault, probablement la marque *a*, toujours en cohérence avec l'évolution reportée par Mariotte (cf. Fig. 3). Plus aucune information de ce type n'est fournie dans le journal au-delà de janvier 1672.

³² 6 août 1705 : « 2h ½ [de l'après midi] le thermometre a crevé ».

³³ Les RMAS de 1705 indiquent, à travers une lettre de François de Plantade lue en séance, que deux thermomètres « à la façon » de Hubin ont également été cassés à Montpellier, où la chaleur a été la plus extrême le 30 juillet, un troisième thermomètre du même type ayant été transporté dans une cave pour éviter qu'il ne subisse le même sort (RMAS 1705, t. 24, 310v-311r).

³⁴ Fontenelle 1706, 39 : « A Paris le 6. Aoust [...] Un Thermometre de M. Hubin, dont M. Cassini se servoit depuis 36 ans cassa »

³⁵ En 1688, Jacques D'Alencé fournit une méthode pour graduer les thermomètres à esprit de vin, préconisant de marquer le niveau de l'alcool correspondant à la congélation de l'eau (0°C), et celui correspondant à la température fixe d'une cave profonde. À partir de ces deux points de calage, pour peu que tous les thermomètres soient étalonnés dans la même cave, leurs mesures deviennent directement comparables (D'Alencé 1688, 74-76).

³⁶ Ce que suggère cette remarque de Cassini I du 14 juillet 1685, dans Journal D3/3 : « A 3 heures apres midy le G [Grand ?] Thermometre estoit à 101. Je l'ay porté à la Cave apres y avoir resté un quart d'heure il s'est trouvé à 85. J'y ay retourné à 6 h. Il estoit à 59. Je l'ay raporté et l'ay reporté dans la tour au si tot qu'il a esté posé il s'est trouvé à 65 et a 7h à 77. *Annotation postérieure dans une autre écriture* : (il eut mieux valu laisser ce thermometre dans les caves pendant 24 h pour lui donner le temps de bien prendre la temperature, faute de cela cette experience ne dit rien) ».

conformément à la préconisation de Jacques d'Alencé (d'Alencé 1688, 75), sont calés sur la température des caves. L'air « tempéré » (c'est-à-dire dont la température est égale à celle des caves de l'Observatoire, de l'ordre à l'époque de 12°C, voir par ex. Renou 1876, 32), écrit Amontons, « soutient environ 19 pouces de mercure moins que celui qui est poussé par un degré de chaleur égal à celui de l'eau bouillante », sachant que le mercure indique 73 pouces à 100°C. Ainsi, le thermomètre à air marque 54 pouces dans les caves de l'Observatoire, et par conséquent un peu moins de 52 pouces à la congélation de l'eau.

Amontons propose l'année suivante, à l'occasion de l'Assemblée de l'Académie qui se tient le 18 avril 1703 (RMAS 1703, t. 22, 102v-103v), de régler les thermomètres à esprit de vin, simplement constitués d'une boule surmontée d'un tube, sur les thermomètres à air, en graduant les premiers à partir des valeurs relevées sur les seconds (Amontons 1705, 50-56). Le calage des graduations des thermomètres à esprit de vin sur deux termes fixes, la température des caves et la température d'ébullition de l'eau, offre le moyen de mesurer la température de façon absolue, les températures mesurées par deux tels thermomètres, même distants, étant directement comparables. De plus, lors de la séance du 5 juillet 1702, Amontons livre un protocole, qu'il a enseigné à Hubin, pour fabriquer à partir d'un thermomètre jugé convenable autant d'autres thermomètres identiques que l'on souhaite³⁷, sans nécessité donc de disposer d'un thermomètre étalon à air. Amontons fournit ainsi la clé de la fabrication de thermomètres à esprit de vin étalonnés, ouvrant la voie à la constitution de réseaux de mesure de la température.

On trouve dès janvier 1704, huit mois après la présentation faite à ce sujet par Amontons à l'Assemblée de l'Académie, deux thermomètres d'Amontons à esprit de vin chez Cassini I, dont il fournit à la date du 21 les valeurs qu'ils indiquent à sa fenêtre, et le lendemain les températures relevées par les mêmes thermomètres dans les caves (voir Fig. 5). Il est possible que ces deux thermomètres, placés très peu de temps après leur fabrication à côté du thermomètre de Hubin utilisé par Cassini depuis les années 1670, y soient à titre de prototypes, pour y être testés en vue d'en évaluer la stabilité et la précision.

| Les deux Thermomètres de M ^r Amontons marquant à main | |
|--|-------|
| étant portés dans le Chamber à la moyenne | 51 10 |
| L'autre | 51 9 |
| Therm. nat. 10 1/2 Bar 27.5 Sudevent negro | |
| m ³ 4' 13" | |

| Les Thermomètres dans les Caves | |
|---------------------------------|-----------|
| | 53 15 1/2 |
| L'autre | 53 11 3/4 |

Fig. 5 : Jean-Dominique Cassini, Journal, D3/21, 21 et 22 janvier 1704

Dans la même période de temps, entre janvier et juillet 1704, la *Connaissance des temps* de 1705 nous apprend qu'Amontons a testé plusieurs de ses thermomètres³⁸, suggérant que l'année 1704 est bien une année d'épreuves et de vérifications pour le nouvel instrument. Le 8 juillet 1704 apparaît dans le journal de Cassini (Journal D3/22), à côté de la température relevée par son thermomètre de Hubin, le « degré de chaud » marqué par un autre thermomètre, encore un thermomètre d'Amontons, la valeur indiquée par le thermomètre d'Amontons étant reportée dans le journal au-dessous de l'autre jusqu'à la date du 6 août 1705, quand le thermomètre de Hubin

³⁷ « Mr Amontons a continué ses Experiences. A cette occasion il a rapporté une manière qu'il a trouvée et enseignée au Sr Hubin po. faire tant de Thermomètres qu'on voudra conformes à un que l'on aura reconu pour bon, en sorte que la boule et le tuyau, soient toujours dans la même proportion. Il remplit separemt de Mercure le tuyau et la boule du 1^{er} Thermomètre qu'il a cassé, il pèse le mercure qui a rempli ces deux parties. Ensuite il remplit aussi de Mercure un tuyau de Thermomètre au hazard, le pese, trouve par une règle de trois quelle quantité de Mercure doit remplir la boule, et en choisit une qui la contienne juste. » (RMAS 1702, t. 21, 267r-267v).

³⁸ Ces thermomètres ne sont pas ceux placés chez Cassini d'après les quelques valeurs de la température fournies dans l'article de la *Connaissance des temps*.

éclate (Journal D3/23), date après laquelle le thermomètre d'Amontons devient le thermomètre principal de Cassini.

2.3 Hydrologie et pluviométrie

L'enjeu régalien que constitue la réalisation de jets d'eau à Versailles appelle une demande dans la recherche en hydrologie qui va mobiliser des académiciens des sciences et l'Observatoire. Le soutien apporté par le pouvoir royal paraît être déterminant pour l'instauration de mesures pluviométriques à l'Observatoire.

Notons, tout d'abord, que le journal de Cassini révèle un intérêt croissant, au début des années 1680, pour les questions d'hydraulique et d'hydrologie. Le 23 mars 1682, Cassini écrit aller « avec mm^{rs} Mariote de la Hire Sédileau Chazelles voir la machine d'eau faite par les anglois », visite renouvelée une semaine plus tard, le 30 mars (Journal D1/8). Il s'agit de la machine rapportée par Samuel Morland de Londres, où il l'a fait construire par ses ouvriers. La pompe proposée par Morland à Louis XIV est supposée être capable de « pousser par la force d'un Cheval, tout le Produit d'Eau de la Fontaine de la Ville d'Avrée, jusqu'au haut du Chasteau de Versailles, d'icy à cent années, tout au long du grand Chemin, dans un Tuyau de plomb, d'environ sept lignes de diametre interieur, & d'environ trois lignes & demies, ou quatre, d'épaisseur » (Morland 1685, 34-35). La question de la réalisation d'une machine à lever les eaux émerge fréquemment dans les discussions menées à l'Académie à cette époque, comme en témoignent les RMAS, qui font apparaître une dizaine de projets de telles machines entre 1678 et 1686, tant concernant le système mécanique lui-même que la nature de la force à utiliser pour le mettre en mouvement³⁹.

La question de l'origine des fontaines, et plus généralement de ce qu'on appellerait aujourd'hui le cycle de l'eau, fait à l'époque l'objet de nombreuses recherches, Perrault et Mariotte s'affirmant comme des acteurs essentiels de la science hydrologique naissante, qui cherche à mieux comprendre la relation entre la quantité de pluie et le débit des rivières, ou la production d'eau par les sources⁴⁰. Pour sa part, La Hire fait en 1686 des « expériences [...] par ordre de Mr. de Louvois sur les sources sur la montagne de Rocquencourt, dont on avoit conduit les eaux à Versailles », qui portent sur leur débit irrégulier et leur assèchement. Une comparaison réalisée durant un an entre la quantité d'eau fournie par cette source et la quantité de pluie au voisinage ne montre aucun rapport clair, et La Hire expérimente alors « sur le tems qu'il faut à l'eau pour passer au travers de certaines terres, & quelle quantité il en passa de celle qui est fournie par la pluye, enfin combien il s'en dissipe de celle-là même par la chaleur, par le vent, &c »⁴¹. Lors de la séance du 3 avril 1688, les RMAS indiquent la volonté de

« Monseigneur de Louvois [...] que l'on fist, quelques experience pour connoistre combien il tombe d'eau de pluye dans une année, dans un bassin ; et combien il s'en évapore ; Monsieur Perrault a proposé le desain d'une machine pour cet effet ; et Monsieur Sédileau doit l'executer a l'observatoire » (RMAS t. 12, 3 avril 1688, 78v-79r ; Histoire 1733b, 25).

Ce système est constitué de « deux Cuvettes d'étain, l'une longue de deux pieds, large d'un pied & demi, & aussi haute que large, pour recevoir l'eau de la pluye, & pour en mesurer la quantité ; l'autre longue de trois pieds, large de deux, & haute d'un peu plus de deux pieds, pour observer la quantité de l'évaporation » (description détaillée dans Sédileau 1730, 35-36). Chacune des deux cuvettes est placée dans une caisse en bois, l'espace autour de la cuvette étant garni de terre pour que ses parois latérales ne soient pas exposées à l'action du soleil et du vent. Les caisses sont mises sur la terrasse, dans un endroit découvert. La quantité d'eau précipitée est mesurée par vidage de la cuvette dédiée dans un vaisseau cubique gradué, ceci dès que l'épisode pluvieux est terminé pour

³⁹ Ces questions ont notamment fait l'objet de travaux de Mariotte, Ole Christensen Rømer (cf RMAS t. 7, p. 251r.), La Hire et Perrault (cf. RMAS t. 9, p. 160v.).

⁴⁰ Voir Perrault 1674 et Mariotte 1686 qui fournissent des aspects historiques sur ces recherches.

⁴¹ Voir « Diverses observations de physique générale », Histoire 1733b, 3.

éviter toute perte par évaporation. L'autre cuvette, dédiée à la mesure de l'évaporation, est régulièrement remplie d'eau, la diminution progressive du niveau de l'eau étant suivie quotidiennement, éventuellement corrigée de l'apport pluvial. Sédileau, aidé par Ennemond Cusset (Wolf 1902, 110), commence ses relevés de la pluie en juin 1688 et les poursuit jusqu'à décembre 1690. Ils sont équipés de deux baromètres et deux thermomètres fabriqués par Hubin et destinés à l'accompagnement des mesures de pluie, mais les valeurs de la pression ou de la température ne sont pas reportées dans leurs publications (Sédileau 1730, 29-36)⁴².

La Hire réalise dès la fin de l'année 1688 son propre système de collecte de la pluie au deuxième étage de « la tour découverte de l'Observatoire Royal », là où il installera de manière définitive son thermomètre en 1694 (Cassini 1797, 351), et commence les mesures en janvier 1689, six mois après Sédileau, pour les poursuivre jusqu'à fin décembre 1692 (La Hire 1730, 251-252). Rien n'est explicitement dit sur les raisons pour lesquelles La Hire entreprend des mesures simultanées. Remarquons que le système de prélèvement de La Hire est légèrement différent et qu'il ne mesure pas l'évaporation :

« [le] vaisseau est un peu en pente vers l'un de ses Angles, où il y a une petite ouverture avec au bout un tuyau qui conduit toute l'eau [...] dans une cruche qu'on place au-dessous ; & aussitôt qu'il a plu, on prend un très grand soin de mesurer exactement toute l'eau qui s'est amassée dans la cruche, ce qu'on écrit dans un Registre particulier. Cette mesure se fait dans un petit vase de figure cubique, qui a son côté de 3 pouces, en sorte que 32 lignes de hauteur d'eau dans ce petit vase, valent une demi-ligne de hauteur de la superficie du grand vaisseau de fer blanc ; c'est pourquoi on a tracé autour du bord d'en haut de ce petit vase cubique, qui n'est point fermé par-dessus, une ligne à 4 lignes de distance du bord, afin qu'on remplissant ce petit vase jusqu'à la hauteur de ce ligne, on ait la valeur d'une demi-ligne de hauteur d'eau qui est tombée » (La Hire 1703a, 6)⁴³.

Cette installation sera celle utilisée par La Hire pour ces observations météorologiques publiées annuellement dans les volumes de l'HARS. Les valeurs produites par La Hire diffèrent légèrement de celles de Sédileau dans la période de recouvrement des mesures réalisées en parallèle par les deux hommes (1689-1690) (cf., Fig. 6 et 7) :

| 1690. | | | |
|--|--------------------------|---|-------------------------|
| Pluye. | | Evaporation. | |
| Janvier | 2 pouces 7 lignes | Janvier | 0 pouces 8 lignes |
| Février | 1 p. 2 l. | Février | 0 p. 6 l. $\frac{1}{2}$ |
| Mars | 1 p. 7 l. $\frac{1}{2}$ | Mars | 1 p. 6 l. |
| Avril | 0 p. 10 l. $\frac{1}{4}$ | Avril | 3 p. 6 l. $\frac{1}{2}$ |
| May | 2 p. 6 l. | May | 4 p. 8 l. |
| Juin | 2 p. 3 l. $\frac{3}{4}$ | Juin | 4 p. 8 l. $\frac{1}{4}$ |
| Juillet | 2 p. 8 l. $\frac{1}{4}$ | Juillet | 5 p. 5 l. $\frac{3}{4}$ |
| Aoult | 2 p. 11 l. | Aoult | 4 p. 2 l. $\frac{1}{4}$ |
| Septemb. | 0 p. 9 l. $\frac{1}{2}$ | Septemb. | 2 p. 6 l. $\frac{1}{4}$ |
| Octobre | 2 p. 4 l. $\frac{1}{2}$ | Octobre | 1 p. 10 l. |
| Novemb. | 0 p. 10 l. $\frac{1}{4}$ | Novemb. | 0 p. 8 l. $\frac{1}{4}$ |
| Decemb. | 0 p. 4 l. | Decemb. | 0 p. 6 l. |
| Total de la pluye 21 pouces 0 lignes $\frac{1}{2}$ | | Total de l'évaporation 30 pouces 11 lignes. | |

Fig. 6 : Sédileau, « Observations de la quantité de l'Eau... », p. 32

| | 1689. | 1690. | 1691. | 1692. |
|-----------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Lignes. | Lignes. | Lignes. | Lignes. |
| Janvier | 16 $\frac{1}{2}$ | 35 $\frac{1}{4}$ | 0 | 7 |
| Février | 10 $\frac{1}{2}$ | 12 $\frac{1}{2}$ | 10 $\frac{1}{2}$ | 27 $\frac{1}{2}$ |
| Mars | 15 $\frac{1}{2}$ | 20 | 8 $\frac{1}{2}$ | 16 $\frac{1}{2}$ |
| Avril | 15 | 9 $\frac{3}{4}$ | 14 $\frac{1}{2}$ | 18 $\frac{1}{4}$ |
| May | 8 | 30 | 18 $\frac{1}{2}$ | 21 |
| Juin | 9 $\frac{1}{4}$ | 27 | 15 $\frac{1}{4}$ | 20 $\frac{1}{4}$ |
| Juillet | 51 $\frac{1}{4}$ | 33 $\frac{1}{4}$ | 44 $\frac{1}{4}$ | 49 $\frac{1}{4}$ |
| Aoult | 17 $\frac{1}{2}$ | 46 | 32 $\frac{1}{4}$ | 16 $\frac{1}{2}$ |
| Septembre | 22 | 12 $\frac{1}{2}$ | 14 $\frac{1}{2}$ | 52 |
| Octobre | 32 $\frac{1}{4}$ | 32 $\frac{1}{2}$ | 3 $\frac{1}{4}$ | 17 $\frac{1}{4}$ |
| Novembre | 24 | 15 $\frac{1}{2}$ | 3 | 10 |
| Decembre | 5 $\frac{1}{4}$ | 4 $\frac{1}{2}$ | 7 $\frac{1}{4}$ | 15 |
| Somme | 18 po. 11 $\frac{1}{2}$ l. | 23 po. 3 $\frac{1}{2}$ l. | 14 po. 5 $\frac{1}{4}$ l. | 22 po. 7 $\frac{1}{2}$ l. |

Fig. 7 : La Hire, « Observation de la quantité d'eau ... », p. 252

Durant l'année 1692, Sédileau rapporte plusieurs fois à l'Académie sur ses mesures de la pluie et sur la question de l'origine des fontaines (les 31 mai, 7 juin et 28 juin, voir RMAS 1692, t. 13, 101r, 101v, 103v), mais il décède en avril 1693 et c'est La Hire qui prend sa succession au suivi de la pluviométrie, sans que l'on sache s'il est explicitement mandaté par le pouvoir royal comme l'avait été Sédileau. Le travail précédemment mentionné sur l'origine des sources effectué pour Louvois en 1686, et son implication dans la mesure de la pluie, font de La Hire un héritier naturel de Sédileau. Les réflexions menées par Sédileau, sur la base de ses mesures de quantités précipitées

⁴² Le mémoire ne contient que des relevés mensuels de pluviométrie et d'évaporation. Voir aussi Histoire 1733b, 82-83. Pour ces deux instruments, voir pour la date du 18 juillet 1688, Guiffrey 1891, 125 : « à M. Hubin, émailleur, pour deux thermomètres et deux baromètres qu'il a fourni aux S^{rs} Sédileau et Cusset à l'Observatoire, pour l'observation des eaux de pluye et leur évaporation ».

⁴³ Il s'agit à cette date de la même installation que celle décrite très succinctement dans La Hire 1730, 251-252.

et évaporées, détaillées dans (Sédileau 1693, 81-93), l'année de sa mort, portent sur le bilan hydrique global de la Terre, à travers l'évaporation de la mer, les pluies, le transport de l'eau jusqu'à la mer par les rivières, l'infiltration dans les sols et les écoulements souterrains, réflexion lancée par les travaux de Mariotte et Perrault deux décennies plus tôt.

