



**HAL**  
open science

# L'observation thermique de l'atmosphère en France et dans les pays proches aux dix-septième et dix-huitième siècles : L'invention du thermomètre. Le traitement des données anciennes.

Michel Beaurepaire

► **To cite this version:**

Michel Beaurepaire. L'observation thermique de l'atmosphère en France et dans les pays proches aux dix-septième et dix-huitième siècles : L'invention du thermomètre. Le traitement des données anciennes.. Histoire de la Physique [physics.hist-ph]. Université Paris-Sorbonne - Paris IV, 1994. Français. NNT: . tel-00962194

**HAL Id: tel-00962194**

**<https://theses.hal.science/tel-00962194>**

Submitted on 20 Mar 2014

**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.

UNIVERSITE DE PARIS SORBONNE - PARIS IV

INSTITUT D'HISTOIRE

UFR : CIVILISATION DE L'OCCIDENT MODERNE

THESE DE DOCTORAT

Thèse préparée sous la direction du Professeur Jean MEYER

PRESENTEE PAR

**Michel BEAUREPAIRE**

Pour obtenir le titre de docteur de l'Université de PARIS IV  
PARIS SORBONNE

En lettres et sciences humaines

L'OBSERVATION THERMIQUE DE L'ATMOSPHERE

EN FRANCE ET DANS LES PAYS PROCHES

Aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles

L'invention du thermomètre - Le traitement des données  
anciennes

Soutenue le 26 avril 1994 devant la commission d'examen :

M. Yves Marie BERCE      président

Mme Denise CRUETTE  
M. Jean Louis GAUMET  
M. André LEBEAU  
M. Jean MEYER

**1994**

*Je souhaite commencer cette thèse en remerciant tous ceux qui ont aidé et encouragé, le scientifique que je suis, à aborder les savants d'une autre époque afin de découvrir leurs travaux.*

*Je remercie Monsieur Jean MEYER, professeur à l'Université de Paris IV, qui a très favorablement accueilli mon projet et m'a conduit vers la réalisation d'un passionnant travail.*

*Je remercie également Monsieur André LEBEAU, Directeur de METEO-FRANCE, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail; ainsi que Messieurs Marc GILET et Michel ROCHAS, Directeurs du SETIM pour m'avoir autorisé à effectuer des recherches documentaires auprès des bibliothèques parisiennes.*

*Pour ce long et difficile travail de recherches de sources documentaires je ne saurais trop remercier l'aide précieuse apportée par monsieur Jacques SIMEON, Chef de la bibliothèque de METEO-FREANCE, qui a mis à ma disposition cette bibliothèque; ainsi que Jacques DAMIENS pour les conseils précieux qu'il m'a apporté.*

*Mes remerciements vont également à Madame Michèle LENOIR, Conservateur en Chef de la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine, et à ses assistants pour m'avoir confié des manuscrits vieux de deux siècles.*

*C'est également aux documentalistes de la Cité des Sciences et de l'industrie que j'adresse mes remerciements pour m'avoir ouvert les portes de leur fond ancien.*

*J'ai une pensée aussi pour Messieurs Roger BEVING et Pierre GREGOIRE, spécialistes en métrologie, pour leurs précieux conseils.*

*Que tous ceux qui m'ont apporté un soutien, des informations, des conseils soient remerciés.*

## INTRODUCTION

L'histoire de la météorologie c'est l'histoire d'une science de l'atmosphère. A la limite de deux disciplines, elle aborde tous, ou presque tous les domaines de la physique. Les découvertes, les progrès scientifiques et techniques sont pilotés par la logique historique du développement scientifique. La découverte du thermomètre peut être considérée comme une succession de découvertes. Ces dernières sont liées par une logique : historique, scientifique, certes, mais aussi humaine. Ce sont avant tout des hommes qui avec les acquis, les connaissances de leurs prédécesseurs, les moyens dont ils disposaient à l'époque, leur manière de vivre, leur richesse, la vie sociale, les régimes politiques, le temps météorologique (périodes plus froides ou chaudes)... et toutes les influences ressenties et subies, ce sont donc ces hommes qui ont fait de la science ce quelle est aujourd'hui.

Le choix d'orienter les recherches vers l'histoire de l'observation de la température de l'air n'est pas un hasard. La température est d'une part un paramètre de base pour les

mesures météorologiques et, d'autre part sa mesure est effectuée depuis suffisamment longtemps (près de quatre siècles) pour qu'on puisse parler (la presse notamment) de son évolution actuelle et future. Face au très probable changement climatique des prochaines décennies, la connaissance du degré thermique de l'air depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle revêt actuellement une importance inégalée compte tenu des enjeux économiques.