La Hire produit annuellement, à partir de 1694, les précipitations mensuelles de l'année précédente⁴⁴, mesures qui ont pour point de départ la question de l'origine des sources et fontaines⁴⁵. En 1694, on trouve quelques informations sur les variations de la pression atmosphérique, tandis qu'en 1695 et 1696, aucune information n'est donnée sur la pression et la température. En 1697 figurent quelques relevés de la température. C'est dans les RMAS à la date du 15 janvier 1698 (RMAS 1698, t. 17, 74r-76r), qu'on trouve pour la première fois un rapport détaillé fait par La Hire des pluies ainsi que des variations du baromètre et du thermomètre pour l'année 1697, annonçant les comptes rendus circonstanciés publiés annuellement à partir de 1699 dans les volumes de l'HARS. Dans le volume pour l'année 1704, La Hire donne les raisons qui l'ont conduit à s'intéresser également à la température et à la pression :

« Mais comme on est persuadé par la plus grande partie des observations qu'il ne pleut ordinairement que lorsque l'air devient plus léger, ce qu'on connaît par la descente du mercure dans le tuyau du Barometre, j'ai cru que je devois joindre aux observations de la pluie, celles du Barometre, & rapporter en même temps les hauteurs du Thermometre, pour connoître quel a été le degré de chaleur ou de froid lorsque la pluie a été plus ou moins abondante » (La Hire 1706a, 1-2).

Ainsi, l'introduction des mesures de pression et de température vient du souci de pouvoir mieux étudier la pluie. Le savant écossais George Garden est probablement l'un des premiers, dans la décennie 1680, à proposer pour expliquer la baisse du baromètre par temps de pluie, et sa hausse par beau temps, que la montée des vapeurs soit la conséquence de l'augmentation de la gravité spécifique (la densité) de l'atmosphère, l'air étant d'autant plus apte à faire s'élever les vapeurs qu'il est plus pesant, et inversement à les faire précipiter qu'il est plus léger (Garden 1686). On retrouve cette idée d'une cause de la pluie dans la légèreté de l'atmosphère, devenant de ce fait incapable de soutenir les vapeurs, dans un article d'Edmund Halley publié en 1686 attribuant aux vents l'origine des variations du baromètre (Halley 1688). C'est précisément l'élucidation du lien entre pluie et pression atmosphérique qui conduit La Hire à faire figurer dans ses rapports les mesures de pression, les mesures de température visant également à mieux caractériser les conditions de formation de la pluie. C'est d'ailleurs systématiquement par l'affichage des données de pluviométrie que La Hire entame ses comptes rendus annuels, les informations sur la température et la pression, se limitant le plus souvent à la mention des valeurs extrêmes enregistrées dans l'année, ne venant qu'ensuite, ainsi dans le compte rendu concernant l'année 1699 :

« Pour le Barometre qui est placé à la hauteur de la grande sale de l'Observatoire, & à 20 toises à peu près au-dessus de la rivière, la plus grande hauteur du mercure n'y a été que de 28 pouces 3 lignes le 2 Novembre & le 31 Décembre & que son plus grand abaissement n'a été que de 26 pouces 9 lignes le 14 Janvier & le 14 Décembre ; & par consequent la différence des hauteurs du mercure entre la plus grande & la moindre hauteur a été de 18 lignes » (La Hire 1703a, 7).

3. Astronomie et météorologie : les réfractions atmosphériques

⁴⁴ Voir Histoire 1733b, 125 pour 1694, 143-144 pour 1695, 166 pour 1696, 182-183 pour 1697, 207-208 pour 1698 avec dans ce dernier cas seulement la précipitation annuelle.

⁴⁵ La Hire 1705, 57-58 : « j'entrepris de reconnoître par moy-même ce que les eaux de pluie & de neige pouvoient fournir aux fontaines & rivières. Je commençay d'abord à rechercher quelle étoit la quantité d'eau de pluie qui tomboit sur la terre pendant toute une année, & j'en ay donné depuis des Memoires à l'Academie à la fin de chaque année ; ce qui fait connoître que la hauteur de l'eau qui tombe à l'Observatoire Royal, où j'ay fait mes observations, seroit dans une année moyenne de 19 à 20 pouces ». Ce mémoire fait état d'expériences pour évaluer les infiltrations en terre des précipitations à l'aide d'un bassin en plomb installé sur « la terrasse basse de l'Observatoire », qui correspond manifestement à la terrasse méridionale actuelle.

3.1 Jean Picard : hauteur méridienne, diamètre solaire et réfraction

L'idée que les vapeurs qui s'élèvent dans l'atmosphère renforcent le phénomène de réfraction atmosphérique est très répandue au 17^e siècle (Chassefière 2022a). *L'Histoire de l'Académie de 1666 à 1686* contient plusieurs références de l'intérêt soutenu des astronomes académiciens pour la question de la variation diurne et saisonnière de la réfraction atmosphérique, et en particulier de Picard. Ainsi, le premier volume de *l'Histoire* rapporte que dès l'année 1666 :

« M. Picard conjectura que les refractions devoient être plus grandes en hiver qu'en été, parce que mesurant le diametre, ou du Soleil ou de la Lune, à la même hauteur horizontale, il trouvoit en hiver le diametre vertical plus petit. Il faut supposer que les refractions en même-temps qu'elles haussent ces astres sur l'horison, accourcissent leurs diametres verticaux, parce que comme leur plus grande force est à l'horison, & que de-là elles vont toujours en diminuant, elles élevent plus la moitié inferieure du diametre vertical du Soleil ou de la Lune qu'elles ne font la moitié superieure, & par consequent c'est la même chose que si une partie de la moitié inferieure du diametre se cachoit derriere la superieure, ce qui diminueroit necessairement la grandeur apparente de ce diametre, & plus les refractions sont grandes, plus cet effet est sensible » (Histoire 1733a, 11).

Les années 1666 à 1669 sont marquées par un grand nombre d'observations du diamètre solaire où « l'étude de la réfraction est sous-jacente » (Débarbat 1987, 157-159 ; Grillot 1987, 145-146). Ainsi, le 25 mai 1668, les registres académiques consignent cette observation de Picard que « le Soleil estant entierement levé parut plus étroit que le soir precedent, et la proportion de ses diametres estoit comme de deux à huit ; ce qui marquoit une plus grande refraction, comme il devoit arriver non seulement a cause qu'on estoit dans un lieu trop haut mais aussy parce que les refractions sont ordinairement plus grandes le matin que le soir » (RMAS t. 3, 25 mai 1668, 29v)⁴⁶. Le 31 octobre de la même année, Picard rend compte de ses observations depuis octobre 1667 des hauteurs méridiennes et des diamètres solaire et lunaire « faites dans le Jardin de la Bibliothèque du Roy » (RMAS t. 3, 25 mai 1668, 157r-164v). En mars 1669, lors de son exposé académique suivant sur ses mesures de hauteurs méridiennes, où il compare ses observations aux valeurs obtenues à partir des tables Rudolphines, Picard évoque le lien entre les réfractions, les saisons et la température, où il remarque :

« 1^o. Qu'a pareille hauteur devant et apres le Solstice d'hiver, les excez des refractions ne se sont pas trouvez egaux, mais plus grands apres le Solstice que devant, ce qui fait voir que les refractions changent selon qu'il fait plus ou moins froid et qu'elles sont plus grandes l'hyver que l'esté et semblablement plus la nuit que le jour. Car outre que le mois de Janvier, ou elles ont esté plus grandes, est de soy plus avant dans l'hyver que celui de decembre ; Il y a eu cela de particulier cette année qu'il n'avoit presque pas fait froid avant le solstice, en comparaison de ce qu'il a fait apres.

2^o. Que nonobstant cette inégalité il s'est rencontré que les refractions ont commencé et cessé de se faire sentir presque a pareille hauteur, savoir [?] le 24^e. octobre et le 20. [févr.] ausquels temps on a aussi remarqué par le Thermometre que l'air avoit esté d'égale temperature » (RMAS t. 3, 20 mars 1669, 297r-297v.)⁴⁷

À la fin de cette même année, lors de délibérations sur ce qu'« il est a propos de travailler cette année [à venir] sur l'avancement de l'astronomie », Picard évoque notamment qu'

« Il seroit [...] necessaire de commencer des a present a faire autant qu'il sera possible une table des refractions exprez pour Paris, suivant les differentes saisons, et mesmes suivant les differentes changements de tempe[rature], marquant en mesme temps les vents et la constitution du Thermometre pour voir si les changements qui arriveront aux réfractions ne seront point accompagnez de quelque marque certaine. J'ay quantité d'observations des hauteurs du Soleil prises a egale distances devant et apres midy dont il seroit bon de calculer l'heure pour voir les differ^{es}. qu'il y aura avec l'heure calculée et celle des horloges a pendule mise a

⁴⁶ Le lieu d'observation est situé « sur le haut de Montmartre ». Histoire 1733a, 65 ajoute que les réfractions « accourcissoient davantage le diametre vertical, mais encore parce qu'on étoit dans un lieu trop haut, ce qui agrandissoit encore les refractions ».

⁴⁷ La série de mesures effectuée court d'octobre 1668 à mars 1669.

costé, ce que j'ay faict pour rectifier les horloges, mais qui pourra servir a connoistre les refractions » (RMAS t. 6, 27 novembre 1669 (?), 226v.).

Outre le bilan dressé par Picard de ses observations de hauteurs méridiennes sur la période couvrant mars à décembre 1669 et de celles des diamètres du soleil d'octobre à décembre de cette même année (RMAS t. 6, 4 décembre 1669 (?), 229r-234v.), les premières contenant des corrections de réfractions, les deuxièmes des différences entre diamètres horizontaux et verticaux, l'astronome rend aussi compte d'observations d'étoiles fixes faites à proximité de « la porte Montmartre » tout au long de l'année 1669. Ces observations s'accompagnent de descriptions de l'état du ciel et de remarques sur les températures, sans pour autant de relevés de mesures, et suggèrent d'associer ces éléments aux réfractions :

« notez que tous ces jours le temps estoit de moyenne temperature comme il paroissoit par les Thermometres ce que marque pour le sujet des refractions [...] Le temps avoit esté de temperature mediocre jusques à ce jour là [le 28 février] que le vent se mit au nord aussi la hauteur du grand chien fut plus grande que le 27 [...] le 10 [mars] le temps estoit fort doux et de moyenne temperature » (RMAS t. 6, 11 décembre 1669 (?), 236v, 237r).

Les commentaires de nature météorologique ne sont donc pas systématiques et, par ailleurs, on ne trouve pratiquement jamais de relevé de température⁴⁸. Ces observations de Picard donnent aussi lieu à des remarques sur l'effet de la température sur les horloges à pendules :

« Notez qu'il y avoit plus de quinze jours que les 2. horloges a pendule estoient d'accord sur la mesme seconde surquoy il est bon de remarquer que quand le temps demeure dans une mesme temperature alors il est facile de tenir deux horloges a pendule d'accord entre elles, mais qu'elles varient diversement avec le temps quand il change. C'est aussi une experience certaine qu'en esté les vibrations sont ordinairement plus grandes qu'en hyver de sorte qu'aux pendules a secondes il y a un grand pouce de difference de chaque costé, aussi arrive t'il qu'en esté les horloges vont retardant a mesure que le chaud vient et qu'au contraire elles avancent en hyver, de sorte que le petit poids qui sert a avancer ou retarder doit estre en esté plus haut qu'en hyver d'environ quatre ou cinq lignes » (RMAS t. 6, 18 décembre 1669 (?), 245r-245v).

Picard livre ainsi un ensemble de remarques directement tirées de sa pratique et propose un programme de recherche empirique sur les tables de réfractions et le rapport éventuel de ces dernières avec la température.

En 1674, lors d'observations astronomiques réalisées à Montpellier, Picard « s'appliqua aux réfractions du Soleil, & il poussa la précision jusqu'à s'apercevoir qu'au Lever du Soleil, le bord supérieur, lorsqu'il touche l'horizon, a une réfraction plus grande que le bord inférieur, lorsqu'il vient aussi à toucher l'horizon », suggérant que « dans le peu de tems qu'occupe le lever du Disque entier, le Soleil a déjà assez agi pour élever un peu les vapeurs, & pour rendre le milieu plus égal, & par conséquent les réfractions moins grandes »⁴⁹. À l'occasion de ces mesures, il évoque « une Observation » faite lors de ses travaux conduisant à la publication de la *Mesure de la Terre* :

« étant en Eté, au haut du Mont-Valerien, un matin avant que le Soleil se levât, & m'étant avisé de pointer un quart de cercle vers le sommet des Tours de N. Dame de Paris, je les trouvai basses de 20'. Mais le Soleil ne fut pas plutôt levé, qu'elles parurent basses de 22', & je n'eus pas beaucoup de peine à concevoir, qu'avant le lever du Soleil, Paris avoit été dans un air beaucoup plus grossier que celui où j'étois, mais qu'ensuite, par l'action du Soleil, les vapeurs s'étant élevées, le milieu entre Paris & moi étoit devenu plus égal » (Picard 1729, 339 ; 1671).

⁴⁸ On ne trouve dans le journal de Picard qu'une seule mesure de température faite à la porte Montmartre le 4 août 1670 : « Thermometrum 32 » (journal D1/14). La température est également reportée à quatre reprises par Picard lors d'observations faites à l'Observatoire du 18 au 21 février 1674, avec des valeurs comprises entre 10 et 12 parties (Journal D1/15).

⁴⁹ Histoire 1733a, 182.

Les vapeurs, dont l'exhalaison est provoquée par la chaleur du soleil, qui se traduit par une température plus élevée, contribuent à faire augmenter le poids de l'atmosphère, donc la pression, suggérant un lien, bien qu'ici non explicité, entre les réfractions, d'une part, et la température et la pression, d'autre part.

3.2 Journaux d'observation, réfraction et matière réfractive

Dans des « Instructions données à ceux qui travailleront à l'Observatoire », probablement écrites entre 1683 et 1687, qui « précisent avant tout les observations à faire quotidiennement » et « indiquent qu'il sera prioritairement question à l'Observatoire d'observer le Soleil plusieurs fois par jours » (voir Deias 2020, 178-191, sur ces instructions, leur contenu et leur datation), Cassini I, à l'instar de Picard, accorde une attention particulière aux réfractions atmosphériques :

« on repliquera ces observations de la hauteur du Soleil et de son diametre plus frequemment que le temps requis a s'asseurer des observations le permettra pendant une o [sic] deux heures le matin apres le lever du soleil et le soir avant le coucher. Elles serviront pour trouver les refractions a plusieurs degres de hauteur le matin et le soir et l'on vaira par la si les refractions du matin sont égales à celles du soir »⁵⁰.

Ce document n'évoque pas explicitement la météorologie, mais les journaux de Cassini contiennent des séries d'observations réalisées à l'Observatoire manifestement en lien avec des questions de réfractions et des relevés thermométriques, barométriques et des descriptions de l'état du ciel. Ainsi, de juin à septembre 1699, des commentaires accompagnés de schémas signalent des variations de hauteurs de bâtiments à des heures de relevés relativement comparables.

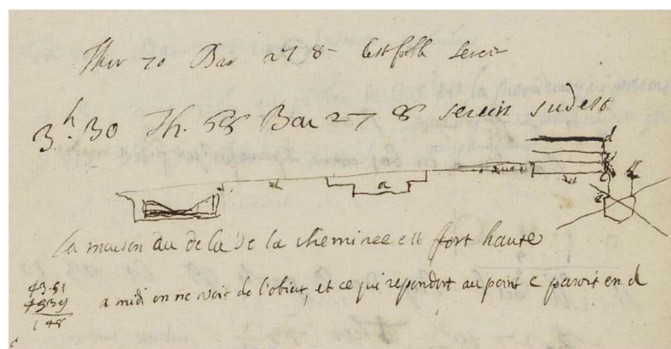


Fig. 8 : Cassini I, *Journal*, 23 juin 1699, D3/18

Le 23 juin 1699 (Fig. 8), à 3h30 du matin, en dessous de relevés de température et de pression et d'une description du ciel, il est noté que « la maison du de la de la (sic) cheminée est fort haute a midi on ne voit de [?], et ce qui repondoit au point c paroît en d ». Le lendemain, à 5h avec une température et une pression notées respectivement « Th 72 Bar 27 » figure le commentaire : « le moulin [?] est bas comme il paroît [?] quelque fois a midy ».

En juillet, avec des relevés systématiques de température et de pression, on trouve le 8 juillet avec l'heure indiquée à 3h35 cette remarque que « le terrain du moulin du costé du [?] et le pied de l'arbre prochain se voit un peu plus haut que le sommet de la cheminée » ; le 23 juillet, vers 3h30, que « le pied du moulin et de l'aube est un plus plus (sic) haut ~~que~~ que l'angle de la muraille » ; le 24, au matin mais sans plus de précision, que « le moulin paroît beaucoup plus haut que d'ordinaire [...] le ciel est couvert tranquille » ; le 26, l'heure notée est 4h45, le ciel est « serein tranquille » et « tout le moulin [est] au dessus de l'angle » ; le 28, Cassini écrit « 4^h19 [...] serein tranquille le moulin

⁵⁰ Instructions à ceux qui travailleront à l'Observatoire par Cassini, D1/13(8). Sur les travaux de Cassini I concernant les réfractions atmosphériques, voir Descamps Pascal, « Les Tables des réfractions astronomiques dans la Connaissance des Temps », <https://cdt.imcce.fr/exhibits/show/les-tables-des-r--fractions-as>

n'est pas si haut que d'ordinaire a la mesme heure », le propos insistant ainsi sur une certaine régularité dans la l'heure des observations ».

En août, du 1^{er} au 6, le 8, le 18, le 26, on retrouve des mentions de hauteurs de moulins (le 6, « Les moulins de montmartre de la mesme façon se voient sous un angle quintuple »), des comparaisons de celles-ci à des points fixes, des durées d'un tour complet de leurs ailes, des descriptions du ciel, des relevés de pressions et températures essentiellement entre 4h et 5h du matin.

Enfin, en septembre, du 5 au 12, il est question de la visibilité des moulins de Villiers, du pied d'un arbre, de relevés de pressions et températures, d'état du ciel, entre environ 5h30 et 6h30 du matin. Le 21 septembre, le journal contient une série de six observations minutieuses d'un même moulin entre 6h et 6h39 du matin comparées à celles réalisées deux mois plus tôt (Fig. 9).