Pour mener à terme ce travail délicat, la méthodologie constructive adoptée permet, de réaliser ce document d'une manière efficace. Les lacunes mises en évidence par la recherche de la logique de l'évolution historique définissent les axes de recherche à poursuivre. L'ensemble documentaire de recherche a été considéré comme une bibliothèque à part entière dotée des outils qui lui sont dévolus. La gestion rigoureuse des 500 documents consultés permet de retrouver facilement ce qui concerne un auteur ou un thème particulier. Pour plus de clarté, les citations reproduites dans la langue dans laquelle j'ai eu accès, sont décalées de deux centimètres de la marge. Elles sont suivies des références documentaires. La police de caractères différente permet de distinguer plus facilement les éléments provenant d'autres auteurs. Les traductions décalées également de deux centimètres par rapport à la marge sont en italique.

Quand a-t-on inventé le thermomètre? Connaissez-vous son histoire? Il suffit de parcourir les bibliothèques et d'emprunter un ouvrage pour le savoir. Mais avez vous cherché dans les rayons spécialisés à l'histoire des sciences un livre

se rapportant à l'histoire du thermomètre? Pour vous aider dans votre recherche je vous invite à rechercher les ouvrages des auteurs suivants : BARNETT (1), DETTWILLER (2), FIERO (3), FRISINGER (4), MIDDLETON (5), RENOUE (6), SCHNEIDER-CARIUS (7). Certains ouvrages commencent l'histoire du thermomètre au XVIII<sup>e</sup> siècle. Il est vrai que la phase principale se situe du XVIII<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle, mais pour la comprendre totalement, et par là même connaître l'origine du thermomètre, l'évolution de la pensée humaine, le cheminement suivi, ce n'est pas durant la Renaissance qu'on trouve la réponse mais près de deux millénaires plus tôt.

Après les premières tentatives antiques, des repérages plus sérieux, suite de ces expériences, eurent lieu dès la fin du XVI<sup>e</sup> siècle. Le premier thermomètre à air utilisant la propriété de la dilatation de l'air fut réalisé en 1608 par le médecin italien SANCTORIUS. Les recherches faites sur cette invention ont enfin levé le doute à ce sujet.

Une découverte scientifique peut avoir des conséquences redoutables sur les précédentes, à tel point que les acquis du passé peuvent-être remis en question. Lorsque TORRICELLI découvrit l'existence de la pesanteur, le thermomètre à air tout juste inventé quatre décennies plus tôt fut remis en question. Mais le fondement du problème, le principe du repérage de la température basé sur la dilatation d'un fluide ne changea pas. Les connaissances acquises en physique de la mesure thermique avec les premiers thermomètres furent une

aide qui s'avéra très précieuse. Elle facilita l'introduction soudaine des thermomètres scellés.

Cette double invention du thermomètre témoigne de la difficulté à apprécier la chaleur. Elle se traduit par la difficulté à réaliser un appareil qui saisisse une quantité abstraite afin de rendre préhensible le niveau auquel elle se situe. Avant d'arriver à une mesure absolue de la température, tous les essais des savants n'étaient que repérages par rapport à une base que chacun définissait au mieux. Le choix d'une base commune n'a pas été évident du fait de sa variabilité mesurée à l'époque (qui n'était pas forcément fondée).

Une fois le thermomètre inventé, le cheminement de ses modifications ou les méandres d'un fleuve sinueux, ne sont pas d'une utilité évidente. C'est pourquoi après l'histoire de la découverte du thermomètre à air, de la mise subite à la lumière des travaux qui ont donné le jour au thermomètre scellé et de sa première utilisation en réseau d'observation, je n'ai retenu que les évolutions qui ont de l'importance dans le domaine de la physique de la mesure. La recherche des points fixes est un domaine de base pour la construction de cet instrument. La recherche des principales phases montre combien la pensée de l'homme fut incertaine. L'exploitation des thermomètres et la recherche d'un instrument meilleur furent associés dès la naissance de cet instrument. Organisée ou individuelle, l'observation thermique de l'air n'a jamais cessé depuis qu'elle fut possible.

Le thermomètre en usage en France et recommandé dès le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle fut celui de REAUMUR. Ce thermomètre annulant les défauts des autres en théorie, était à cette époque pratiquement irréalisable. Les "faiseurs d'instruments" qui n'ont pas toujours les connaissances physiques qu'il serait utile d'avoir, fabriquent de leur mieux des thermomètres, qui ne s'accordent pas entre eux. Cette pénurie dura près d'un demi siècle et l'on s'affranchit de ces grossières erreurs qu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle juste au moment où la Société Royale de Médecine lança sa grande enquête.

Avant la mise en place du réseau d'observation, par LE VERRIER en 1855, (toujours en exploitation actuellement) un important réseau d'observations météorologiques, sous l'égide de la Société Royale de Médecine (SRM), prit le "pouls météorologique" de la France durant les années 1776-1792. Sans être parfaitement fiable, le thermomètre est bien avancé, et des consignes pour une observation de qualité sont déjà données. L'étude des données thermiques de cette période a fait l'objet d'une publication (8) il y a une vingtaine d'années. Celle-ci souffre de l'absence d'une étude météorologique qui aurait apporté la crédibilité de son analyse. Néanmoins, elle a le mérite d'exister. L'étude récente sur les zones climatiques de la France, la maîtrise bien avancée du thermomètre, la singularité climatique sur l'Europe à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, le sérieux et l'importance du réseau



d'observation, sont les éléments qui motivent une étude fouillée du fond météorologique de cette enquête.

L'effort porte essentiellement sur la manière d'observer la température, sur le thermomètre utilisé et comment il était installé. Le peu de renseignements, le manque de précision sur ce qui s'est fait, accroît la difficulté pour retracer le climat du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant. Quelle est la limite de la précision d'une mesure thermique qu'il est possible d'espérer? Est-il possible de définir le climat de la France de cette époque à partir des observations thermiques faites par les médecins? La comparaison du climat actuel avec celui de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle est-elle envisageable?

La comparaison thermique, entre un thermomètre fixé contre un mur orienté au nord et un thermomètre sous abri, décèle des différences de température observées selon le type de thermomètre et suivant les conditions météorologiques. Cette étude comparative, faite à Trappes, permet de définir les axes d'évolution dans le domaine de la comparaison thermique.

Compte tenu des possibilités actuelles des stations météorologiques, et des résultats de l'étude statistique, il est possible d'envisager différemment la comparaison des séries thermiques anciennes. Celle-ci est alors envisagée dans le sens où la température est prise dans son environnement météorologique et non détachée de tout contexte.

La mise au point du thermomètre, la mesure de la température ou plutôt le repérage quantitatif de la chaleur, c'est à dire la matérialisation de quelque chose qui n'est pas visible, a demandé tant d'efforts à l'homme, qu'elle mérite que soient recherchées les origines exactes. Les mesures faites avec les premiers instruments, avec tout le sérieux et les connaissances qu'il était possible d'avoir à l'époque, demande aujourd'hui que ce travail ne soit pas oublié. La méthodologie proposée, montre qu'il est possible de nos jours, compte tenu des possibilités actuelles des stations météorologiques, de connaître le climat du passé et de le comparer au climat actuel. Cette étude n'est possible qu'après une validation métrologique des mesures effectuées, c'est l'objet de cette thèse.

## NOTES DE RENVOI

- (1) BARNETT M. K. (Cote : 01)  
The development of thermometry and the temperature concept  
BRUGES, 1956
- (2) DETTWILLER Jacques (Cote : 05)  
Chronologie de quelques évènements météorologiques en France et ailleurs  
Monographie de la Météorologie Nationale N°1  
BOULOGNE, Météorologie Nationale, 1982
- (3) FIERO Alfred (Cote : 340)  
Histoire de la météorologie  
PARIS, Denöel, 1991
- (4) FRINSINGER Howard (Cote : 07)  
The history of meteorology to 1800  
Science history publication, Monographie de l'AMS  
NEW-YORK, AMS, 1977
- (5) MIDDLETON W.E.Knowles (Cote : 10)  
A history of the thermometer and its use in meteorology  
BALTIMORE (USA), 1966
- (6) RENOUE Emilien (Cote : 12)  
Histoire du thermomètre  
Annuaire de la Société Météorologique de France Tome XXIV,  
page(s) : 19-72; SMF, 1876
- (7) SCHNEIDER-CARIUS Karl (Cote : 78)  
Weather science weather research. History of their problems and findings from documents during three thousand years  
Traduit de l'Allemand  
NEW DELHI (USA), INSDC, 1955
- (8) DESAIVE J.P., GOUBERT E., LEROY LADURIE E., MEYER J., MULLER O., PETER J.P. (Cote : 285)  
Médecins, climat épidémies à la fin du XVIIIè siècle  
PARIS, Mouton, 1972

## REPERAGES CHRONOLOGIQUES

Les dates qui sont indiquées ci-après n'ont pas la prétention de rassembler toutes les principales découvertes et tous les principaux progrès importants en météorologie. Ces points de repère sont liés à la thermométrie et à l'invention du baromètre.

- IV<sup>e</sup> siècle avant J.C. : le chaud et le froid sont deux des quatre qualités selon ARISTOTE.
- 250 avant notre ère : réalisation de la "machine" montrant l'effet de la chaleur par PHILON DE BYZANCE. Son précepteur CTESIBIUS D'ALEXANDRIE l'aurait peut-être fait auparavant (p21).
- I<sup>er</sup> siècle de notre ère : HERON D'ALEXANDRIE reproduit à nouveau cette machine. Il la décrit dans "*les pneumatiques*" (p21).
- II<sup>e</sup> siècle : Première graduation de la notion de chaleur par Claude GALIEN. Son échelle comporte quatre degrés de chaud, autant de froid et un point milieu (p24).
- XIV<sup>e</sup>-XVI<sup>e</sup> siècles : Sortie de l'obscurantisme, abandon des croyances abstraites comme unité suprêmes recherche de la connaissance des choses réelles et de la nature. Les italiens se précipitent en Orient, consacrent toute leur fortune pour retrouver les manuscrits de la Grèce antique et pour les faire traduire en latin.
- 1575 : Publication en latin des "*pneumatiques*" d'HERON D'ALEXANDRIE.
- 1578 : Publication d'une échelle de température par HASLER (p25).
- 1586 : Simon STEVIN pense que la pression de l'air limite l'action des pompes à eau (A, p).
- 1589 : Giambattista DELLA PORTA publie les "*Magies naturelles*", large diffusion de l'expérience Héronienne. Le déplacement de l'eau est expliqué par la dilatation de l'air sous l'action du soleil (p26).