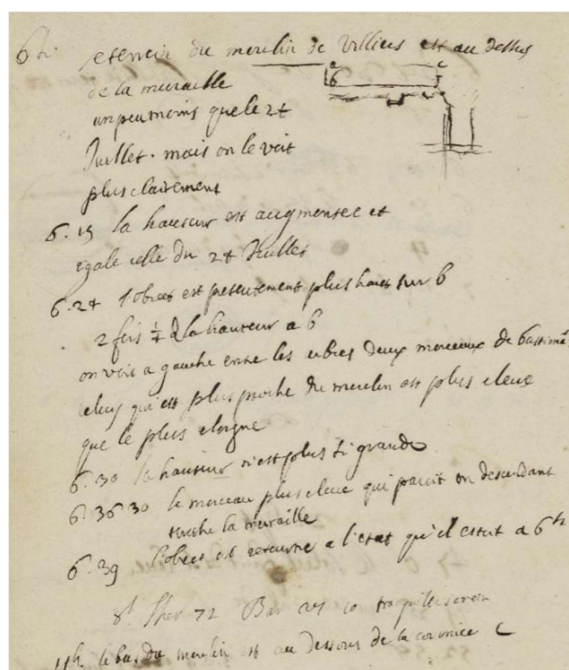


Fig. 9: Cassini I, Journal, 21 septembre 1699, D3/18

Les relevés de températures et de pressions, de même que la description de l'état du ciel, ont un caractère quasi-systématique dans ces journaux, ce qui *a contrario* n'est pas le cas pour des descriptions et mesures angulaires de hauteurs d'objets au-dessus de l'horizon. La juxtaposition de telles données n'est pas sans évoquer le programme de Picard mentionné plus haut.

L'année 1699 donne aussi lieu à d'autres observations et expérimentations liées aux réfractions de la part de Cassini I. Le 8 juillet, il évoque à l'Académie la réfraction atmosphérique, en rapport notamment avec des mesures altimétriques⁵¹, et il est rapporté qu'

« on n'a encore pû découvrir de regle exacte pour cette refraction horizontale. M.^r Cassini a dit qu'il a observé que dans les plus beaux jours de l'été et les plus semblables, elle varie, et qu'elle n'a point de rapport regulier aux variations du Barometre, ny du Thermometre » (RMAS t. 18, 403r).

Les observations ici évoquées ne sont pas sans rappeler le type de travaux menés à l'Observatoire dont témoignent ci-dessus les journaux de l'été 1699.

Lors de cette même séance, Cassini I évoque des expériences que « le P. Malebranche, M.^r Homberg et luy et quelques autres Académiciens ont faite[s] pour découvrir si la Lumiere souffre refraction en passant de l'air dans le vuide » de la machine pneumatique. Ces expériences infirment

⁵¹ Voir la partie précédente.

celles réalisées par des membres de la *Royal Society* qui établissent une réfraction (RMA 1698-1699, t. 18, 8 juillet 1699, 403r-403v ; voir Lowthorp 1700, 339-342), et dont Jacques Cassini présente le contenu à l'Académie : les procès-verbaux contiennent des doutes sur « l'expérience qui pouvoit estre sujette a plusieurs deffauts qui empechoient qu'on ne s'y pust fier », lesquels pourraient « causer la refraction qu'on a attribuée à la difference de milieu » (RMA 1700, t. 19, 125r-125v ; voir J. Cassini 1703, 78-83), et précisent qu'« on a resolu de faire quelqu'autre experience plus sures dans le mesme dessein que l'on avoit eu il y a desja quelque temps », c'est-à-dire en juillet 1699, propos qui n'apparaissent pas dans le mémoire publié de Jacques Cassini. Fontenelle relate, par ailleurs, ce qui correspond manifestement à d'autres expériences de Homberg, dont les résultats confirment ses premières conclusions (Fontenelle 1703b, 112-114)⁵².

Ces éléments expérimentaux, ainsi que les plus grandes réfractions horizontales observées dans le golfe de Botnie en Suède qu'à Paris, alors même que la pression atmosphérique semble identique selon La Hire (La Hire 1703b, 37-38)⁵³, suggèrent l'existence d'une matière non pesante distincte de l'air et susceptible de causer les réfractions : une matière dite « réfractive ». Cette dernière est évoquée par Maraldi (Maraldi 1705, 229-237, en particulier 237) comme une hypothèse de Cassini I, par Fontenelle selon lequel « M. Cassini conjecture qu'il pourrait y avoir dans l'air une *matière réfractive* différente de l'air » (Fontenelle 1707, 101-103), bien que ce dernier ne l'évoque pas explicitement dans le mémoire dont Fontenelle donne le précis. Cassini I aborde la question des variations des hauteurs de l'horizon marin observées par le père Laval à Marseille, et souligne à cette occasion que l'effet de la température de l'air où passe la lumière peut influencer sur sa courbure, constatant alors qu'

« on voit de la même fenêtre & du même point un moulin éloigné, caché en partie derriere un bâtiment proche, quelque fois tout elevé sur le même bâtiment, & quelquefois comme plongé au-dessous & caché entierement » (Cassini 1707, 78-82).

Mais il remarque avant tout, « par la multitude des observations faites par le Père Laval », que :

« la variation des hauteurs apparentes de la mer n'a aucun rapport regulier avec la variation qui s'observe en même temps dans le Thermometre & dans le Barometre ; ce qui semble confirmer ce que nous avons remarqué plusieurs (sic), que la partie de l'air qui cause la refraction est d'une nature differente de la partie à laquelle on attribué la pesanteur qui equilibre la hauteur des liqueurs dans le vuide » (Cassini 1708, 195-197)⁵⁴

L'ensemble de ces travaux académiques, dans lesquels les astronomes de l'Observatoire ont une part active, s'inscrit manifestement dans un programme de recherches relatif aux paramètres qui influent sur les réfractions, programme à l'œuvre dès la fin des années 1660 comme le suggèrent les instructions de Picard de 1669. Les journaux de Cassini I témoignent de ces recherches, et reflètent la difficulté de trouver un « rapport regulier » entre réfractions et variations de température et de pression, pour reprendre la formule de cet astronome, ceci contribuant à introduire une matière indépendante de ces grandeurs physiques.

4. Les instruments météorologiques à l'Observatoire (1671-1719) : caractéristiques, localisations, fabricants

Sur la période 1671-1719, l'Observatoire est doté de deux instruments permettant des relevés pluviométriques, celui de Sédileau et celui de La Hire, ce dernier devenant manifestement le seul en usage à partir de 1693. On relève, par ailleurs, au moins 13 thermomètres dont 4 utilisés de manière certaine pour la seule météorologie (le thermomètre de La Hire, les 3 thermomètres

⁵² Le dispositif décrit diffère de ceux mentionnés dans les RMA du 8 juillet 1699.

⁵³ Sur ces mesures en Suède, voir aussi Cassini 1705.

⁵⁴ Voir Mayrargue 2009, Chassefière 2022.

successifs des Cassini), et au moins 10 baromètres dont 2 utilisés de manière certaine pour la seule météorologie (les baromètres à mercure de Cassini et La Hire).

Ce qui suit donne les caractéristiques des instruments, leurs utilisateurs, leurs localisations, les périodes d'utilisation et leurs fabricants.

4.1 Les thermomètres

La Hire et Cassini I possèdent chacun un thermomètre de Hubin depuis la première moitié de la décennie 1670 (voir ci-dessus section 2.2). Par ailleurs, 2 thermomètres (ainsi que 2 baromètres) ont été achetés sur financement royal à Hubin en 1688, destinés à Sédileau et Cusset pour leurs travaux concernant la pluviométrie (Guiffrey 1891, 125).

L'inventaire réalisé en juillet 1709 à l'occasion du décès de la seconde femme de La Hire indique que ce dernier possède 3 thermomètres (Picolet 2019, 84). L'un de ceux-ci est le thermomètre de Hubin déjà mentionné utilisé pour l'établissement des relevés météorologiques de l'Observatoire jusque dans les années 1750⁵⁵. Le fils de Philippe de La Hire⁵⁶, décrit des expériences destinées à évaluer l'effet du vent sur la température mesurée par des thermomètres et donne à cette occasion des informations sur, manifestement, les deux autres instruments, ces expériences étant réalisées en 1710, peu après l'inventaire après décès. L'un des thermomètres, placé dans le cabinet de travail de son père, est un thermomètre à alcool d'Amontons (La Hire fils 1712, 548)⁵⁷ acquis très probablement après 1704, tout comme le fut celui que Cassini utilise systématiquement à partir d'août 1705 (voir ci-dessus section 2.2). L'autre est un thermomètre de Hubin dont, par comparaison avec celui de Hubin placé dans la tour orientale de l'Observatoire, « la boule étoit beaucoup plus petite & le tuyau fort délié » (La Hire fils 1712, 547) ; ce deuxième thermomètre pourrait être l'un des deux thermomètres achetés en 1688 pour Sédileau et Cusset puisque La Hire s'occupe des relevés des précipitations après sa mort en 1693. Cassini II, qui relate également des expériences similaires, fait mention de deux thermomètres, l'un d'Amontons, qui doit être celui dont son père se sert, l'autre qui dans la cave « se tient à la hauteur de 50 degrés », donc sans aucun doute un thermomètre de Hubin (Cassini 1712, 544-545), qui pourrait être l'autre des deux thermomètres achetés en 1688. Ainsi, vers 1710, il y aurait 5 thermomètres à alcool actifs à l'Observatoire, 3 chez les La Hire (acquis probablement en, ou à partir de, 1670-1676, 1688, 1704), 2 chez les Cassini (acquis probablement en 1688, 1704). Le fils La Hire utilise également pour ses expériences de 1710 un thermomètre à air d'Amontons, servant notamment à l'étalonnage de ses thermomètres à alcool (Amontons 1704, 155-174)⁵⁸, dont il écrit qu'il se trouve « depuis long-tems dans ce même lieu » (La Hire fils 1712, 548), mais qui ne figure pas dans l'inventaire après décès de juillet 1709. Ainsi, il y aurait au début du 18^e siècle au minimum 6 thermomètres actifs à l'Observatoire de Paris.

L'ensemble des caractéristiques (incluant les températures indiquées dans les caves de l'Observatoire, où il fait à l'époque un peu moins de 12°C, et à la congélation de l'eau, donc aux alentours de 0°C) et les différentes localisations des thermomètres mentionnés dans le journal des Cassini I, ainsi que ceux de Mariotte et des La Hire, sont résumées dans le Tableau 1. La manière d'obtenir les caractéristiques des deux thermomètres utilisés par Mariotte au début des années 1670, l'un dans la cave de l'Observatoire, l'autre dans une maison parisienne, a été expliquée (voir section 2.2). Celles de ce que nous dénommons Ther1, Ther2 et Ther3 de Cassini I, et celles du Ther1 de La Hire père ont été estimées par ailleurs (Chassefière 2022b), en se basant sur des comparaisons entre les températures mesurées simultanément par deux ou plusieurs de ces instruments.

⁵⁵ Le thermomètre de La Hire est encore en service en 1753, comme en attestent les observations météorologiques publiées par Fouchy cette année-là, voir Fouchy 1757, 589-590. Lavoisier signale en 1776 que le thermomètre de La Hire « a été brisé, il y a quelques années », voir Lavoisier 1865, 352.

⁵⁶ Qui se prénomme Philippe Gabriel, voir sur ce point Picolet 2019, note 3, 53.

⁵⁷ « un [...] Thermometre a esprit de vin qui est de M. Amontons, & qui est placé dans le Cabinet de mon Père ».

⁵⁸ Sur les thermomètres à air d'Amontons, voir Locqueneux 2015, 115-142.

Les thermomètres de Cassini étaient placés à la fenêtre nord de son cabinet au 1^{er} étage de la tour orientale, tandis que celui de La Hire se trouvait à demeure au 2^{ème} étage de la tour orientale, « hermétiquement scellé contre le mur » en 1694 (Cassini 1797, 351). La tour était découverte, en forme de puits, et le thermomètre était à l'abri du vent et de tout éclairage direct par le soleil. Cassini I rapporte que « comme l'on travailloit à l'élever [le bâtiment de l'Observatoire] je priai Monsieur Perault qui en avoit la conduite de laisser la Tour orientale découverte pour y pouvoir faire des observations méridiennes des astres qui passent proches du Zenit »⁵⁹. La Hire utilisa par la suite cette particularité, dont le but était à l'origine de servir l'astronomie, pour installer des instruments météorologiques à ciel ouvert (pluviomètre et son thermomètre) (La Hire 1703a, 6-7).

Nous avons mentionné l'achat en 1688 de deux thermomètres de Hubin, dont on peut raisonnablement penser que l'un d'entre eux est allé ultérieurement à La Hire, l'autre à Cassini. Nous avons également noté que, le 21 janvier 1704, deux thermomètres d'Amontons sont présents chez Cassini (Journal D3/21). On déduit des mesures montrées dans la Figure 5, à savoir celles effectuées à la fenêtre du cabinet de Cassini et celles faites le lendemain dans les caves, les valeurs reportées dans le Tableau 1. L'incertitude sur les températures de congélation de l'eau relatives à ces deux thermomètres résulte ici directement de celle relative au thermomètre de Hubin de Cassini. Le troisième thermomètre de Cassini (Ther3) est un thermomètre d'Amontons positionné au voisinage du thermomètre de Hubin (Ther2) à partir du 8 juillet 1704. La mention « dgre de chaud » (degré de chaud) qui précède dans le journal la température mesurée sur ce deuxième thermomètre fait classiquement référence à l'échelle montante des thermomètres d'Amontons (Amontons 1705, 52). À partir de cette date, les relevés simultanés des deux thermomètres pendant plus d'un an, permettent par corrélation entre les deux séries d'estimer directement les températures de référence du thermomètre d'Amontons (Chassefière 2022b). On remarque que les températures de référence de ce thermomètre diffèrent significativement de celles des deux thermomètres d'Amontons présents chez Cassini le 21 janvier 1704, démontrant que Ther3 n'est aucun de ces deux thermomètres. La Hire évoque également en 1710 (La Hire 1712a, 141-142) un thermomètre d'Amontons, peut-être celui dont parle son fils la même année (voir ci-dessus). Ce thermomètre a été placé un certain temps au voisinage du thermomètre de la tour orientale, et les valeurs mesurées simultanément sur les deux instruments conduisent aux valeurs de référence indiquées pour le Ther2 de La Hire (Tableau 1)⁶⁰. Le troisième thermomètre de La Hire et le quatrième de Cassini sont tous deux mentionnés par le fils La Hire et le fils Cassini dans leurs mémoires de 1710 cités ci-dessus, et datent de 1688, si du moins ils sont bien les mêmes que ceux achetés cette année-là pour Sédileau et Cusset. Cassini II évoque une valeur de 50 degrés dans la cave (Cassini 1712, 544-545), mais il est possible qu'il fasse référence à la valeur canonique de la température de la cave sur les thermomètres de Hubin, sans l'avoir effectivement mesurée.

Les astronomes complètent cette série d'instruments par d'autres en fonction de circonstances météorologiques particulières, notamment l'occurrence de grands froids. Ainsi, le 20 janvier 1716, la température commence à chuter, tombant à 7 heures du matin sur le thermomètre d'Amontons de Cassini I à 50 p [pouces] 8 l [lignes], soit -7°C. Le lendemain, à 8 heures du matin, elle est de 49 p 6 l, soit -13,5°C, et le 21 janvier à la même heure de 49 p 6 l, soit -18°C (Journal D3/29). Les minima fournis par La Hire, reportés dans le journal d'observation, sont du même ordre (La Hire 1719, 3). On décide de renforcer le dispositif de mesure de la température par d'autres thermomètres, au nombre de trois, qui sont placés autour du thermomètre de Cassini, le « nouveau thermomètre doré », dit le « Doré », et deux thermomètres d'Amontons qu'on a envoyé chercher chez le fabricant d'instruments Henry Macquart (Journal D3/29, 22 janvier 1716)⁶¹, dénommés le

⁵⁹ Cassini I, « Ecrits de Mr Cassini sur les instruments et les opérations qu'il fit faire avant de s'établir à l'Observatoire et au commencement de son établissement », Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, D1/13 (10).

⁶⁰ La Hire évoque une non-linéarité qu'il attribue à « l'inégalité de l'intérieur des tuyaux », c'est-à-dire une variation de leur diamètre induisant une variation du niveau de la liqueur. La Hire 1712a, 142.

⁶¹ Voir Journal D3/29, 22 janvier 1716 : « Nous avons envoyé querir deux autres Thermometres de M. Amontons chez M. Macquart ».

« Grand » qui « marque le degré de chaleur de l'eau bouillante »⁶² et le « Blanc », « dont l'esprit de vin n'est point coloré » (*ibid.*). Jusqu'au 23 décembre 1716, les températures sur les 4 thermomètres sont systématiquement relevées (un exemple d'extrait est fourni sur la Fig. 10), à la suite de quoi le « Grand » disparaît, ceci jusqu'à la fin décembre 1718, après quoi le « Doré » disparaît à son tour, le « Blanc » demeurant à la fenêtre de Cassini II jusqu'au 23 juillet 1721.

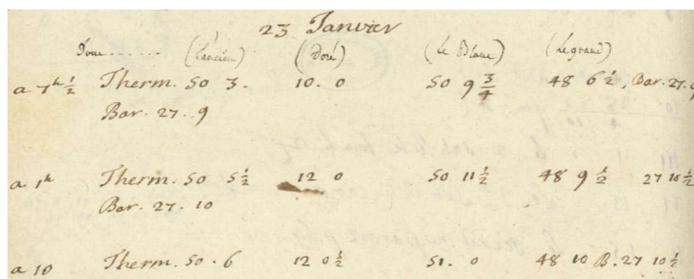


Fig. 10: Cassini II, Journal, 23 janvier 1716, D3/29

Nous avons corrélé, à compter du 24 janvier et sur toute l'année 1716, les séries des thermomètres « Doré », « Blanc » et « Grand » avec celle du thermomètre de Cassini. Le Tableau 1 contient les valeurs des températures de référence obtenues à partir des corrélations globales, sans introduire une prise en compte explicite des non-linéarités quand il y en a⁶³. On remarque que le « Doré » présente une forte ressemblance avec le thermomètre de Hubin de La Hire, avec la même température dans la cave (48), et une température à la congélation à peine plus basse (27).

| Ref Ther/ Opérateur | Date ou période | Lieu | Type | Temp. cave (11,8°C) | Temp. congélation (0°C) |
|-------------------------------------|--------------------|--|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Ther1 Mariotte | 1670-1672 | Cave | Hubin | 53 ^I | |
| Ther2 Mariotte | 1674-1677 | Paris | Hubin | 56,5±2 ^{II} | 25±1,5 ^{II} |
| Ther1 Cassini I | 1671 - >1673 | Fenêtre nord de la tour orientale, 1 ^{er} étage | ? | 97,5±2 ^{III} | 64±1,5 ^{III} |
| Ther1 La Hire | 1669 - >1754 | Tour orientale, 2 ^{ème} étage (découvert) | Hubin | 48 ^I | 31±1 ^I |
| Ther2 Cassini I | [1670-1676] - 1705 | Fenêtre nord Tour orientale 1 ^{er} étage | Hubin | 55±0,5 ^I | 22±3 ^{III} |
| 2 thermomètres Sédileau / Cusset | 1688 | | Hubin | | |
| 1 thermomètre chez Cassini | 21-22/01/1704 | Fenêtre puis cave | Amontons | 54,0 ^I | 52,3±0,15 ^{IV} |
| 1 autre thermomètre chez Cassini | 21-22/01/1704 | Fenêtre puis cave | Amontons | 53,7 ^I | 52,3±0,15 ^{IV} |
| Ther3 Cassini | 08/07/1704 - 1732 | Fenêtre nord Tour orientale 1 ^{er} étage | Amontons | 53,95±0,05 ^{III} | 52±0,15 ^{III} |
| Ther2 La Hire | 1704 (?) - 1710 | Cabinet de La Hire | Amontons | 53,9 ^V | 51,85 ^V |
| Ther3 La Hire ⁶ | 1688 (?) - 1710 | | Hubin | | |
| Ther4 Cassini ⁶ | 1688 (?) - 1710 | | Hubin | | |
| Ther Blanc Cassini | 1716-1721 | Fenêtre nord Tour orientale 1 ^{er} étage | Amontons/ Macquart | 53,7±0,0 ^{VII} | 52,15±0,15 ^{VII} |

⁶² Il doit s'agir d'un thermomètre à air d'Amontons, voir Amontons 1704. Cet instrument était de grande dimension, mesurant 4 pieds de long, voir Deluc 1772, 277.