- 1603 : Expériences publiques de GALILEE montrant que la variation du niveau de l'eau dans le tuyau est due à la variation de chaleur (p29).
- Au début du XVII<sup>e</sup> siècle, GALILEE anéantit les idées d'ARISTOTE, le chaud et le froid ne sont pas deux qualités fondamentales, mais une seule, le froid étant l'absence de chaleur. Il émet l'idée maîtresse que la raréfaction de l'air est dépendante de la chaleur. Il mentionne la nécessité de température homogène entre l'air qui entoure et le thermomètre et l'instrument (p31).
- 1608 : Bénéficiant de chutes considérables de neige durant l'hiver, SANCTORIO réalise le premier thermoscope avec deux points fixes (chaleur de la neige, et chaleur de la flamme d'une bougie) et un point milieu. C'est le premier instrument de repérage quantitatif de la chaleur. Il l'utilisera à des fins médicales (p36).
- 1611 : TELIOUX publie la description d'un thermomètre particulier (p47).
- 1612 : ANTONINI réalise un thermoscope à deux bulbes en forme de J. Il en informe immédiatement GALILEE qui entreprendra des travaux avec SAGREDO (p43).
- 1613 : Observation de la température de l'air durant deux semaines.
- 1615 : Apparition des premières conditions d'observation : le thermoscope doit être abrité du soleil.
- 1615 : SAGREDO marque zéro à la chaleur du mélange glace, eau et sel (p88).
- 1615 : SAGREDO obture l'orifice des thermoscopes. Il n'utilisa pas cet appareil car il est très peu sensible aux variations de température (p53).
- 1631 : REY utilise la dilatation de l'eau dans une petite bouteille avec un long cou pour repérer les variations de chaleur (p55).
- 1631 : DESCARTES tente une expérience montrant qu'il ne peut y avoir d'espace libre sans que celui-ci soit occupé par l'air.
- 1644 : Première expérience réussie de la pression atmosphérique par TORRICELLI et VIVIANI.
- 1648 : L'expérience du Puy de Dôme conduite par PERIER, mandaté par PASCAL, montre que la pression atmosphérique diminue lorsqu'on s'élève.
- 1649-1650 : Probablement : premier thermomètre scellé des savants florentins sous la direction de FERDINAND II (p61).
- 1654 : Diffusion et utilisation du thermomètre florentin en Italie (60).
- : Plus ancienne mesure de la température de l'air à Paris (p75).
- 1664 : HOOKE note zéro au point de congélation (p89).
- 1664 : HALLEY propose le degré de chaleur des lieux sous terre comme point de référence thermique (90).
- BOYLE souligne l'absence de référence pour la mesure thermique (p91).
- 1665 : HUYGENS propose deux points de référence : congélation et ébullition de l'eau (p92).

- 1667 ou quelques années avant, les physiciens de l'Académie del Cimento avaient doté le thermomètre d'une division décimale.
- 1701 : NEWTON réalise un thermomètre à échelle duodécimale, les points fixes sont le terme de la fusion de la glace et la température d'un homme en bonne santé. C'est la première utilisation de la chaleur humaine comme point fixe pour les thermomètres (p93).
- 1702 : ROEMER construit un thermomètre reproductible dont les deux points fixes sont le point de fusion de la glace et le point d'ébullition. Ce dernier est au 60<sup>e</sup> degré, le point de fusion est au 1/8<sup>e</sup> de l'échelle (p6).
- 1713 : Premiers thermomètres à mercure de FAHRENHEIT commercialisés en 1717 (p96).
- 1724 environ : Le thermomètre de DELISLE indique zéro au terme de l'eau bouillante, et 100 à la température des caves de l'Observatoire de Paris. C'est la première division en 100 degrés entre deux termes fixes (p99).
- 1730 : REAUMUR publie les règles pour construire un thermomètre à un seul point fixe. Le point de congélation de l'eau est repéré à zéro (p99).
- 1740 environ : LINNE modifie l'échelle de DELISLE en une échelle centigrade avec zéro au terme de la glace (p101).
- 1741 : CELSIUS modifie l'échelle du thermomètre de DELISLE avec 100 au terme de la glace (p100).
- 1743 : CHRISTIN présente à l'Académie des beaux arts de Lyon un thermomètre centigrade construit sur les principes du thermomètre de REAUMUR (p103).
- 1745 : LINNE fit connaître le thermomètre centigrade (p101).
- 1776-1792 : Observation du climat de la France sous l'égide de la Société Royale de Médecine (280).
- 1777 : CAVENDISH propose de placer le thermomètre dans la vapeur d'eau bouillante pour déterminer le point 100 (p155).
- 1794 : Décision de prendre l'échelle centigrade par la commission des poids et mesures (p105).
- Milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, le verre des thermomètres est recuit pour supprimer le décalage de zéro (p153).
- 1835 : Apparition des premiers écrans : SNOW-HARRIS, MARTIN A VENTOR (p169).
- 1856 : Généralisation de l'utilisation de l'appareil de REGNAULT pour déterminer le point 100 dans la vapeur d'eau bouillante (p156).
- Fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le thermomètre est de conception semblable aux thermomètres actuels.
- 1948 : Le Comité International des poids et Mesures appelle le degré centésimal le degré Celsius (p106).