⁶³ Autant les corrélations Ther3/« Blanc » et Ther3/« Doré » sont excellentes, avec un alignement des points quasi-parfait (avec néanmoins une légère non-linéarité du « Doré » aux températures supérieures à 20°C et inférieures à -5°C), autant la corrélation Ther2/« Grand » fait apparaître des non-linéarités significatives au-dessus de 15°C et au-dessous de 0°C, signalant une possible non cylindricité aux extrémités des tubes utilisés.

| | | | | | |
|---------------------------|-----------|------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| <i>Ther Grand Cassini</i> | 1716 | <i>id.</i> | <i>Amontons/ Macquart</i> | 53,25±0,05 ^{VI} | 50,9±0,2 ^{VII} |
| <i>Ther Doré Cassini</i> | 1716-1718 | <i>id.</i> | <i>Hubin</i> | 48±1 ^{VI} | 27±2 ^{VII} |

^I Valeur mesurée.

^{II} Valeur déduite de la corrélation avec les températures mesurées par Morin.

^{III} Cf Chassefière 2022b.

^{IV} Valeur déduite de la comparaison avec les températures mesurées par Ther2 Cassini.

^V Valeur déduite de la comparaison avec les températures mesurées par Ther1 La Hire.

^{VI} Probablement l'un des deux thermomètres achetés en 1688 pour l'Observatoire de Paris.

^{VII} Valeur déduite de la corrélation avec les températures mesurées par Ther3 Cassini.

Tableau 1 : Caractéristiques des thermomètres rencontrés à l'Observatoire de Paris. Les lignes en italiques se rapportent à des thermomètres qui n'ont été à l'Observatoire que de façon épisodique.

4.2 Les baromètres

L'inventaire après décès de 1709 cité plus haut fait apparaître 3 baromètres appartenant à La Hire père (Picolet 2019, 84). Celui dont il se sert pour ses relevés publiés annuellement dans les volumes de l'HARS est un baromètre simple à mercure « placé à la hauteur de la grande Sale de l'Observatoire » (La Hire 1714a, 3), aujourd'hui appelée salle Cassini. La Hire précise souvent dans ses comptes rendus que le mercure adhère un peu au tuyau et qu'il faut imprimer un léger choc au baromètre avant la mesure pour « faire couler le mercure à sa vraie hauteur » (par ex. voir La Hire 1714b, 4), l'erreur si on oublie de le faire pouvant atteindre 1/2 ligne, soit 1 mm. La Hire a également repris le baromètre de Picard, après sa mort en octobre 1682 (RMAS t. 9, 199r)⁶⁴, instrument dans lequel le mercure se tient entre 3 lignes (La Hire 1714c, 3) et 3,5 lignes (par ex. voir RMAS 1705, t. 24, 266r.) plus haut, soit à peu près 7 mm, que dans le baromètre qui lui sert à ses relevés quotidiens⁶⁵. Le troisième baromètre pourrait être l'un des deux achetés en 1688 à Hubin pour le suivi météorologique.

Cassini I effectue quotidiennement des relevés de température et de pression, l'un n'allant généralement pas sans l'autre. On apprend dans son journal qu'il transporte un baromètre à l'Observatoire le 24 septembre 1671, peu après qu'il s'y soit installé (Journal D1/1, 24 septembre 1671). Dès le lendemain, il descend à la cave où, dit-il, un baromètre est placé en permanence. Le 3 janvier 1673, il installe dans son cabinet un nouveau baromètre plus sensible, dit « rectangle », dont une branche est verticale, l'autre horizontale (Journal D1/4, 3 janvier 1673), instrument de son invention comme le mentionne Louis Deluc⁶⁶. Quelques valeurs sont reportées dans les jours qui suivent, mais les relevés du thermomètre rectangle ne se poursuivent pas au-delà. Le 22 janvier, Cassini I descend dans les caves avec Christian Huygens et Mariotte, y transportant son baromètre ainsi que le baromètre double de Huygens (*ibid.*)⁶⁷. Le baromètre double indique une variation de 1 pouce 4 lignes, soit 16 lignes, à comparer à l'élévation de 2,16 lignes du baromètre de Cassini, la sensibilité étant donc (théoriquement) multipliée par presque 8.

Dix ans plus tard, le 2 août 1683 (Wolf 1902, 103), Cassini I positionne dans le puits (le vide cylindrique au milieu de l'escalier qui conduit aux caves, voir Wolf 1902, 53) un baromètre à eau (qui nécessite une hauteur d'eau moins 10 mètres d'eau, valeur équilibrant la pression atmosphérique), que Mariotte utilise peu après pour déduire d'une comparaison avec les mesures

⁶⁴ Parmi la liste des instruments de Picard « mis entre les mains » de La Hire, figure « un Barometre a demy vuide ».

⁶⁵ Le baromètre de Picard est le baromètre simple sur lequel, en 1675, il découvrit le phénomène nommé à l'époque « phosphore mercuriel », à savoir la lueur d'origine électrique provoquée par le frottement du mercure contre la paroi de verre du tuyau (Picard 1677).

⁶⁶ Le baromètre « rectangle » est aussi dit « en équerre », Deluc 1772, 22. La branche horizontale, ouverte sur l'air extérieur et de section plus petite que la branche verticale, joue le rôle du réservoir de mercure, l'interface entre l'air et le mercure se déplaçant dans cette branche en raison multipliée (par le rapport des sections) du déplacement de la surface du mercure dans la branche verticale.

⁶⁷ Le principe du baromètre double, hérité d'une idée de Descartes, est de prolonger, dans une configuration en U, le réservoir de mercure par un tube vertical fin ouvert à son sommet, rempli dans sa partie supérieure d'une liqueur (l'esprit de vin) par l'intermédiaire de laquelle l'air extérieur presse sur le mercure. Voir Deluc 1772, 14-21.

du baromètre à mercure le rapport des poids spécifiques du mercure et de l'eau, à savoir 13,5 (RMAS t. 11, 10r.)⁶⁸. L'année suivante apparaît dans les RMAS à la date du 29 avril 1684, une question relative à un baromètre dont on a bouché le haut du tube contenant le mercure, et qui cependant semble présenter des variations identiques aux autres baromètres (Journal D3/1). La Hire découvre que le baromètre n'est pas convenablement bouché, après quoi il le scelle parfaitement et constate qu'il affiche un moindre niveau au pied des tours de Notre Dame qu'à leur sommet, contrairement à ce qui se passerait pour un baromètre normal, et que cela signifie que la température est plus faible en bas, le mercure s'y dilatant moins (RMAS t. 11, 14 juin 1684, 72v.). Ce baromètre « scellé » est testé à l'Observatoire entre le 22 juin et le 2 juillet 1684 par Cassini I, comme il le détaille dans son journal, nous apprenant notamment qu'il est de Hubin (Journal D3/2A-B, 22 juin 1684)⁶⁹. Le 23 juin, les baromètres sont testés en différents lieux, montrant la qualité de thermomètre du baromètre « scellé » (Figure 11).

9h. 12 le Barometre commun 28 1 $\frac{1}{2}$
 le Sele 27.6
 le Thermometre 79
 9h. 30 sur la Terrasse
 le Barometre commun 28.0 $\frac{2}{3}$
 le Sele n'a rien fait a l'ombre
 et n'y au Soleil 27.11
 le Thermometre commun 90.
 Haut de la Tour de la Cour
 le Barometre commun 28 1 $\frac{1}{2}$
 9h. 45 dans la Cave
 le Barometre commun 28 2 $\frac{1}{2}$
 le Sele 27 1
 le Thermometre commun de l'Observatoire

Fig. 11 : Jean-Dominique Cassini, Journal, D3/2A-B, 23 juin 1684

Le 2 juillet 1684, Cassini écrit aller avec La Hire à Versailles rendre compte à Louvois du résultat de leurs expériences sur le baromètre « scellé » (Journal D3/2A-B, 2 juillet 1684)⁷⁰. La valeur indiquée par ce baromètre, systématiquement mesurée avec celles de la température et de la pression jusqu'en août 1685, est toujours placée dans le journal au-dessous de la valeur de la température, signifiant que la grandeur mesurée avec le « scellée » doit être comprise comme une température.

Le 29 octobre 1702, Cassini I note dans son journal « Le Bar de M^r amontons 1 pouce au dessous de la marque ordinaire » (Journal D3/21), ce qui prouve la présence d'un baromètre d'Amontons à l'Observatoire. Il s'agit probablement du baromètre double dont Cassini I relève à deux reprises en juin de l'année suivante, le 18 et le 27, la valeur dans la cave (Journal D3/21). Amontons s'est intéressé de près au baromètre double (Amontons 1706, 164-172), dont l'utilisation nécessite la mesure simultanée de la température, l'esprit de vin se dilatant beaucoup plus que le mercure avec la chaleur, ce qui nécessite une correction de la valeur indiquée par l'instrument. Ce baromètre double mentionné par Cassini I pourrait être, tout comme les thermomètres

⁶⁸ « Le Samedy 21^e d'Aout 1683. La compagnie estant assemblée, Mr Mariotte a fait son rapport de ce qu'il a observé que dans le grand barometre d'eau qui est a l'observatoire l'eau estoit elevée de 31 pieds 4 pouces et le vif argent 28 pouces, en sorte qu'il y auroit une proportion de l'un à l'autre comme d'un a 13 $\frac{1}{2}$ ».

⁶⁹ Le baromètre « scellé » est soumis à de nombreux tests : application et retrait de la main, passages sur la terrasse et dans les caves avec les autres instruments météorologiques, mise au soleil puis à l'ombre, immersion dans l'eau et retrait hors de l'eau.

⁷⁰ Journal D3/2A-B, 2 juillet 1684 : « je fus a Versaille avec m^r de la Hire pour rendre compte a monseg. de Louvois des effets du Barometre bouche ».

d'Amontons qui apparaissent dans le journal en 1704, un prototype placé à l'Observatoire pour en tester le fonctionnement.

Les baromètres ayant séjourné à l'Observatoire qui apparaissent dans le journal des Cassini, les RMAS ou les MARS sont répertoriés dans le Tableau 2.

| Ref Ther/ Opérateur | Date ou période | Lieu | Type/ Fabricant | Commentaire |
|--------------------------------------|-------------------------|--|--------------------|---|
| Baromètre permanent Bar1 Cassini | >1670-1671 | Cave | Simple/ ? | Mentionné par Cassini |
| Bar Huygens | >1671 | Fenêtre nord, tour orientale, 1 ^{er} étage Fenêtre puis cave | Simple/ ? | Transporté depuis un appartement parisien Sensibilité multipliée par 8 par rapport au baromètre simple |
| Bar2 Cassini | > 03/01/1673 | ? | Rectangle/ Cassini | |
| Bar1 La Hire | > 1682 (mort de Picard) | | | Baromètre hérité de Picard (datant d'avant 1675) |
| Bar3 Cassini | > 02/08/1683 | Puits de la cave | À eau/ Cassini | |
| Baromètre bouché | 1684-1685 | Fenêtre nord, tour orientale, 1 ^{er} étage | Simple/ Hubin | Scellé par La Hire |
| 2 baromètres pour Sédileau et Cusset | 1688 | | Simple/ Hubin | |
| Bar2 La Hire | >1696 | Grande salle | Simple/ Hubin | Probablement l'un des 2 baromètres achetés à Hubin en 1688 |
| Bar3 La Hire | | | | Peut-être l'autre baromètre acheté en 1688 |
| Baromètre double | >1702 | Cave | Double/ Amontons | |

Tableau 2 : Liste des baromètres identifiés comme ayant séjourné à l'Observatoire.

5. L'Observatoire de Paris et la météorologie : réseaux savants et missions

Cette partie repose sur des publications académiques, des comptes rendus et lettres d'expéditions scientifiques articulées aux journaux d'observations parisiens. Son enjeu est de montrer les raisons apportées aux observations météorologiques, complétant ainsi les causes de l'activité météorologique à l'Observatoire évoquées ci-dessus. Il s'agit aussi d'examiner comment cette institution s'insère dans des réseaux de mesures et d'observations sur un temps long et à une grande échelle, d'étudier son rôle moteur dans l'établissement de normes relatives aux instruments et à leur utilisation lors de missions à l'étranger, dans la centralisation de données.

5.1 Publications académiques

Avant toute chose, rappelons que les volumes de l'HARS témoignent d'observations météorologiques quotidiennes de La Hire pour lesquelles on ne dispose pas de manuscrits, observations réalisées simultanément à la tenue des journaux d'observations évoqués jusqu'à présent ; l'ensemble de ces sources témoigne de l'importance quantitative des données enregistrées à l'Observatoire. L'examen de ces relevés, des contributions académiques de Fontenelle et de Maraldi, montrent la diversité des causes à l'origine de ces publications, qui peuvent être de nature économique, scientifique, dans ce dernier cas concernant l'origine des rivières, ou encore l'établissement de règles prédictives corrélant pression, vent, température et état du ciel. Ces écrits révèlent une conscience aiguë de la nécessité d'observations sur des espaces et des temps vastes, et sur la coordinations d'observateurs. Ils dessinent aussi les contours de théories divergentes au sein de l'Académie, voire de l'Observatoire, sur les causes physiques des variations barométriques.

Fontenelle, La Hire, et les « observations météorologiques » annuelles

La série des volumes de l'HARS contient des observations météorologiques publiées annuellement à partir de l'HARS 1700 comprenant des relevés barométriques, thermométriques et pluviométriques, ainsi que des indications sur les directions des vents réalisés par La Hire jusqu'à son décès⁷¹. À l'origine de ces publications, Fontenelle évoque le caractère « bizarre » des « changemens qui arrivent dans cette grande masse d'air », caractère accentué faute d'observateurs qui s'appliquent « assez long-temps » et « assez soigneusement » pour y « découvrir de la régularité ». Si cette dernière existe, la découvrir requiert « une longue suite d'observations » accompagnées par « plusieurs comparaisons d'observations faites en differens lieux » ; il faut alors « tenir un Registre exact du vent qui souffle chaque jour, de sa force & de sa durée, de la quantité de pluie qui tombe, & de l'état où est le Barometre » (Fontenelle 1732, 20). Les « observations » de La Hire rendent compte de la manière dont a été « distribuée » mensuellement la pluie durant une année, du « rapport » entre la pression et l'état du ciel, et « jusqu'à quels degrés ont été le plus grand chaud & le plus grand froid ». Ceci permet des « conjectures » sur les causes de la production agricole annuelle, lesquelles sont mieux fondées sur un temps long. Seule « une longue suite d'observations » permet de connaître les ordres de grandeurs, les « bornes », les « limites » des différentes mesures météorologiques. La quantité d'eau tombée permet aussi de « decide[r] » la question de l'origine des rivières (Fontenelle 1703a, 2).

La Hire note que la motivation initiale de ses relevés pluviométriques concerne « l'origine des Fontaines », et que « comme on est persuadé par la plus grande partie des observations qu'il ne pleut ordinairement que lorsque l'air devient plus leger, ce qu'on connoît par la descente du mercure dans le tuyau du Barometre », il a joint aux observations sur la pluie celles des pressions, elles-mêmes associées aux températures « pour connoître quel a été le degré de chaleur ou de froid lorsque la pluie a été plus ou moins abondante » (La Hire 1706a, 1-2)⁷². Outre des totaux de précipitations de chaque mois par année, ses mémoires contiennent aussi des valeurs de pression qui correspondent aux maxima et minima pour une année, lesquelles peuvent être associées à des indications sur l'orientation du vent et sur la température de l'air, des descriptions de l'évolution du thermomètre au fil des mois accompagnées de valeurs extrémales (à titre d'exemples, voir La Hire 1703a, 6-9 ; La Hire 1704, 9-11). Les MARS 1705 précisent pour chaque mois de 1704 la direction du vent, les variations du baromètre donnant lieu à des réflexions sur leurs origines associées chez La Hire aux vents ; ces publications témoignent alors de l'existence de questions théoriques sous-jacentes, ou bien qui les nourrissent (La Hire 1706b, 3-4)⁷³. Les MARS 1708 suggèrent « qu'on ne [peut] pas tirer une grande utilité des observations continuelles du thermometre & du barometre, & de la quantité de pluie qui tombe chaque année dans un même lieu », tout en annonçant poursuivre de tels relevés « pour faire une comparaison exacte » avec les mesures passées et actuelles, et ce en divers endroits : ceci révèle les différences pour une même saison en différentes années et « ce qu'on peut juger de la fertilité de la terre par rapport à la pluie ou à la sécheresse ; & enfin quelle confiance on peut avoir aux prédictions du Barometre pour la pluie & pour le beau-tems » (La Hire 1709, 60-61).

Maraldi et La Hire : réseaux, relevés barométriques et « règles »

Les observations réalisées au tournant des 17^e et 18^e siècles à Paris inscrivent l'Observatoire dans un ensemble de pratiques qui reflètent le souci d'établir des corrélations, des parallèles et règles météorologiques (Feldman 1990, 143-177 ; Bourguet et Licoppe 1997, 1136).

Lors de la séance à l'Académie du 22 juillet 1699, Maraldi donne lecture d'une comparaison entre « les observations que Mr Villiam Derham a faites sur les vents et sur le Barometre dans la ville de Upminster en Angleterre pendant les années 1697 et 1698 » et les mesures faites en même temps à l'Observatoire de Paris, compte rendu repris par Fontenelle dans l'HARS 1699 (RMAS 22

⁷¹ Notons que Fontenelle 1732 contient des données pluviométriques de La Hire pour la période 1689-1694.

⁷² La Hire 1706a, 1-2. Le titre du mémoire peut suggérer cette primauté accordée originellement aux précipitations.