## CHAPITRE 1

<p style="text-align: center;">LA DOUBLE INVENTION DU THERMOMETRE</p>
---

Le début du XVII<sup>e</sup> siècle est une période où les traditions anciennes s'effacent au profit d'esprits scientifiques qui appuient leurs théories sur l'expérience et qui ouvrent la voie à la science moderne. L'un des moteurs incontestable de cette évolution de pensée fut Galileo GALILEE (1564-1642). La preuve irréfutable de l'expérience pour découvrir la réalité et l'explication des phénomènes, que GALILEE s'efforça de défendre fut si fortement ressentie dans les cercles scientifiques que les savants eurent en eux la force et la volonté de continuer dans ce sens. Cet élan fut si fort au XVII<sup>e</sup> siècle qu'un mouvement se créa en Italie, se développa et s'étendit à toute l'Europe.

L'histoire du thermomètre pourrait débiter à cette époque. Il est vrai que la phase principale se situe du XVII<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup>

siècle, mais pour la comprendre totalement et par là même connaître son origine, ce n'est pas durant la Renaissance qu'on trouve la réponse mais près de deux millénaires auparavant. C'est à l'époque antique que l'homme a réalisé le premier appareil sensible aux variations du chaud et du froid. Bien que ces premiers instruments n'aient donné lieu à aucune mesure, méconnaître les conceptions et les principes mis au point par les savants de l'époque seraient préjudiciables quant à la compréhension des développements futurs des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles.

Avant de réaliser un thermomètre qui se rapproche de nos thermomètres actuels, les savants ont construit dès le début du XVII<sup>e</sup> siècle un thermomètre à air ou thermoscope sur le modèle de leurs aînés. Cet instrument qui fait correspondre à des chaleurs différentes, des valeurs numériques différentes, avait l'énorme inconvénient d'être sensible à la pression atmosphérique. Même si les indications numériques ne sont d'aucun apport, c'est néanmoins le premier instrument qui "*mesure la température*".

Le rapprochement de sa description scientifique avec le temps de l'époque, permet de dater l'invention du thermomètre à air, et d'en attribuer le mérite au médecin italien Sanctorius SANCTORIUS (1561-1636). C'est avec cet instrument que les premiers principes et conditions de mesure de la température furent découverts. Cette invention est plus importante que les améliorations ultérieures, qui sont certes d'une importance capitale, mais qui n'ont rien changé quant au principe



physique de base de la mesure de la température : le repérage quantitatif de la variation du volume d'un fluide associé aux variations de la chaleur.

Le thermomètre scellé, soustrait des variations de la pression atmosphérique, vit le jour au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, peu de temps après la découverte de l'existence de la pression atmosphérique. Le thermoscope a beaucoup appris aux savants; le thermomètre bénéficia de cette expérience. Il fut rapidement et largement utilisé en Europe.

Avant la découverte d'un appareil mesurant les degrés de chaleur il n'était pas possible de dire si l'eau des bains de Bourbon-L'archambault était plus chaude ou plus froide, et de combien, que celle de Bourbon-Lancy ou autre pays (1). On ne savait comment s'y prendre pour avoir un degré de chaleur égal en tout temps, en tout lieu, été comme hiver. Seules des expériences permettaient d'estimer d'une façon peu certaine le degré de chaleur de l'eau. C'était par exemple, l'observation du changement de couleur de l'oreille mise dans l'eau, ou bien le temps mis par un oeuf frais pour cuire (2).

D'une valeur scientifique plus sûre, les dates des vendanges sont utilisées comme indicateur de chaleur estivale. Les critères pour qualifier un hiver rude sont relatifs aux rivières et mers gelées et à leur durée. L'abondance de la neige est aussi citée. Ces informations sont qualitatives et il est fort difficile et malaisé de comparer les étés et les

hivers entre eux afin, par exemple, de rechercher le plus rigoureux.

L'invention du thermomètre fut d'un apport considérable pour la météorologie, et plus généralement pour la science. Mais avant de décrire son histoire, pour une meilleure compréhension, les quelques lignes qui suivent précisent la description, le fonctionnement et les défauts du thermoscope ou thermomètre à air.

Les thermoscopes eurent différentes formes ou signatures de leurs auteurs. Mais lorsqu'on regarde de plus près il n'existait en réalité que deux types de thermoscopes : le "*thermoscope italien*" et le thermoscope dit le "*Dutch*" ou thermoscope à deux bulbes en forme de J. Le premier est constitué d'une sorte de carafe (long tube de verre comportant une boule de la taille d'un oeuf à son extrémité) renversée au-dessus d'un vase plein d'eau ou "*d'esprit de vin*" (mélange d'eau et d'alcool). L'extrémité ouverte du tube du second est recourbée et terminée par une boule qui contient de l'eau. Tous les deux fonctionnent de la même manière : un volume d'air, emprisonné dans la boule et dans l'extrémité supérieure du tube, tient en équilibre un liquide qui est le plus souvent coloré. L'autre extrémité du tube est ouverte. Sous l'effet de la variation de la chaleur les modifications volumétriques de l'air emprisonné, déplacent la surface eau-air à l'intérieur du tuyau. Cette limite, en regard d'une planchette graduée, indique les degrés de chaleur. Du fait que le tube est ouvert,

le poids de la colonne d'air (ou pression atmosphérique) intervient dans l'équilibre.

Le "*thermoscope italien*" est le plus ancien (1608). Il est composé de deux pièces (la carafe en verre et le vase). Le cou de la carafe est gradué. L'association délicate de ces éléments ne facilitait pas le transport (Fig 1.1).



Fig.1.1 Thermomètre à air "*thermoscope italien*" (Illustration tirée de D'ALENCE p 63).

Le second Plus facilement transportable appelé le "*Dutch*" apparut en 1612 (Fig 1.2). Il est constitué d'une seule pièce en verre. Le tube est recourbé en sa partie inférieure afin de lui donner une forme de J. La partie rectiligne du tube est graduée. Un second bulbe à l'autre extrémité, ouvert à la pression atmosphérique, contient la réserve d'eau.



Fig. 1.2 Thermomètre à air, ou thermoscope à deux bulbes, dit le "*Dutch*" en forme de J (Illustration tirée de D'ALENCE p 65)

Excepté le fait que les thermoscopes étaient sensibles à la pression atmosphérique, les savants reconnurent à cet instrument beaucoup de défauts et d'imperfections. Certains sont liés à l'appareil, d'autres à des principes de physique ou aux méthodes de construction. L'évaporation, le ternissement et la modification de la composition du liquide sont des causes d'erreurs imperceptibles à variation lente.

Par ailleurs, compte tenu de l'importance du volume d'air, la mise en équilibre thermique était longue. Ainsi les variations brusques de température n'étaient pas correctement perçues. Enfin ces instruments n'étaient pas faits pour être transportés. Cela ralentissait la diffusion, celle-ci s'effectuait plutôt par transfert d'information.

Pour remédier à ces défauts, dès qu'ils ont eu connaissance du trouble apporté par la pression atmosphérique, les savants ont réalisé un autre instrument : le thermomètre scellé. Ce dernier est de forme et de fonctionnement analogue à nos thermomètres actuels.

L'invention du thermomètre est double : celle du thermomètre à air, puis celle du thermomètre scellé. Ce chapitre propose de revivre ces découvertes avec les savants, qui fortement motivés, ont mis au point un instrument repérant les niveaux de chaleur par des degrés.

## 1.1 LE PREMIER APPAREIL SENSIBLE

### AU CHAUD ET AU FROID

Vers 250 avant J.C., CTESIBIUS D'ALEXANDRIE (310 av J.C.-250 av J.C.) ou son disciple PHILON DE BYZANCE (300 av J.C.-xxx) ont réalisé un appareil dans lequel l'eau se déplace sous l'effet de la dilatation de l'air (Fig 1.3). C'est l'appareil le plus ancien, sensible à la chaleur, construit pour montrer ses effets, qui soit connu.

Cet appareil est constitué d'un vase plein d'eau et d'un ballon en plomb vide. Ils sont reliés en chacun des sommets par un tube en U qui s'approche le plus possible du fond des deux récipients. La liaison entre le ballon et le tube doit être étanche à l'air. Lorsque l'appareil est placé au soleil, l'air du ballon dilaté par la chaleur, s'échappe par le vase plein d'eau (des bulles d'air remontent à la surface de l'eau). Si le ballon en plomb est mis à l'ombre, l'air contenu dans ce ballon se refroidit et l'eau du vase monte dans le tube en U, puis s'écoule dans le ballon refroidi. Un nouvel échauffement refoule l'eau qui s'était écoulée dans le ballon en plomb vers le vase. PHILON de BYZANCE observe le même effet en changeant le soleil par le feu ou l'eau chaude. Il ne semble pas qu'il ait poursuivi ses expériences, ne cherchant pas à mesurer quantitativement les degrés de chaud ou de froid (3). Les matériaux utilisés, non transparents, ne s'y prêtaient pas. L'observation de l'écoulement de l'eau d'un

réceptif vers l'autre suffisait à satisfaire la curiosité de l'époque.