⁷³ La Hire 1706b, 3-4. Voir aussi ces descriptions mensuelles de l'orientation des vents pour les MARS 1707.

juillet 1699, t. 18, 436v-437v.)⁷⁴. Fontenelle justifie le besoin de couverture spatiale des observations, en sus de la couverture temporelle, par la possibilité qu'il y ait « quelques compensations, ou quelques échanges de beau & de mauvais temps, entre différentes parties de la Terre » (Fontenelle 1732, 20-22).

C'est manifestement à Richard Townley que l'on doit, dans le *post-scriptum* d'un article de 1694 décrivant ses mesures mensuelles de précipitations à Townley entre 1677 et 1693, la première mention de variations comparées du baromètre en des lieux distants, Londres et Townley, grâce aux observations de la pression atmosphérique sur un mois complet qui lui ont été communiquées par John Flamsteed ; ces observations montrent un parallélisme quasi-parfait, et Townley écrit « I should be very glad to know wether the like Agreement has been observed in France, or other remoter Parts, betwixt their height of *Mercury* and that of *London* » (Townley 1694, 56-57). Derham confirme en 1703 le parallélisme des variations, sans que les amplitudes soient en parfait accord, entre Londres et Townley (Derham 1704, 1443-1448). Deux ans plus tard, se référant aux travaux de Maraldi, Derham cite un passage de Fontenelle explicitant la similarité des variations du baromètre des deux côtés de la Manche (Derham 1706, 1878-1881)⁷⁵. L'idée de corrélation, ou d'anti-corrélation, des temps qu'il fait en différents lieux distants, du point de vue de la quantité de pluie ou de la pression atmosphérique, apparaît chez Halley qui postule dans les *Philosophical transactions* de 1686 que les variations de pression sont occasionnées par les vents soufflant d'une région à l'autre, et leurs interactions, et que ce sont ces variations de pression qui conditionnent l'occurrence de la pluie (Halley 1688, 104-116)⁷⁶. Cette hypothèse jouerait alors pour une part importante dans le dessein qui se fait jour dans la décennie 1690 de mesures en réseau de la pression atmosphérique, du vent et de la pluie, tout d'abord dans la communauté anglaise, puis à sa suite à l'Académie des sciences à l'aide notamment de relevés faits à l'Observatoire.

Ces observations et leurs comparaisons conduisent à l'énoncé de quatre conclusions qui mettent en relation la direction des vents, les chutes de neige, l'ensoleillement, la pluie avec les variations du niveau du mercure. La dernière stipule que lorsque le niveau du mercure baisse et qu'entre les deux villes de Paris et Upminster il pleut dans l'une et fait beau temps dans l'autre « le mercure a souvent baissé a proportion dans celle où il a plu » ; lorsqu'il se hausse dans les deux villes, « il est monté plus haut à proportion dans celle où il fait beau temps ». Enfin, le niveau augmente (diminue) dans l'une quand il a augmenté (diminué) dans l'autre, soit que le vent et le temps aient été les mêmes ou non (Fontenelle 1732, 21-22).

Maraldi multiplie de telles comparaisons en confrontant les relevés barométriques conjoints aux observations sur les directions des vents effectués quotidiennement à l'Observatoire avec d'autres réalisés les mêmes jours à Gênes, puis à Marseille et Zurich (Maraldi 1711, 233-246). Il s'appuie alors sur trois années (1706-1708) d'observations envoyées par un correspondant italien (le marquis Salvago) depuis Gênes, qu'il met en parallèle avec des relevés simultanés à Paris ; la Fig. 12 donne des extraits des journaux d'observations dont sont manifestement tirées les données publiées dans les MARS 1709 mises en regard.

⁷⁴ Pour les mesures de Derham, voir Derham 1699, 45-48 et Derham 1700, 45-46.

⁷⁵ Voir Fontenelle 1732, 21 : « il y a un grand accord entre la variation de la hauteur du barometre observée à Paris, & à Upminster [...] quoique ces variations ne soient pas toujours égales ».

⁷⁶ Sur la théorie d'Halley, voir Golinski 2007, 117-118 ; Frisinger 1983, 123-125.

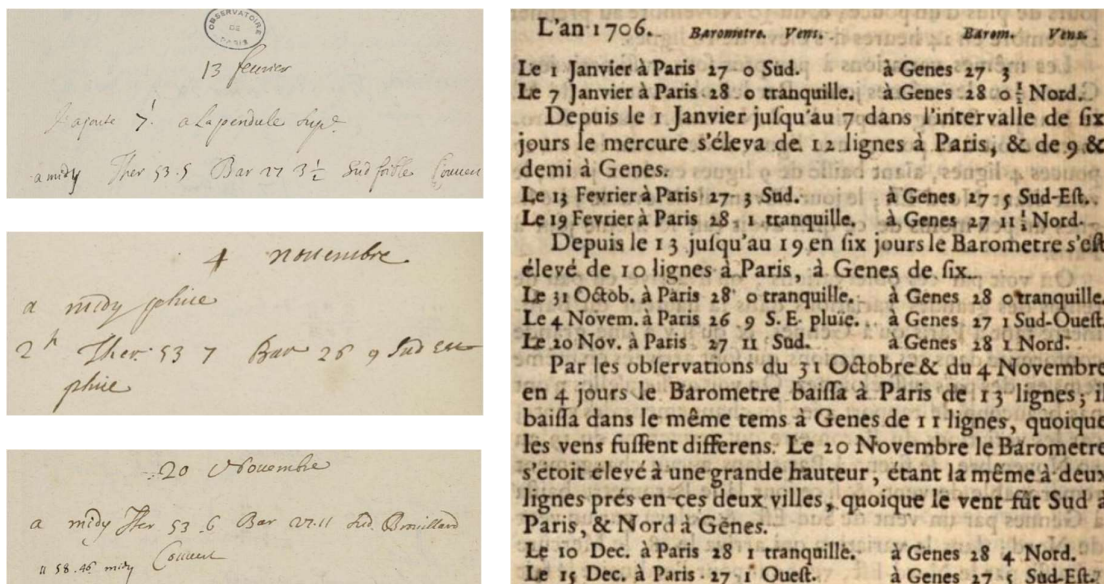


Fig. 12 : Journaux d'observation, D3/23 et D3/24, Extraits des 13 février, 4 et 20 novembre 1706 ; Maraldi, « Comparaison des Observations du Barometre », MARS 1709 (1711), p. 236

Maraldi note le parallélisme des variations de pression et conclut « par toutes ces observations & par beaucoup d'autres » qu'« il y a un grand accord dans les variations qui arrivent en même tems au Barometre à Paris & à Genes, soit que ces changemens soient prompts & subits [...] soit que ces changemens se fassent plus lentement ». Il ajoute, par ailleurs, que « cette correspondance des changemens du Barometre paroît n'avoir pas beaucoup de rapport avec la constitution de l'air, ni avec les vens qui regnent en même tems en differens païs ; car le mercure s'éleve à Genes lorsqu'il s'éleve à Paris, & il baisse de même, soit qu'en ces deux villes il y ait la même constitution d'air ou qu'il y regne le même vent, ce qui est fort rare ; soit que l'un & l'autre soient differens » (Maraldi 1711, 238, voir aussi Fontenelle 1711, 3-6). Il souligne aussi que les comparaisons entre Paris, Upminster, Gènes et Marseille suggèrent que les différences entre extrema des pressions dans un lieu donné sont plus grandes lorsque la latitude du lieu augmente, les mesures réalisées à Zurich entre 1706 et 1708 par Johann Jakob Scheuchzer infirmant cette « règle ». Maraldi précise alors que « les lieux d'observations où cette règle se trouve, sont situez à des hauteurs peu differentes les unes des autres, & sont peu élevez sur la surface de la mer [...] Mais il n'en est pas de même des observations de Zurich dont les observations ne sont pas conformes à cette règle » (Maraldi 1711, 239-240).

La Hire inscrit aussi ses « observations météorologiques » dans un réseau de comparaisons avec d'autres réalisées aux environs de Saint-Malo et à Lyon en 1704, 1705, 1707, 1708, précisant aussi pour Saint-Malo et Paris les directions mensuelles des vens associés aux précipitations (La Hire 1706c, p. 5-7 ; La Hire 1707a, 6-11 ; La Hire 1707b, 11-12 ; La Hire 1711a, 5-7 ; La Hire 1711b, 8 ; La Hire 1712b, 143-155)⁷⁷. Dans les MARS 1710, 1711, 1712 apparaissent aussi des relevés barométriques, pluviométriques et thermométriques de Scheuchzer, duquel La Hire précise avoir reçu des observations. Ainsi, pour l'année 1709, La Hire examine des pressions mesurées à Paris et à Zurich les mêmes jours, remarquant que les valeurs maximales se produisent aux mêmes moments, ce qui n'est pas le cas des minimales, et que la même valeur la plus basse à Zurich obtenue les 20 et 28 février comparée aux relevés à Paris ces jours-là révèle des différences de pression inégales : tout en précisant ne pas connaître l'heure des mesures en Suisse, La Hire évoque des « causes particulières » pour de telles inégalités qu'il attribue à la nature physique des lieux. Il écrit, par ailleurs, ne pas pouvoir réaliser des comparaisons de thermomètres puisque le sien et le

⁷⁷ On relèvera aussi dans Fontenelle 1732, 22 des mesures pluviométriques de 1685 à 1694 réalisées à Lille par le marquis de Vauban, envoyées à l'Académie et que La Hire compare à ses relevés à Paris.

thermomètre d'Amontons utilisé par son correspondant n'ont pas été « rectifiez l'un sur l'autre » (La Hire 1712c, 155-158)⁷⁸.

Les mémoires des MARS 1716 à 1718 tiennent du bilan des observations réalisées sur plusieurs années. Les MARS 1705 contenaient déjà des réflexions sur les corrélations entre les variations de pression et les directions des vents : partant du constat que les pressions sont moins élevées aux niveaux des Tropiques, La Hire attribue à l'atmosphère la forme d'un sphéroïde de même axe que celui de rotation de la Terre, et si « le même vent regne dans toute la masse de l'air & qu'il vienne du midy, il abaissera la hauteur de l'atmosphère dans ces pays-ci ; & au contraire s'il vient du Septentrion, il l'élèvera. Mais aussi comme les vents du Midy nous apportent de la pluie, il s'ensuivra qu'il doit pleuvoir quand l'air paroîtra plus léger ; tout le contraire arrivera de l'autre côté ». Le savant reconnaissait toutefois que si le vent du midi ne circule qu'au niveau de la surface du sol, tandis qu'un vent du nord règne dans la partie supérieure de l'atmosphère, il pourrait pleuvoir bien que la pression soit haute ; il écrivait ne pouvoir « conclure des vents qui ont régné dans les plus grandes ou moindre hauteurs du barometre [...] puisque nous ne pouvons observer que les vents qui sont sur la surface de la terre », s'en tenant à cette seule remarque tirée de ses observations d'une absence de pluie pour une pression élevée, et inversement, pour des vents du nord ou du sud-ouest (La Hire 1706b, 3-4). Quelques années plus tard, La Hire écrit que le baromètre peut servir à prévoir « à peu près » les changements de temps sans qu'on puisse pourtant trop s'en assurer, mais

« en general lorsque le Mercure est bas, il doit faire de la pluye, & quand il est haut il doit faire beau temps, quoi-que l'air soit alors bien plus pesant que quand il est bas. Je suis persuadé que le temps serein ou pluvieux ne dépend pas de la pesanteur ou de la legereté de l'air, mais que cela ne vient que du vent [...] de ces vents qui viennent de loin & de haut du Septentrion & du Midi, & non pas de ceux qui s'engendrent sur la surface de la Terre ; car le Soleil élevant plus de vapeurs dans les pays Meridionaux que dans les Septentrionaux, les vents Méridionaux nous doivent donner plus souvent de la pluye que les Septentrionaux. Et comme nous sçavons par toutes les Observations qui ont été faites vers le Septentrion que l'Atmosphère y est plus élevée que vers l'Equateur, il doit arriver que les vents qui viendront du Septentrion feront élever l'Atmosphère dans nôtre Zone temperée plus qu'à l'ordinaire, & par consequent le Mercure s'y élèvera par la plus grande pesanteur de l'Atmosphère, & l'air y deviendra serein à cause du vent Septentrional. Ce sera le contraire pour les vents qui nous viendront du Midi dans ces pays-ci. Ce que je viens de dire pour nôtre Zone temperée Septentrionale doit s'entendre de même pour l'autre qui est Meridionale » (La Hire 1718, 4-5).

Des éléments similaires reviennent l'année suivante. Il est noté que le mercure est bas pour un vent venant « des environs du S.[ud] » et qu'il pleut assez souvent dans ce cas, qu'il est haut pour le nord et qu'il fait « serein », tout en soulignant « la grande variété dans les vents » qui peut modifier cette « remarque ». En particulier, ceux observés à la surface du sol peuvent avoir des directions différentes de celles d'autres vents plus élevés, telles que l'indique la direction du mouvement des « nuées ». Par ailleurs, avant d'énoncer de telles conclusions, il faut prendre garde à ce qu'un vent dure un temps suffisant : un vent subit ne change pas le niveau du mercure et c'est cette hauteur qui est un marqueur du temps (La Hire 1719a, 4-5). Les MARS 1718 évoquent à nouveaux les vents, ceux du sud-ouest qui « apportent très souvent de la Pluye », sur le fait que « les Nuages augmentent considerablement la force du Vent » (La Hire 1719b, 4).

La Hire fils synthétise des observations et mesures de son père et note, notamment, que sur 23 années de relevés de pression, 17 se rapportent à des vents du nord corrélés à de hautes pressions, tandis que 15 se rapportent à des niveaux bas de mercure et des vents du sud (La Hire fils 1721, 5).

⁷⁸ La Hire suppose que ces inégalités ne résultent pas de la hauteur de l'atmosphère car ces lieux sont géographiquement proches, mais que lorsqu'il y a du vent et des nuages en montagne, celui-ci comprime l'air entre les nuages et le sol, et presse plus le mercure que lors d'un temps sans vent, conditions qui ne sont pas rares en montagnes ; La Hire 1714c, p. 4-5 ; La Hire 1714d, 6-8. Dans ce dernier mémoire, l'écart entre les valeurs extrémales de pressions à Paris et à Zurich suggère à La Hire que pour des lieux si peu éloignés sur Terre le niveau du mercure ne résulte pas seulement de la hauteur de l'atmosphère mais aussi « de quelque accident particulier de l'air ».

Des conclusions qui suggèrent dans leur ensemble des interprétations théoriques divergentes de celles de Maraldi sur le rôle des vents.

5.2. Missions scientifiques : normes et sciences de l'Observatoire

Cassini I est le « maître d'œuvre » d'expéditions scientifiques menées durant la seconde moitié du 18^e siècle pour lesquelles il rédige « de véritables manuels d'instructions » avec lesquels « il cherche à contrôler les voyageurs dont les observations deviennent plus structurées et plus précises » ; ce contrôle passe aussi par la formation d'astronomes à de nouvelles pratiques astronomiques, à l'usage d'instruments et à leurs calibrages sur ceux de l'Observatoire, par des mesures coordonnées, par une correspondance entre les voyageurs et l'Observatoire (Deias 2020, 178-191, 262, 285-286 ; Gros 2019 ; Dew 2009). Ainsi, pour les desseins essentiellement cartographiques des expéditions, il s'agit d'instruire dans les « manières d'observer » (La Hire 1688, 11) de l'Observatoire, ou « des manières dont l'Académie fait les observations Astronomiques » (Cassini 1693b, 43) ; le père jésuite Jean de Fontaney, missionné en Chine, évoque « l'Académie royale de la Chine, un détachement de celle de Paris » où il travaille « de concert » avec Cassini I⁷⁹. Manifestement, ces « manières » ne concernent pas seulement des pratiques strictement astronomiques, car ces expéditions donnent aussi lieu à des observations « Physiques » avec des « instrumens » spécifiques, fournis par le pouvoir, et l'Académie donne à ces voyageurs des « memoires tres-amplés » d'instructions relatifs à plusieurs domaines savants (Cassini 1693b, 43). Quelle place occupe la météorologie dans ces instructions ? Quels sont les instruments concernés ? Quel est le rôle de l'Observatoire dans ces expéditions et en quoi reflètent-elles des préoccupations scientifiques d'alors ?

Instructions

Les diverses instructions de Cassini I portent essentiellement sur l'astronomie, en particulier dans ses liens avec la cartographie. Seuls quelques passages font état de relevés barométriques, manifestement liés à des questions d'altimétrie et de réfractions atmosphériques (Cassini 1681a, 135v.-136r.⁸⁰, Cassini 1681c, 137v⁸¹). Les propos du missionnaire jésuite Guy Tachard qui relate les deux expéditions menées au Siam et en Chine dans la deuxième moitié de la décennie 1680 ne permettent pas davantage d'élucider le contenu précis des recommandations en terme de météorologie⁸². Ainsi, sans plus de précision, il évoque la visite de jésuites provinciaux à l'Académie royale des sciences de Paris afin de se rendre « plus capables de faire de bonnes observations », et des « conversations » avec les académiciens qui « leur servirent extrêmement pour les observations Mathematiques, pour la connoissance de l'Anatomie & des Simples, pour apprendre à peindre les plantes & les animaux. Pour la Navigation, & pour diverses autres remarques qu'ils avoient à faire dans les Pays étrangers » (Tachard 1689, 3-4). Notons que parmi les quelques traces de la présence de jésuites à l'Observatoire dans les journaux d'observations, on peut remarquer que certains jours

⁷⁹ Lettre de Jean de Fontaney à Cassini, Siam, le 6 Mai 1686, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, B4/10 (40).

⁸⁰ « a Tenerife ils monteront sur le Pico, et porteront des instrumens necessaires pour prendre la bassesse de l'horizon sensible et la situation des Isles qu'on peut decouvrir a l'entour. Ils observeront la hauteur du vif argent dans le barometre, et on en laissera un a la Lagune ou l'on donnera le soin a quelqu'un d'observer s'il ne se fait point de variation a diverses heures du jour, et on pourra faire des observations de sa hauteur a diverses stations de la montagne tant en montant qu'en descendant ».

⁸¹ Cassini 1681c, 137v : « Opere autem pretium erit experiri utrum differentiae altitudinum Mercuri in Barometro sint proportionales differentiis altitudinum in monte, ita ut inde possit altitudo aeris determinari. Id tabular refractuonum coelestium concinnandae multum conferret ».

⁸² Pour un aperçu des missions jésuites depuis 1685 sous Louis XIV, voir notamment Landry-Deron 2001 ; Hsia 1999 ; Jami 2012.

de visite correspondent aussi à des relevés thermométriques, barométriques, des descriptions du ciel et des indications sur l'orientation du vent⁸³.