PHILON DE BYZANCE décrivait ainsi sa machine :

"L'air et le feu sont aussi en communion par leur nature, et c'est pour cela que le premier est attiré par le second, ainsi qu'il résulte de ce que nous allons dire. Que l'on fasse un ballon de plomb, vide à l'intérieur et d'une capacité médiocre; qu'il ne soit pas trop mince, pour ne pas se rompre facilement, ni pesant, mais qu'il soit bien sec pour que ce que nous désirons se produise mieux. Qu'on y adapte un canal recourbé descendant presque jusqu'au fond; qu'on place l'autre extrémité de ce tube dans un autre vase plein d'eau, en le faisant descendre presque jusqu'au fond comme dans le premier, afin que l'eau puisse plus facilement s'écouler. Soit A le ballon, B le canal et G le vase. Je dis donc que si vous exposez le ballon au soleil, quand le ballon sera échauffé, une partie de l'air enfermé dans le canal sortira à l'extérieur, et cela sera visible parce que l'air tombe du canal dans l'eau, l'agite et produit de nombreuses bulles l'une après l'autre. Si maintenant on replace le ballon à l'ombre ou dans un milieu quelconque, à l'abri des rayons du soleil, l'eau montera par le tube jusqu'à ce qu'elle descende dans le ballon. Si ensuite vous le posez de nouveau au soleil, l'eau montera dans ce vase, et ainsi de suite, aussi souvent que vous voudrez renouveler l'expérience. Les mêmes faits se reproduiront si vous chauffez le ballon avec du feu ou si, après l'avoir trempé dans l'eau chaude, vous le refroidissez."

(A. DE ROCHAS, La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'antiquité p 211-212)

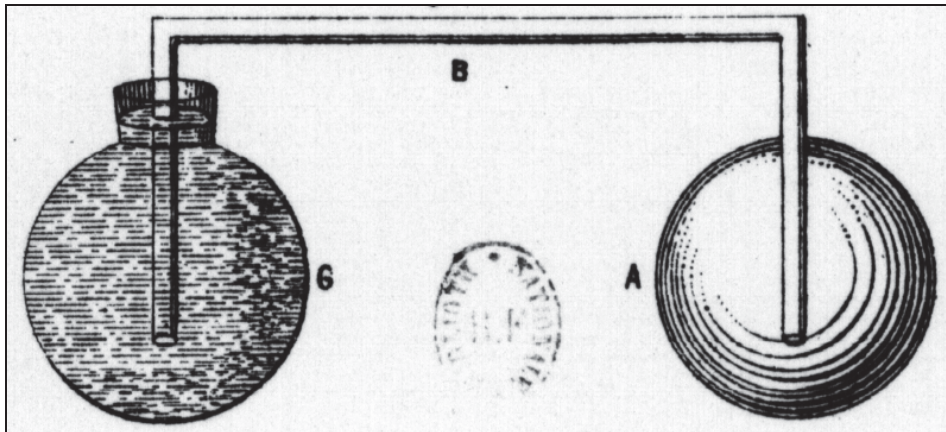


Fig 1.3 Le premier appareil sensible au chaud et au froid décrit par PHILON DE BYZANCE vers 250 avant J.C. (Illustration tirée de DE ROCHAS planche XXIII)

La perte des manuscrits de CTESIBIUS ne permet pas d'attribuer la paternité de ces expériences à PHILON de BYZANCE du fait qu'il a décrit celles de son maître. Le manuscrit de PHILON DE

BYZANCE "*de engeniis spiritualibus*", ne sera découvert qu'au XIX<sup>e</sup> siècle (4).

Reprise par HERON D'ALEXANDRIE au premier siècle de notre ère, cette "*machine*", destinée à montrer qualitativement l'effet produit par la chaleur, est décrite par ce dernier dans les "*Pneumatiques*". Ce manuscrit traduit en latin fut publié en 1575 par COMMANDINO (1509-1574) à Urbain en Italie (5).

L'expérience antique constitue le fondement de l'édifice de la découverte des thermomètres à air par :

➔ la réalisation d'un appareil dont l'utilité majeure est d'observer les effets causés par le chaud et par le froid.

➔ l'association d'un "ballon" et d'un "vase" plein d'eau reliés par un "tuyau". Sous l'action de la chaleur, ces éléments mettent en action un déplacement d'air matérialisé par le mouvement de l'eau. Correctement agencés, ils constitueront le thermomètre à air.