Bien que non explicitement mentionnés, les relevés météorologiques font pourtant partie des voyages. Ainsi, à l'occasion d'un projet d'expédition à Madagascar qui n'eut pas lieu, l'astronome et académicien Adrien Auzout recommande la mesure de hauteurs barométriques pour « voir [le mercure] comment il monte plus ou moins [à Madagascar] qu'icy [à Paris], et mesme dans tous les lieux par lesquels on passera », et précise que « quand on sera la [à Madagascar], il faudra observer toutes les Saisons de l'année, le plus grand chaud, le plus grand froid et leurs effets, les vents, tous les meteores qui paroisteront » (Auzout 1667a, 49). Pour sa part, Jean Richer mentionne le « dessein » de sa mission à Cayenne, soulignant que l'Académie vise à « éclaircir les doutes que les Astronomes anciens & modernes ont eûs jusque icy touchant les principaux fondemens » de l'Astronomie, ceci passant par des « Observations » vers l'Equateur et à l'Observatoire, afin de « tirer des connoissances plus certaines », notamment en « Physique » sur la hauteur à laquelle « monte le vif-argent dans les Barometres » et ce en particulier en différents lieux du globe (Richer 1693, 1-2).

Instrumentation

Ces directives parfois lacunaires peuvent être complétées par l'évocation d'instruments destinés à des relevés météorologiques dans les correspondances ou les comptes rendus d'expéditions, laquelle suggère de telles pratiques. Ceci renseigne sur le nombre d'instruments emportés et révèle des questions de calibration et de comparabilité des mesures avec Paris⁸⁴.

Ainsi, Auzout mentionne l'usage de « Thermometres tant des communs que de ceux qui sont faits avec l'esprit de vin, le vif argent, &c, que l'on aura ajuster pour ce pays cy, afin de remarquer les differences » et le transport de « 15. ou 20. livres de vif argent [...] pour faire des barometres [...] et voir comment il monte plus ou moins qu'icy, et mesme dans tous les lieux par lesquels on passera », ainsi que « plusieurs tuyaux de verre ou sarbacanes [...] pour ces expériences » (Auzout 1667b, 39). Cassini I évoque l'utilisation de thermomètres destinés à Richer, ce qui manifestement suggère des tests sur les instruments : « aujourd'hui, vers 9 heures, deux thermomètres destinés à l'Amérique gradués en pouces indiquaient des hauteurs, pour l'un de 27 pouces, pour l'autre de 29 » (Cassini I, Journal, D1/1, 6 octobre 1671). Richer emporte, semble-t-il, trois thermomètres avec lui, et laisse un de ceux évoqué par Cassini I à la Rochelle⁸⁵ ; il voyage aussi probablement avec deux baromètres, Cassini I écrivant pour cette mission : « Barometri duo, totidemque Thermometri qui convenientiis quos habemus Parisiis » (Cassini 1681c, 137r)⁸⁶.

Lors des voyages accomplis dans plusieurs endroits du royaume par notamment Cassini I, Picard, La Hire, il est question de baromètres, certains manifestement laissés sur les lieux d'expéditions, ce qui laisse entendre qu'ils sont transportés depuis Paris⁸⁷, d'autres étant visiblement

⁸³ Journal d'observations, 7 décembre 1684, D3/2A-B : « ceux du Siam vinrent à l'Observatoire ». Voir aussi D1/8, 21 février 1681. Les RMAS (t. 11, 16 décembre 1684, p. 114v) indiquent la nécessité que les pères « observent » et « conversent » avec Cassini I et La Hire.

⁸⁴ Sur « ce souci des voyageurs » de la seconde moitié du 17^e siècle au sujet de la calibration et de la comparabilité des mesures, voir Bourguet et Licoppe 1997, 1120 et 1136.

⁸⁵ Richer à Cassini I, Cayenne, 4 mai 1672, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, B4/11 bis (70) : « Je laissé en partant de la Rochelle un de mes thermometres a M^r de S^{te} Colombe qui est un fort honneste homme & curieux lequel observera soigneusement ses hauteurs c'estoit dans son logis que j'observois pendant que ie [sic] demeuré a la Rochelle. La hauteur du thermometre que ie apporté icy [à Cayenne] est presentement pendant le jour de 45. et pendant la nuit de 43. Et celuy que M^r D'Alencé me laissa monte le jour a 7 $\frac{3}{4}$ & 8 pendant le jour et pendant la nuit a 7 $\frac{1}{2}$ & 7 $\frac{1}{4}$ ».

⁸⁶ Voir aussi Richer à Cassini I, Cayenne, 4 mai 1672, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, B4/11 bis (70) qui mentionne *des* baromètres : « je suis surpris que le vif argent ne hausse ny ne baisse dans les ~~thermometres~~-Barometres il demeure toujours a la hauteur de 27 poulces 4 a 5 lignes sans changer aucunement ».

⁸⁷ Picard 1693, 56 : « nous laissasmes un Barometre simple entre les mains de M. Olivier Medecin de la Marine, tres-habile & tres-curieux, qui après environ six moins d'Observations, nous fit rapport qu'à Brest la hauteur du Vif-argent avoit varié entre 27. poulces 8. Lignes, & 26. poulces 1. ligne ; ce qui est fort different de ce qu'on observe à Paris & à

sur place⁸⁸. Dans une missive adressée à Cassini I depuis Dieppe dans laquelle il récapitule les travaux et mesures à effectuer, et dans laquelle il souligne aussi qu'ils s'inscrivent dans « le service de l'académie » et font partie de sa « commission », Deshayes écrit qu'il faut « monter le thermometre et barometre ce qui ne coustera pas a observer tous les jours »⁸⁹. Le compte rendu de l'expédition à Gorée et aux Antilles menée par Deshayes, Varin et De Glos mentionne des mesures simultanées barométriques et thermométriques (Cassini 1684, 68).

Tachard écrit que les missionnaires jésuites emportent en 1685 « plusieurs Thermomètres & Baromètres » (Tachard 1686, 10) et, pour la deuxième mission de 1687, il note seulement que les pères voyagent avec des instruments « fournis par la liberalité du Roy », qu'outre ceux d'astronomie il en existe « beaucoup d'autres moindres [...] dont j'ometts le détail » (Tachard 1689, 4). Pour la première mission, des observations envoyées entre missionnaires en 1691 montrent l'usage de deux instruments de Hubin, un baromètre double rempli de mercure et d'eau forte, et un thermomètre⁹⁰. La deuxième mission, d'après ses comptes rendus, recourt à au moins deux thermomètres. Ainsi, le Père de Beze membre de l'expédition, relate posséder « un thermometre ouvert par le bas, que j'avois mis à Brest sur le 60. degré pour le temperé, & qui lorsque nous nous embarquâmes, étoit au 70. Il a baissé parmi les chaleurs de la ligne jusqu'au dis-septième [...] le Père Vanrhim [...] avoit eû la bonté de m'en faire present » (Tachard 1689, 29-30). Il évoque aussi des « observations [...] faites des differens degrez de chaleur, avec un thermometre que j'ay porté avec moy dans mes voyages. Il est de la façon du sieur Hubin, fermé hermétiquement. Je choisis parmi plusieurs autres, celui dont la liqueur estoit plus basse, afin que dans les plus grandes chaleurs il pust toujours marquer : ainsi il s'en trouve quelques-uns qui sont de dix degrez plus hauts » (Goüye 1692, 90). Le premier instrument est manifestement offert par un père jésuite, tandis que le second, de Hubin, pourrait très bien faire partie des « libéralités » royales ; nous avons vu l'importance de ce fabricant et de ces instruments au sein de l'Académie et de l'Observatoire. Par ailleurs, la valeur du « tempéré » à 60 degrés diffère de la valeur typique de 50 degrés qui est attribuée à la température des caves de l'Observatoire de Paris (Martine 1751, 47-48), bien qu'elle soit dans la même gamme, et ce « tempéré » est probablement obtenu à partir de mesures faites dans une cave brestoise. Enfin, de Beze mentionne aussi l'usage d'un « tube » pour constituer un baromètre et donc, implicitement, le transport de mercure lors du voyage : « comme je n'avois pas de barometre monté, je me servis d'un tube de verre long de 29. pouces, scellé hermetiquement, & exactement divisé en pouces & en lignes : avec lequel je fis l'experience de Toricelli en divers lieux des Tropiques » (Goüye 1692, 94). Les propos de Auzout rapportés ci-dessus évoquent le transport de mercure, de « tuyaux de verre » pour « faire des barometres » lors de missions. Fontaney, lors de la première mission au Siam et en Chine partie en 1685, mentionne des relevés de pression à Nankin en utilisant du mercure du pays dont la qualité est comparée à Paris : « je mis un barometre simple en experience avec du mercure de ce pays qui est aussi pur que le nostre de Paris le mieux purifié » (Fontaney, 88).

Observations, mesures et réseaux

Montpellier ». Voir aussi La Hire 1693, 88 : « estant arrivé sur le haut de la montagne on remplit le tuyau de mercure, & l'ayant renversé dans un vase où il y en avoit une assez grande quantité, on prit bien garde qu'il ne s'introduisist point d'air dans le tuyau [...] en partant de Toulon il [La Hire] luy [Monsieur Baert de Toulon] laissa le tuyau de Barometre & le mercure dont il s'estoit servi pour en faire une autre observation de la pesanteur de l'air sur le Mont Coudon, qui est assez proche de Toulon ».

⁸⁸ Picard 1693, 45 : « Je ne dois pas omettre qu'à Montpellier un Barometre commun bien vuide d'air, & qui estoit en experience depuis plus d'un an, n'avoit jamais esté plus haut que de 38. Pouces & 1. ligne, ni moins que de 27. pouces & 1. ligne. Ce Barometre estoit placé environ à 26. toises au dessus du niveau de la mer ; au lieu que j'en ay un à l'Observatoire Royal, qui estant environ à 44. toises au dessus de la mer, varie entre 27. pouces 10. lignes & 28. pouces 6. lignes. »

⁸⁹ Deshayes à Cassini, Dieppe, 29 janvier 1682, Ms 423, fasc. 20, Bibl. Universitaria, Pise. Cité dans Deias 2020, 570-571.

⁹⁰ Voir une lettre du père Bouvet au père Le Comte, tous deux membres de la première expédition, datée du 20 octobre 1691 dans Jami 2012, 118.

Ces expéditions témoignent de relevés et d'objectifs scientifiques qui s'inscrivent dans les pratiques et préoccupations évoquées ci-dessus. Au demeurant, l'Observatoire est au centre d'un réseau épistolaire, et sert d'élément de référence et de comparaison pour les observations et mesures, ces dernières pouvant être simultanées ou coordonnées puisque l'Observatoire assure une veille par ses relevés météorologiques quasi-quotidiens⁹¹.

Ainsi, pour Auzout « il faudra observer [à Madagascar] toutes les Saisons de l'année, le plus grand chaud, le plus grand froid et leurs effets, les vents, tous les meteores qui paroisteront » (Auzout 1667a, 49). Concernant sa mission à Cayenne, Richer écrit qu'« on estoit en peine de sçavoir que vers l'Equateur la hauteur du vif-argent dans les Barometres estoit la mesme qu'à Paris ou non : de quoy je me suis éclairci par les Observations que j'ay faites pendant une année entière, où j'ay remarqué que sa [le mercure du baromètre] plus grande hauteur n'a jamais surpassé vingt-sept pouces une ligne dans un lieu qui n'estoit élevé au dessus de la superficie de la mer que de vingt-cinq à trente pieds » (Richer 1693, 68). Les missions à Gorée et aux Antilles révèlent des préoccupations similaires. Il est précisé qu'

« on a observé diligemment les variations du Barometre en l'Isle de Gorée depuis le 31. Mars 1682. jusques au 4. Juillet de la mesme année, & pendant tout ce temps on ne l'a jamais trouvé plus haut sur la surface inferieure du vif-argent de 27 pouces & 9 lignes $\frac{1}{4}$, ni plus bas de 27 pouces 3 lignes $\frac{1}{4}$: de-sorte que toute la variation a esté de six lignes ; ce qui n'est gueres different de ce qui arrive pendant une saison à l'Observatoire Royal quoy-qu'en toute l'année la variation soit plus grande comme de 27 pouces & deux lignes à 28 pouces & demy, comme il a esté observé dans le Barometre qui est dans l'appartement inferieur de l'Observatoire. On a observé qu'ordinairement à la Gorée le Barometre estoit plus bas quand le Termometre estoit plus haut, & généralement le Barometre a esté plus haut la nuit que le jour de deux, trois ou quatre lignes, & il faisoit plus de changement du matin jusqu'au soir, que du soir jusqu'au matin » (Cassini 1684, 68).

La deuxième mission jésuite, par l'intermédiaire de Beze, fait aussi état de relevés de températures et pressions en vue de donner des caractéristiques des zones tropicales comparées avec l'Europe. Ainsi, il écrit qu'« il y a des personnes qui croient, que plus les lieux sont situez près de la ligne equinoctiale, plus aussi la chaleur est grande ; mais j'ay reconnu le contraire par mon experience, & par les observations que j'ay faites des differens degrez de chaleur, avec un thermometre que j'ay porté avec moy dans mes voyages » ; suivent des relevés de températures sur des temps longs (au Siam, à Malacca, au Cap de Bonne espérance, à Java) avec description du ciel et direction des vents. Beze précise aussi qu'« un habile Physicien me dit avant mon départ de France, qu'on l'avoit assuré qu'il ne se trouvoit pas de difference sensible au barometre, dans tous les lieux qui sont situez entre les tropiques, pourveu que l'observation se fist dans un lieu au niveau de la mer [...] Je voulus lorsque je fus arrivé aux Indes, m'assurer moy-mesme si ce qu'on luy avoit dit estoit vray [...] je fis l'experience de Toricelli en divers lieux des Tropiques » (Goüye 1692, 94-95) ; on trouve trace de mesures des pressions et relevés simultanés de température au Siam, à Pondichéry, à Malacca et sur l'île de Java (*ibid.*, 90-91). Les relevés thermométriques peuvent être accompagnés de dates, de la latitude du lieu des mesures, ils peuvent avoir été effectués sur une période longue bien que soient seulement donnés des extrema :

⁹¹ Sur ces questions, voir notamment Licoppe 2002, p. 59-60 : « A strong justification for observatories and for performing daily measurements was therefore the co-ordination of measurements performed at a distance, either within faraway observatories throughout Europe or by traveling observers [...] this co-ordination was obviously a cornerstone of geodetic practice and of the incursion of astronomical observations into geographical fieldwork in the first half of the eighteenth century [...] The same idea underlay the way meteorological observations were performed. Temperature and atmospheric weight measurements in places of interest had to be compared with similar measurements made in the Observatoire, and field observers within the sphere of influence of astronomical practices were always keen to indicate how the comparison of field measurements with those at the Observatoire allowed one – ideally within the frame of a single-done measurement – to determine the relative height of places compared to Paris, the level of the sea in the case of barometric measurements [...] or the differences between maximum degrees of heat or cold in various places in the case of thermometric ones ». Voir aussi Bourguet et Licoppe 1997, 1120.

« Malaque [Malacca], quoique situé seulement à 2^d12' de la ligne, est beaucoup plus tempéré [que le Siam] ; la chaleur y est modérée & presque toujours la mesme. Pendant 7 mois entiers que nous y avons demeuré, la liqueur du thermometre a toujours esté entre le 60 & le 71 degré. Il est vray que quelquefois en un jour elle parcouroit cet espace suivant que le ciel se decouvroit ou se chargeoit de nuages » (*ibid.*).

Cela s'accompagne d'observations sur l'orientation des vents et les périodes de mousson au cours de l'année en différents lieux (*ibid.*). Dans les différentes observations astronomiques effectuées par la première mission jésuite envoyées à l'Académie royale et qui couvrent dix années, Fontaney relève depuis août jusqu'à novembre 1688 le niveau de mercure : « a la fin d'aoust le mercure montoit a 26 poulces et demi. Depuis les chaleurs diminuant il a tousjours monté, et au commencement de novembre il a esté jusqu'à 28 poulces, et 28 poulces 3 lignes » (Fontaney, 88). Pour l'année suivante, il précise bien avoir « en mesme temps observé les diverses hauteurs du mercure dans le Barometre simple, pour savoir la pesanteur de l'atmosphere quand je prenois des hauteurs de [Soleil] ou d'étoiles » (Fontaney, 106), bien que les pages qui suivent ne contiennent que des mesures astronomiques. Le manuscrit sous-entend ainsi des pratiques similaires aux journaux parisiens en évoquant des observations astronomiques et barométriques concomitantes, mais il n'en donne pas comme eux les relevés quasi-quotidiens. De la même manière, il semble que l'expédition de Richer s'accompagne de mesures de températures bien que celles-ci ne figurent dans les textes publiés liés à cette expédition (RMAS t. 8, 7 juillet 1677, 134v)⁹².

Mais des manuscrits témoignent de relevés de températures et de pressions jusqu'à trois fois par jour, le matin à 4h, à midi, le soir à 20h, pendant près d'un an, accompagnés d'une description de l'état du ciel et de la direction du vent, le tout étant consigné sous forme de tableaux mensuels. Ainsi, lors de la première mission jésuite, le Père Bouvet envoie au Père Le Comte de tels comptes rendus météorologiques établis à Pékin pour une période allant du 11 novembre 1690 au 31 octobre 1691, le destinataire étant chargé de transmettre ces informations à l'Académie royale des sciences⁹³. On remarque aussi dans ce manuscrit une colonne « hygrometre » remplie du 8 janvier au 31 mai 1691, lequel ferait donc partie du matériel emporté pour la mission. Cette fréquence quotidienne des relevés et observations n'est pas sans rappeler celle de l'académicien Morin et celle dans les journaux de l'Observatoire ; au demeurant, les mesures vers midi rappellent celles qui peuvent avoir lieu lors de l'observation du passage méridien du soleil (voir ci-dessus), observation qui fait naturellement partie des consignes données par Cassini I aux jésuites (Cassini 1681c, 125v)⁹⁴.

Cassini I centralise les échanges avec les voyageurs et place l'Observatoire au centre de ceux-ci. Les archives de l'Observatoire conservent, en particulier, des missives de Richer depuis Cayenne où peuvent être lues des mesures barométriques⁹⁵, des lettres de Deshayes et de Varin, de Fontaney⁹⁶. Cassini I rend par ailleurs compte auprès de l'Académie des nouvelles reçues de ces astronomes⁹⁷. Les journaux d'observation de l'Observatoire témoignent aussi de la volonté de

⁹² « Mr. Cassini a fait son raport de l'observation faite de la chaleur, par le thermometre que Mr. Richer avoit porté a la Cayenne, que le 7^e et le 10^e de Juillet la chaleur estoit esgale a celle qui estoit en mesme temps a la Cayenne ». Il existerait donc une source originale contenant ces mesures de Richer.

⁹³ Voir *Mélanges sur la Chine*, BNF, Ms. Fr. 17240, 37r.-42v. Voir la lettre de Bouvet à Le Comte du 20 octobre 1691 dans Jami 2012, 118. La lettre indique autour de 4h, autour de 20h et à midi, le tableau note 4h ½, 12h ½ et 8h ½.

⁹⁴ Cassini 1681a, 125v : « ils ne manqueront jamais de faire celles [les observations] que le temps leur permettra quand ce ne seroit qu'une hauteur meridienne du soleil, ou de quelque etoile qui pourra tousjours servir a determiner la latitude ». Jean de Fontaney, *Observations astronomiques et physiques des Mathématiciens du roi envoyées à l'Académie royale*, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, A4/2 (1) contient naturellement de nombreuses observation de hauteurs méridiennes ne serait-ce que pour vérifier les horloges, de même que les ouvrages de Tachard 1686.

⁹⁵ Voir Richer à Cassini I, Cayenne, 4 mai 1672, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, B4/11 bis (70).

⁹⁶ Pour les correspondances conservées à l'Observatoire, voir <https://bibnum.obspm.fr/>

⁹⁷ Voir, par exemple, Cassini 1682, 182r où est relatée la lecture « des hauteurs du Barometre et de sa difference de hauteur entre le jour et la nuit pendant laquelle il a toujours esté plus haut que le jour de 3 ou 4 lignes ce qui n'arrive pas dans nos climats, et de l'alternative du Barometre, et du Thermometre qui n'est point réglées dans nostre climat ». On remarquera aussi la présence du manuscrit synthétisant les observations de la mission jésuite conduite par Fontaney et destinée à l'Académie dans les Archives de la bibliothèque de l'Observatoire sous le titre *Observations astronomiques et physiques des Mathématiciens du roi envoyées à l'Académie royale*, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, A4/2 (1).

relevés simultanés de grandeurs physiques. Ainsi, la prise en compte dans ces journaux des mesures du père Louis Feuillée obtenues lors de ses expéditions en Amérique du Sud, Feuillée qui écrit devoir à Cassini « les principales connoissances que j'avois de l'Astronomie & de la Physique » (Feuillée 1714, t. I, 2), collaborateur à Marseille de l'astronome Jean Mathieu de Chazelles⁹⁸, lequel a pris « des leçons de M. Cassini à l'Observatoire pendant cinq ans » (Fontenelle 1712, 144), suggère que la quête de la cause physique des variations du baromètre, dont le caractère spatialement étendu implique la mise en œuvre de mesures simultanées en des lieux distants, a sans doute joué un certain rôle de stimulateur du suivi des paramètres météorologiques à l'Observatoire. En témoigne, entre le 1^{er} février 1709 (Journal D3/26) et le 16 août 1710 (Journal D3/27), la mention quotidienne dans un journal d'observations, à côté de la valeur de la pression mesurée à Paris, de celle mesurée par Feuillée, bien que son nom ne soit jamais cité, dans cinq ports de la côte ouest de l'Amérique du Sud, parfois accompagnée d'indications sur le vent, l'état du ciel ou le degré de chaleur. Durant son long périple de 4 ans, entre son départ de Marseille le 14 décembre 1707 et son retour à Brest le 27 août 1711, dédié à diverses mesures physiques, astronomiques et botaniques (Feuillée 1714). Feuillée fait notamment escale à (1) Conception, (2) Valparaiso, au Chili, puis (3) Lima au Pérou, à nouveau (4) Conception, puis (5) Coquimbo au Chili, et enfin (6) Ylo au Pérou ; les périodes correspondantes sur lesquelles sont reportées dans le journal de l'Observatoire les indications météorologiques relatives à ces six escales sont, respectivement, (1) 1 - 12 février 1709, (2) 27 février - 12 mars 1709, (3) 18 avril - 22 décembre 1709, (4) 17 février - 14 mars 1710, (5) 16 avril - 28 avril 1710 et (6) 4 juin - 16 août 1710.

Feuillée décline les objectifs de ses mesures dans les différentes disciplines, dont la physique, tels qu'établis de concert avec Cassini I, précise-t-il. Concernant la barométrie, c'est la « connoissance de la condensation ou de la rarefaction de l'air dans les différentes distances de la ligne équinoxiale » qui est présentée comme l'objectif principal des mesures, conformément à son « nouvel usage pour mesurer la hauteur des montagnes, trouvé par Monsieur Maraldi », la mesure de la pression sur les montagnes, pourvu que leurs hauteurs soient connues par des moyens géométriques, permettant d'établir la loi de raréfaction de l'air suivant la verticale (Feuillée 1714, t. I, 6-7) ; l'objectif est donc la mesure de la variation de la densité de l'air avec la hauteur en régions équatoriales en opérant le baromètre sur des montagnes, et aucune mesure de température n'est prévue. La mesure de la hauteur de l'horizon de la mer, destinée à évaluer la réfraction horizontale, et des vents et de leurs intensités sont également prévues. Les expériences sur le baromètre commencent dès le 23 janvier 1708 à Malte, Feuillée décrivant précisément sa manière de remplir et positionner le tube sur le bac à mercure. De telles mesures sont effectuées pendant tout le voyage à un rythme quasiment quotidien lors des escales⁹⁹. Dans un compte rendu des observations de Feuillée rédigé par Cassini II le 8 juillet 1711¹⁰⁰, ce dernier relate la comparaison faite par Feuillée entre la valeur mesurée géométriquement de la hauteur d'une montagne aux environs de Lima, et celle déduite de la mesure de la pression à son sommet sur la base de la loi de dilatation avec l'altitude mesurée en France, pour conclure que ces deux valeurs diffèrent significativement, « ce qui luy fait juger que la condensation ou la dilatation de l'air à l'Amérique est fort différente de celle qu'on observe en Europe ». Ainsi, la mesure simultanée des valeurs de la pression en différents

⁹⁸ On sait que Louis Feuillée, botaniste de formation, résidait en 1696 au couvent des Minimes d'Arles, où il observa une éclipse de lune et en fit communication à l'Académie des Sciences, et qu'il s'installa l'année suivante à Marseille auprès de Chazelles, avec qui il réalisa diverses observations. Voir Saint-Yves 1895, 303-304.

⁹⁹ Dans une lettre écrite de Lima le 7 décembre 1709 au Comte de Pontchartrain, il est mentionné que « à l'égard de la hauteur du Barometre au bord de la mer, le P. Feuillée trouve par ses observations qu'il en a faites tous les jours a Terre qu'elle est a peu pres la meme qu'en Europe », Cassini, Jean-Dominique, « CASSINI I. Réflexions sur des nouvelles observations du P. Feuillée aux Indes occidentales extraites d'une lettre écrite à M. le Comte de Pontchartrain de Lima du 7 décembre 1709 », Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, consulté le 17 mai 2022, <https://bibnum.obsjpm.fr/ark:/11287/1GRdd>.

¹⁰⁰ Cassini, Jacques, « Extrait de diverses observations faites par le P. Feuillée aux Indes Occidentales par M. Cassini le fils », Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, consulté le 17 mai 2022, <https://bibnum.obsjpm.fr/ark:/11287/1hrG0>.

endroits du monde, qui prend une importance particulière dans la décennie 1710 comme le suggère la comparaison établie dans le journal d'observation de l'Observatoire évoquée ci-dessus, n'apparaît pas en tant que telle comme l'un des objectifs initiaux prioritaires des mesures confiées à Feuillée par Cassini I. La démarche de Feuillée s'inscrit dans une communauté, à la fois de pratiques, ici le montage du baromètre et le relevé quotidien de son niveau, et d'objectifs scientifiques, ici la recherche de variations de la loi de dilatation de l'air avec la latitude, avec les astronomes de l'Observatoire de Paris, le contexte de l'expédition lointaine fournissant par ailleurs un embryon de réseau de mesures ancré sur l'Observatoire pour l'étude de la météorologie.

6. Conclusion

Expériences et théories physiques, réfractions astronomiques, particularités du bâtiment et du site où il est construit, orientation du pouvoir semblent autant d'éléments qui dès la fondation de l'Observatoire se cristallisent en observations météorologiques. D'après le témoignage des Journaux des observations, lesquels ne renferment pas seulement des observations astronomiques, ce qui semble tenir de relevés météorologiques épars autour des années 1670, avec l'objectif initial de permettre de mieux caractériser la réfraction atmosphérique en vue d'en corriger les effets sur la position apparente des astres, devient systématique au fil des années et ce dès la décennie 1680. L'article suggère alors l'importance quantitative et qualitative des instruments localisés dès la fin du 17^e s. au sein du bâtiment parisien, instruments réalisés par des artisans reconnus et/ou conçus par des académiciens ; les relevés des Journaux des observations et du journal de La Hire donnent une idée de l'ampleur des données de 1671 à 1719, l'Observatoire recourt notamment à des thermomètres récents qu'il teste et compare à d'autres, ses caves, dont la température varie très peu saisonnièrement, fournissant une référence pour la graduation des thermomètres qui y sont testés. Le cas de la pluviométrie peut exemplifier comment interagissent recherche physique, requête du pouvoir, enjeux économiques, puis recherches météorologiques proprement dites impliquant des données corrélées sur un temps et un espace vastes et des modèles atmosphériques, l'ensemble devant aboutir à des « règles ». L'article montre à ce sujet l'émergence progressive des mesures météorologiques comme objectif scientifique propre, avec la volonté de pouvoir prévoir le temps, au-delà de la seule problématique astronomique de la réfraction. Les mesures de barométrie ont par ailleurs un potentiel, largement exploité à l'époque, pour la mesure des hauteurs de montagnes éloignées de la mer. La dimension météorologique, à savoir ce qui comprend une instrumentation spécifique, des relevés, des pratiques communes, des normes, des modèles théoriques semble partie intégrante des travaux qui se mettent en place et se pérennisent à l'Observatoire de Paris au tournant des 17^e et 18^e s. Pour l'astronomie, l'Observatoire est un bâtiment-instrument, le lieu où s'élabore des normes et un savoir-faire standardisé qui se répand au-delà de ses murs, un espace qui s'intègre dans des réseaux pluriels comprenant artisans, missionnaires, astronomes, pouvoir ; caractéristiques qui valent pour la météorologie qui, en ce sens, peut être qualifiée de science de l'Observatoire.

Références

- Alcoforado, M. J. et al. (2012), « Early portugese meteorological measurements (18th century) », *Climate of the Past* 8:353-371.
- Alencé, J. d', (1688), *Traitez des Baromètres, Thermomètres et Notiomètres, ou Hygromètres*. Amsterdam : Henry Wetstein.
- Amontons, G. (1704), « Discours sur quelques propriétés de l'air, & le moyen d'en connaître la température dans tous les climats de la Terre », *MARS* 1702:155-174.
- Amontons, G. (1705), « Le thermomètre réduit à une mesure fixe & certaine, & le moyen d'y rapporter les observations faites avec les anciens thermomètres », *MARS* 1703:50-56.
- Amontons, G. (1706), « Que tous les barometres, tant doubles que simples qu'on a construits jusqu'ici, agissent non-seulement par le plus ou moins de poids de l'air, mais encore par son plus ou moins de

- chaleur ; & le moyen de prevenir dorénavant ce défaut dans la constitution des Barometres doubles, & d'en corriger l'erreur dans l'usage des Barometres simples », *MARS* 1704:164-172.
- Angot, A. (1895), « Premier catalogue des observations faites en France depuis l'origine jusqu'en 1850 », *Annales du Bureau Central de Météorologie*. B131.
- Aubin, D., Bigg C., and Sibum H. O. (2010), *The Heavens on Earth. Observatories and Astronomy in Nineteenth-Century Science and Culture*. Durham, Londres : Duke University Press.
- Auzout, A. (1667a), « Memoire des Observations qu'il faudra faire à Madagascar », *RMAS* t. 3, 11 janvier 1667: 43-58.
- Auzout, A. (1667b), « Memoire des Instrumens & autres choses necessaires dont il faudra fournir ceux qui iront à Madagascar », *RMAS* t. 3, 11 janvier 1667: 37-40.
- Boistel, G. (2022), « Pour la gloire de M. de La Lande ». *Une histoire matérielles, scientifique, institutionnelle et humaine de la Connaissance des temps, de 1679 à 1920*. Paris : IMCCE.
- Bourguet M.-N., et Licoppe, C. (1997), « Voyages, mesures et instruments. Une nouvelle expérience du monde au Siècle des Lumières », *Annales. Histoire, Sciences sociales* 52(5):1115-1151.
- Cassini, J.-D., « Description du Bâtiment de l'observatoire par Cassini I », D1/13(12).
- Cassini, J.-D., *Journal des Observations faites à l'Observatoire de Paris*, D1/1, Bibliothèque numérique de l'Observatoire de Paris.
- Cassini, J.-D., « Ecrits de Mr Cassini sur les instruments et les opérations qu'il fit faire avant de s'établir à l'observatoire et au commencement de son établissement », Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, D1/13(10).
- Cassini, J.-D. (1681a), « Instructions particulières pour le voyage des Canaries », *RMAS* t. 9, 13 décembre 1681, 135v.-136r.
- Cassini, J.-D. (1681b), « Instructions particulières pour le voyage des Canaries », *RMAS* t. 9, 13 décembre 1681, 137r.
- Cassini, J.-D. (1681c), « Projet pour les observations géographiques », *RMAS* t. 9, 29 novembre 1681, 125v.
- Cassini, J.-D. (1682), « Relation des observations de M^{rs} Varin, Deshayes, et De Glos faites a la Gorée proche du cap vert », *RMAS* t. 9, 21 novembre 1682, 181r-182v.
- Cassini, J.-D. (1684), *Les elemens de l'astronomie vériféez par Monsieur Cassini par le rapport de ses tables aux observations de M. Richer faites en l'Isle de Caienne. Avec les observations de MM. Varin, Des Hayes, et de Glos faites en Afrique & en Amerique*. Paris : Imprimerie royale.
- Cassini, J.-D. (1693a), « Observations astronomiques faites en divers endroits du royaume pendant l'année 1672 », dans *Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de sa majesté, pour perfectionner l'astronomie et la géographie. Avec divers traiteez astronomiques*. Paris : Imprimerie Royale.
- Cassini, J.-D. (1693b), « De l'origine et du progrès de l'astronomie et de son usage dans la geographie et dans la navigation », dans *Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de sa majesté, pour perfectionner l'astronomie et la géographie. Avec divers traiteez astronomiques*. Paris : Imprimerie Royale.
- Cassini, J.-D. (1704), « De la meridienne de l'Observatoire royal prolongée jusques aux Pyrenées », *MARS* 1701:169-182.
- Cassini, J.-D. (1705), « Réflexion sur les observations faites en Botnie », *MARS* 1703:39-47.
- Cassini, J.-D. (1707), « Réflexions sur les observations envoyées à Monsieur le Comte de Pontchartrain par le Père Laval Professeur Royal d'Hydrographie », *MARS* 1706:78-82.
- Cassini, J.-D. (1708), « Des irregularitez de l'abbaissement apparent de l'horison de la mer », *MARS* 1707:195-197.
- Cassini, J.-D. (1709), « CASSINI I. Réflexions sur des nouvelles observations du P. Feuillée aux Indes occidentales extraites d'une lettre écrite à M. le Comte de Pontchartrain de Lima du 7 décembre 1709 », Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, consulté le 17 mai 2022, <https://bibnum.obspm.fr/ark:/11287/1GRdd>.
- Cassini, J.-D. (1810), *Mémoires pour servir à l'histoire des sciences et à celle de l'Observatoire royal de Paris*. Paris : Bleuët.
- Cassini, J. (1703), « Expérience de la réfraction de l'air, faite par ordre de la Société Royale d'Angleterre », *MARS* 1700:78-83.
- Cassini, J. (1706), « Réflexions sur les règles de la condensation de l'air », *MARS* 1705:72-74.
- Cassini, J. (1711), « Extrait de diverses observations faites par le P. Feuillée aux Indes Occidentales par M. Cassini le fils », Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, consulté le 17 mai 2022, <https://bibnum.obspm.fr/ark:/11287/1hrG0>.
- Cassini, J. (1712), « Experiences de l'effet du vent à l'égard du thermometre », *MARS* 1710:544-545.

- Cassini, J. (1717), « Nouvelles découvertes sur les mouvements des satellites de Saturne », *MARS* 1714:361-380.
- Cassini, J. (1718), *De la grandeur et de la figure de la Terre*. Paris : Imprimerie royale.
- Cassini de Thury, J.-D. (1797), « Recherches sur les plus grandes chaleurs qui ont eu lieu à Paris Depuis 1682 jusqu'en 1794 », *Mémoires de l'Institut Nationale des Sciences et des Arts, Sciences mathématiques et physiques, t. IV*. Paris : Baudoin, 338-362.
- Chassefière, E. (2021), « Aurora borealis systems in the German-Russian world in the first half of the eighteenth century: the cases of Friedrich Christoph Mayer and Leonhard Euler », *Annals of science* 78(2):162-196.
- Chassefière, E. (2022a), « Systèmes de la réfraction atmosphérique à l'aube du XVIII^e siècle : le contexte cartésien de l'invention de la matière réfractive », *Cahiers François Viète* (accepté, à paraître).
- Chassefière, E. (2022b), « Relevés de température et méthodes d'étalonnage des thermomètres à l'Observatoire de Paris (1683-1732) », *La Météorologie*, soumis.
- Costabel, P. (1987), « Jean Picard et l'étalon universel de longueur fondé sur le pendule », Guy Picolet (éd.), *Jean Picard et les débuts de l'astronomie de précision au XVII^e siècle*. Paris : CNRS éditions, 315-328.
- Cotte, L. (1774), *Traité de météorologie*. Paris: Imprimerie royale.
- Débarbat, S. (1987), « La qualité des observations astronomiques de Picard », dans Picolet G. (éd.), *Jean Picard et les débuts de l'astronomie de précision au XVII^e siècle*. Paris : CNRS éditions, 157-173.
- Deias, D. (2020), *Inventer l'observatoire : sciences et politique sous Giovanni Domenico Cassini (1625-1712)*, thèse de doctorat. EHESS, Paris.
- Deluc, L. (1772), *Recherches sur les modifications de l'atmosphère, t. I*. Genève.
- Derham, W. (1699), « A Letter of Mr. W. Derham, rector of Upminster, date Jan. 13 1697 7/8. To Dr. Sloane, about a Contrivance to measure the Height of the Mercury in the Barometer, by a Circle on one of the Weather Plates, with a register of the Weather, &c. for the Year 1697 », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 1698, 20(237):45-48.
- Derham, W. (1700), « Part of a Letter from Mr. William Derham, to Dr Sloane ; accompanying his Observations of the Height of the Mercury in the Barometer, Rains, Winds, &c. for the Year 1698 », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 1699, 21(249):45-46.
- Derham, W. (1704), « A Letter from the Reverend Mr William Derham, F. R. S. to Mr John Houghton, F. R. S. containing his Observations on the Weather, &c. for some years last past », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 1703, 23(286):1443-1448.
- Derham, W. (1706), « Prospect of the Weather, Winds, and Height of the Mercury in the Barometer, on the First Day of the Month; And of the Whole Rain in Every Month the Year 1703, and the Beginning of 1704. Observed at Towneley in Lancashire, by Ri. Towneley, Esq; And at Upminster in Essex », *Philosophical Transactions* 1705, 24(297):1878-1881.
- Descamps Pascal, « Les Tables des réfractions astronomiques dans la Connaissance des Temps », <https://cdt.imcce.fr/exhibits/show/les-tables-des-r--fractions-as>.
- Dew, N. (2009), « Scientific travel in the Atlantic world : the French expedition to Gorée and the Antilles, 1681-1683 », *British Society for the History of Science* 43(1):1-17.
- Dictionary of precision instrument-makers and related craftsmen in France & Switzerland, 1430-1960* <https://bibnum.explore.psl.eu/s/dictionarypim/ark:/18469/1r073>.
- Feldman, T. S. (1990), « Late eighteenth century meteorology », dans Tore, Frangsmyr, Heilbron John L., Rider Robin E., (eds.), *The Quantifying Spirit in the Eighteenth Century*. Berkeley : University of California Press, 143-177.
- Feuillée, L. (1714), *Journal des observations physiques, mathématiques et botaniques, Faites par l'ordre du Roy sur les côtes orientales de l'Amerique Meridionale, & dans les Indes Occidentales, depuis l'année 1707, jusques en 1712*, 3 tomes. Paris : Pierre Giffart.
- Fontaney, J. de, *Observations astronomiques et physiques des Mathématiciens du roi envoyées à l'Académie royale*, Bibliothèque de l'Observatoire de Paris, A4/2 (1), 88.
- Fontenelle B. le Bovier de (1702), « Comparaisons d'Observations faites en differens lieux sur le Barometre, sur les Vents, & sur la quantité des Pluyes », *HARS* 1699:20-22.
- Fontenelle B. le Bovier de (1703a), « Observations sur le Barometre, le Thermometre, les Pluyes de pendant l'année 1699 », *MARS*, 1700:1-3.
- Fontenelle B. le Bovier de (1703b), « Sur les réfractions », *HARS* 1700:109-114.
- Fontenelle B. le Bovier de (1704), « Diverses observations de physique générale », *HARS* 1701:16-18.

- Fontenelle B. le Bovier de (1705), « Sur l'usage du barometre pour mesurer la hauteur des montagnes & celle de l'atmosphere », *HARS* 1703:11-13.
- Fontenelle B. le Bovier de (1706), « Diverses observations de physique générale », *HARS* 1705:34-41.
- Fontenelle B. le Bovier de (1707), « Sur les réfractions », *HARS* 1706:101-103.
- Fontenelle B. le Bovier de (1711), « Sur des observations du barometre faites en des lieux éloignes », *HARS* 1709:3-6.
- Fontenelle B. le Bovier de (1712), « Eloges de M. de Chazelles », *HARS* 1710:143-151.
- Fontenelle B. le Bovier de (1718), « Observations de physique générale », *HARS* 1716:16-17.
- Fontenelle, B. le Bovier de (1732), « Comparaisons d'Observations faites en differens lieux sur le Barometre, sur les Vents, & sur la quantité des Pluyes », *HARS* 1699:20-22.
- Fouchy, J.-P. Grandjean de (1757), « Observations météorologiques faites à l'Observatoire Royal pendant l'année M. DCCCLIII. », *MARS* 1753:589-590.
- Frisinger, H. H. (1977), *The History of Meteorology : to 1800* (reed. 1983). New York : Science History Publications.
- Garden G. (1686), « A discourse concerning Weather », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 1685, 15(171):991-1001.
- Golinski, J. (2007), *British Weather and the Climate of Enlightenment*. Chicago, London : University of Chicago Press.
- Goüye, T. (1692), *Observations physiques et mathematiques pour servir a l'histoire naturelle & à la perfection de l'astronomie & de la geographie*. Paris : Imprimerie royale.
- Grillot, S. (1987), « Picard observateur », dans Picolet G. (éd.), *Jean Picard et les débuts de l'astronomie de précision au XVIIe siècle*. Paris : CNRS éditions, 143-156.
- Gros, M. (2019), « Astronomes voyageurs du xvii^e siècle : Cassini et les missions lointaines », dans M. Scott (éd.), *Pratiques de la médiation des savoirs*. Paris : Editions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 1-15.
- Guiffrey, J. (1891), *Comptes des bâtiments du roi sous le règne de Louis XIV*, t. III. Paris : Imprimerie nationale.
- Halley, E. (1688), « A Discourse of the Rule of the decrease of the hight of the Mercury in the Barometer, according as places are Elevated above the Surface of the Earth, with an attempt to discover the true reason of the Rising and Falling of the Mercury, upon change of Weather », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 1686, 16(181):104-116
- Hecker, J. (1666), *Motuum caelestium ephemerides ab anno a. v. 1666 ad 1680*. Paris : Simeon Piget.
- Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Depuis son établissement en 1666. jusqu'à 1686, t. I* (1733a). Paris : Martin, Coignard fils, Guérin.
- Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Depuis 1686 jusqu'à son Renouveau en 1699, t. II* (1733b). Paris : Compagnie des libraires.
- Hsia, F. (1999), « Some observations on the Observations the decline of the french jesuit scientific mission in China », *Revue de Synthèse*, 4^e série, n^o2-3:305-333.
- Jami, C. (2012), *The Emperor's New Mathematics. Western Learning and Imperial Authority During the Kangxi Reign (1662-1722)*, Oxford, Oxford University Press.
- Journaux des observations faites à l'Observatoire royal de Paris*, couvrant les périodes 1671-1674 (D1/1-6), 1680-1683 (D1/7-8), 1683-1798 (D3/1-30 et D4/1-29), Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.
- Kingdon, J. (1988), *The weather of the 1780s over Europe*. Cambridge : Cambridge University Press.
- La Hire, Ph. de, (1688) « Reflexions de M. de La Hire sur les observations Astronomiques faites dans les Indes par les RR. PP. de la Compagnie de Jesus », dans Goüye Thomas, *Observations physiques et mathematiques pour servir a l'histoire naturelle, & à la perfection de l'astronomie & de la geographie*. Paris : Imprimerie royale.
- La Hire, Ph. de (1703a), « Observations du Barometre, du Thermometre, & de la quantité d'eau de pluie & de neige fondue qui est tombée à Paris dans l'Observatoire Royal pendant l'année 1699 », *MARS* 1700:6-9.
- La Hire, Ph. de (1703b), « Remarques sur les observations des réfractions tirées du livre intitulé Refractio Solis in Septentrionalibus oris jussu Caroli XI. Regis Suevorum &c. à Joanne Bilberg Holmiæ 1695 », *MARS* 1700 :37-38.
- La Hire, Ph. de (1704), « Observations sur l'eau de pluie qui est tombée à l'Observatoire royal pendant toute l'année 1700 avec quelques remarques sur le thermometre & sur le barometre », *MARS* 1701:9-11.
- La Hire, Ph. de (1705), « Remarques sur l'eau de la pluie, & sur l'origine des Fontaines avec quelques particularitez sur la construction des cisternes », *MARS* 1703:56-69.

- La Hire, Ph. de (1706a), « Observations de la quantité d'eau de pluie qui est tombée à l'Observatoire, avec les hauteurs du Thermomètre et du Baromètre pendant l'année 1703 », *MARS* 1704:1-6.
- La Hire (1706b), « Observations de la quantité d'eau de pluie qui est tombée à l'Observatoire royal pendant l'année dernière 1704, avec les hauteurs du barometre & du thermometre, & des remarques sur les vents qui ont regné », *MARS* 1705:1-5.
- La Hire, Ph. de (1706c), « Comparaison des observations sur la pluie & sur les vents, faites par M. de Pont-Briant au château di Pont-Briant à deux lieuës de S. Malo, & vers le bord de la mer pendant l'année 1704 ; avec celles qui ont été faites à l'Observatoire au même tems », *MARS* 1705 :5-7.
- La Hire, Ph. de (1707a), « Observations de la pluie & du vent, faites en l'année 1705 au château du Pontbriant situé à deux lieuës de Saint-Malo en Bretagne », *MARS* 1706:6-11.
- La Hire, Ph. de (1707b), « Autres observations de la pluie tombée pendant l'année 1705 à Lyon, & communiquées à M. Cassini par le P. Fulchiron jesuite », *MARS* 1706:11-12.
- La Hire, Ph. de (1709), « Observations de la quantité de pluie qui est tombée à l'Observatoire Royal à Paris pendant l'année 1707, & des hauteurs du thermometre & du barometre », *MARS* 1708:60-63.
- La Hire, Ph. de (1711a), « Observations de la quantité d'eau & des vents, par M. le Comte du Pontbriand [...] pendant les années 1707 & 1708 », *MARS* 1709:5-7.
- La Hire, Ph. de (1711b), « Observations de l'eau qui est tombée à Lyon pendant l'année dernière 1708 », *MARS* 1709:8.
- La Hire, Ph. de (1712a), « Observations de la quantité d'eau qui est tombée à l'Observatoire pendant l'année 1709, avec l'état du Thermometre et du Barometre », *MARS* 1710:139-143.
- La Hire, Ph. de (1712b), « Comparaison des observations que nous avons faites icy à l'Observatoire sur la pluie & les vents, avec celles que Monsieur le Marquis de Pontbriand a faites dans son château près S. Malo pendant l'année 1709 », *MARS* 1710:143-155.
- La Hire, Ph. de (1712c), « Comparaison de mes observations avec celles de M. Scheuchzer sur la pluie & sur la constitution de l'air pendant l'année 1709. à Zurich en Suisse », *MARS* 1710:155-158.
- La Hire, Ph. de (1714a), « Observations de la hauteur de l'eau qui est tombée à l'Observatoire pendant l'année 1710, avec celles du Thermometre & du Barometre », *MARS* 1711:1-4.
- La Hire, Ph. de (1714b), « Comparaison de nos observations sur la hauteur de l'eau de pluye et sur le barometre, avec celles que M. Scheuchzer a faites à Zurich en Suisse pendant l'année 1710 », *MARS* 1711:4-5.
- La Hire, Ph. de (1714c), « Observations Sur la Pluye, sur le Thermometre & sur le Barometre, à l'Observatoire Royal, pendant l'année 1711 », *MARS* 1712:1-5.
- La Hire, Ph. de (1714d), « Comparaison des observations faites à Zurich sur la pluie et sur le barometre, avec les précédentes pendant la même année », *MARS* 1712:6-8.
- La Hire, Ph. de (1716), « Observations météorologiques faites à l'Observatoire royal », *MARS* 1713:1-4.
- La Hire, Ph. de (1717), « Observations sur l'eau de la pluie, sur le Thermometre, & sur le barometre pendant l'année 1713. à l'Observatoire royal », *MARS* 1714:1-5.
- La Hire, Ph. de (1718), « Observations météorologiques faites à l'Observatoire Royal pendant le cours de l'Année 1715 », *MARS* 1716:1-6.
- La Hire, Ph. de (1719a), « Observations météorologiques faites à l'Observatoire Royal pendant l'année 1716 », *MARS* 1717:1-6.
- La Hire, Ph. de (1719b), « Observations météorologiques faites à l'Observatoire royal pendant le cours de l'année 1717 », *MARS* 1718:1-5.
- La Hire, Ph. de (1730), « Observation de la quantité d'eau de pluye, qui est tombée à Paris durant les quatre dernières années », *Mémoires de l'Académie royale des sciences. Depuis 1666 jusqu'à 1699*, t. X, Paris, Compagnie des libraires, 251-252.
- La Hire, Fils, Ph. de (1707), « Dissertation sur les barometres et thermometres », *MARS* 1706:432-442.
- La Hire, Fils, Ph. de (1712), « Experiences sur les thermometres », *MARS* 1710:546-552.
- La Hire, Fils, Ph. de (1721), « Observations météorologiques faites à l'Observatoire royal pendant l'année 1719 », *MARS* 1719:1-9.
- Landry-Deron, I. (2001), « Les mathématiciens envoyés en Chine par Louis XIV en 1685 », *Archives for History of Exact Sciences*, 55:423-463.
- Lavoisier, A. (1865), « Extraits des observations qui doivent être lues à la rentrée prochaine de l'Académie Royale des Sciences sur le froid de 1776 et sur sa comparaison avec celui de 1709 », *Œuvres de Lavoisier, Tome III*, Paris, Imprimerie impériale.

- Legrand, J.-P. et Le Goff, M. (1992), *Les observations météorologiques de Louis Morin*, Monographie n°6, volume 2, Direction de la Météorologie Nationale.
- Legrand, J.-P. et Le Goff, M. (1992), « Louis Morin et les observations météorologiques sous Louis XIV », *La Vie des Sciences, Comptes rendus* 4(3):251-281
- Licoppe, C. (2002), « The project for a map of Languedoc in eighteenth-century France at the contested intersection between astronomy and geography », in Bourguet Marie-Noëlle, Licoppe Christian, Sibum H. Otto (eds), *Instruments, Travel and Science. Itineraries of precision from the seventeenth to the twentieth century*, London, New York, Routledge, 59-60.
- Locqueneux, R. (2015), *Baromètres, machines pneumatiques & thermomètres. Chez & autour de Pascal, d'Amontons & de Réaumur*, L'Harmattan, Paris.
- Lowthorp, J. (1700), « An experiment of the refraction of the air made at the command of the royal society », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 1699, 21(257):339-342.
- Maraldi, J. Ph. (1705), « Expériences du barometre faites sur diverses montagnes de la France », *MARS* 1703:229-237.
- Maraldi Jacques-Philippe (1711), « Comparaison des Observations du Barometre faites en differens lieux », *MARS* 1709:233-246.
- Mariotte, E. (1679a), « De la nature de l'air », dans *Essays de phisique ou mémoires pour servir à la science des choses naturelles*. Paris : E. Michallet.
- Mariotte, E. (1679b), « Discours du chaud et du froid », dans *Essays de phisique ou mémoires pour servir à la science des choses naturelles*. Paris : E. Michallet.
- Mariotte, E. (1686), *Traite du mouvement des eaux et des autres corps fluides*. Paris : E. Michallet.
- Mariotte, E. (1740), *Œuvres de Mariotte*, 2 t. La Haye : J. Neaulme.
- Martine, G. (1751), *Essais sur la construction et comparaison des thermometres*. Paris : Durand, Pissot.
- Mayrargue, A. (2009), « Air, lumière et matière réfractive », *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie* 44:47-60.
- Maze (abbé) (1895), « Sur la plus ancienne série française d'observations thermométriques et météorologiques », *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 22 juillet 1895.
- Morland, S. (1685), *Elevation des eaux par toute sorte de machines*. Paris : Estienne Michallet.
- Périer, F. (1663), « Recit de la grande Experience de l'Equilibre des Liqueurs. Projectée par le Sieur B. Pascal », dans B. Pascal, *Traitez de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*. Paris : Guillaume Desprez, 165-194.
- Perrault, P. (1674), *De l'origine des fontaines*. Paris : Pierre le Petit.
- Pfister, C., and Bareiss W. (1994), « The climate in Paris between 1675 and 1715 according to the Meteorological Journal of Louis Morin », in Frenzel Burkhard et al. (eds.), *Climatic Trends and Anomalies in Europe 1675-1715*. Stuttgart : Gustav Fischer Verlag, 151-172.
- Picard, J. (1671), *Mesure de la Terre*. Paris : Imprimerie royale.
- Picard, J. (1677), « Experience faite à l'Observatoire sur le Barometre simple touchant un nouveau Phenome qu'il a decouvert », *Journal des Sçavans, de l'An M. DC. LCCV.*, Amsterdam : Pierre le Grand, 132.
- Picard, J. (1693), « Observations astronomiques faites en divers endroits du royaume. Par Monsieur Picard », dans *Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de Sa Majesté, pour perfectionner l'astronomie et la géographie. Avec divers traités astronomiques*. Paris : Imprimerie Royale.
- Picard, J. (1729), « Observations astronomiques faites en divers endroits du Royaume, en 1672, 1673, 1674 », *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences depuis 1666 jusqu'à 1699, t. VII, Partie I*. Paris : Compagnie des libraires.
- Picolet, G. (2000), « Observatoire de Paris », dans Wilbur Applebaum (ed.), *Encyclopedia of the Scientific Revolution. From Copernicus to Newton*. New York, London : Garland Publishing.
- Picolet, G. (2019), « L'Observatoire royal cadre de vie et de travail de Philippe de La Hire de 1682 à 1718 », *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 69:182-183.
- Picolet, G. (2020), « Cusset Ennemond (1654-1697) : un académicien des sciences juge garde de la Monnaie de Lyon », *Revue d'histoire de Lyon* 6:139-211.
- Renou, É (1876), « Histoire du thermomètre », *Annuaire de la Société Météorologique de France*, t. 24, Gauthier-Villars, F. Savy, Paris, 19-72.
- Richer, J. (1693), « Observations astronomiques et physiques faites en l'Isle de Caïenne », dans *Recueil d'observations faites en plusieurs voyages par ordre de Sa Majesté, pour perfectionner l'astronomie et la géographie. Avec divers traités astronomiques*. Paris : Imprimerie Royale.

- Rousseau, D. (2013), « Les moyennes mensuelles de températures à Paris de 1658 à 1675. D'Ismaël Boulliau à Louis Morin », *La météorologie* 81:11-22.
- Rousseau, D. (2019), « Le cahier d'observations météorologiques de Réaumur. Ses mesures de températures de 1732 à 1757 », *La Météorologie* 105:21-28.
- Saint-Yves, G. (1895), « Un voyageur bas-alpin. Le Père Louis Feuillée », *Bulletin de géographie historique et descriptive* (1):302-325.
- Sédileau (1693), « De l'origine des rivières, & de la quantité de l'eau qui entre dans la mer & qui en sort », *Mémoires de Mathématique et de Physique*. Paris : Imprimerie royale, 81-93.
- Sédileau (1730), « Observations de la quantité de l'Eau de pluie tombée à Paris durant près de trois années, & de la quantité de l'évaporation », *Mémoires de l'Académie royale des sciences. Depuis 1666 jusqu'à 1699, t. X*. Paris : Compagnie des libraires, 35-36.
- Slonosky, V. C. et al. (2001), « Instrumental pressure observations and atmospheric circulation from the 17th and 18th centuries: London and Paris », *International Journal of Climatology* 21:285-298.
- Slonosky, V. C. (2003), « The Meteorological Observations of Jean-François Gaultier, Quebec, Canada : 1742-56 », *Journal of Climate* 16:2232-2247.
- Tachard, G. (1686), *Voyage de Siam, des peres jesuites, envoyez par le Roy aux Indes & à la Chine*. Paris : A. Seneuze, D. Hortemels.
- Tachard, G. (1689), *Second voyage du père Tachard et des jesuites envoyez par le Roy au royaume de Siam*. Paris : D. Hortemels.
- Taton, R. (1976), « Les origines et les débuts de l'Observatoire de Paris », *Vistas in Astronomy* 20:65-71.
- Townley, R. (1694), « A letter from Richard Townley, of Townley in Lancashire, Esq; containing Observations of the Quantity of Rain falling Monthly, for several Years successively », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 1693, 18(208):51-58.
- Wolf, C (1902), *Histoire de l'Observatoire de Paris de sa fondation à 1793*. Paris : Gauthier-Villars.