## 1.2 LA NOTION QUANTITATIVE DE CHALEUR

**Claude GALIEN** (131-environ 200), médecin et physicien très brillant, serait à l'origine de la première graduation de la notion de chaleur. Son échelle comporte quatre degrés de chaud, autant de froid. Le point milieu, point neutre, est obtenu en mélangeant des volumes égaux d'eau bouillante et de glace pilée (6). L'utilisation du volume (7) au lieu du poids prive de regarder le point neutre comme température étalon. Néanmoins ces deux états de l'eau, fondamentaux pour la construction des thermomètres, seront objet à discussions et controverses pendant de longues années, bien après que le thermomètre fut inventé.

Sans lien apparent avec les "*Pneumatiques*", Joannes HASLER (1548-xxx) publie en 1578 un tableau d'échelles de températures (8), (Fig 1.4) : une première échelle a 9 degrés de chaleur de 1 à 9; une autre avec des graduations semblables a un zéro central. Sur la droite du tableau, une graduation de 0 à 90 correspond aux latitudes. L'idée que le corps soit plus chaud à l'équateur qu'au pôle prévalait. La table donne une idée de la température pour administrer des remèdes dits "*plus chauds*" ou "*plus froids*" que le patient (9). Ceci montre que la notion d'échelle inventée par GALIEN au début de notre ère a survécu et reste présente dans le monde médical.

Par ailleurs, l'école des philosophes préférait une échelle à 8 degrés de chaud et 8 degrés de froid avec des notions bien définies pour certains degrés, à savoir : le feu était

considéré au 8ème degré, et la sécheresse au 4ème degré. Mais ces notions ne sont que qualitatives. Cette échelle se distingue de celle de la faculté de médecine et montre l'existence de deux écoles sur cette qualité (10).

PROBLEMA I.						2
Ordines ab extremo ad extremum. Numerus numerans.	Ordines a temperie media. Numeri Numerati.	Tertiariū partium numeri a mediocritate. seu Numeri numerati.	Tertiariū partium, ab extremo. siue Numerus numerans.	Coelestes gradus, tertijis ordinum partibus congruentes.	Gradus coelestes, medijs ordinibus respondentes.	
90 73 1/3 66 2/3 60	4	12	27	90	90	C.H.F.S.
		11	26	86 2/3	85	
		10	25	83 1/3		
80 73 1/3 66 2/3 60	3	9	24	80	80	
		8	23	76 2/3	75	
		7	22	73 1/3	70	
70 63 1/3 56 2/3 50	2	6	21	70	70	
		5	20	66 2/3	65	
		4	19	63 1/3	60	
60 53 1/3 46 2/3 40	1	3	18	60	60	
		2	17	56 2/3	55	
		1	16	53 1/3	50	
50 43 1/3 36 2/3 30	0	0	15	50	50	0
		0	14	46 2/3	45	
		0	13	43 1/3	40	
40 33 1/3 26 2/3 20	1	1	12	40	40	
		2	11	36 2/3	35	
		3	10	33 1/3	30	
30 23 1/3 16 2/3 10	2	4	9	30	30	
		5	8	26 2/3	25	
		6	7	23 1/3	20	
20 13 1/3	3	7	6	20	20	F.S.C.H.
		8	5	16 2/3	15	
		9	4	13 1/3	10	
		10	3	10		
		11	2	6 2/3		

Figure 1.4. Echelles de températures selon HASLER, 1578  
(Illustration tirée de MIDDLETON p 2)

Plusieurs échelles, de conception différente, avec des degrés de chaleur de plus ou moins grande amplitude étaient connues des savants et des philosophes à la fin du XVIè siècle. Elles ne sont associées à aucun instrument sensible à la chaleur.

## 1.3 L'EXPERIENCE ANTIQUE REPRODUITE

### AU XVI<sup>e</sup> SIECLE

Les italiens, dans le souvenir de la grandeur passée, dépensent des fortunes pour récupérer les livres antiques et les faire traduire en latin. Le mouvement de l'eau actionné par la chaleur intéresse les savants. Dès la fin du XVI<sup>e</sup> siècle, ils reproduisent l'expérience antique et commencent à apporter des modifications. Les traces écrites qui restent permettent de suivre cette évolution.

En 1589, Giambattista Della PORTA (1535-1615) publie à Naples une nouvelle édition profondément modifiée et augmentée des "*Magies Naturelles*" en 20 volumes, où la part du réel devient prépondérante. C'est un des livres les plus populaires de l'époque qui eut une très grande diffusion. L'expérience sur la chaleur de HERON figure au livre XIX (11). PORTA fit connaître à plusieurs savants cette expérience déjà décrite en 1575 dans la traduction des "*Pneumatiques*".

"We can make water rise by the heat of the sun. Let a vessel whether of wood or pottery or brass, which is best, be put on the top of a support and let it have a pipe in the middle which comes down below to the water and is submerged in it, but it should be luted lest air escape. Let the vessel above be heated either by sun or by fire, for the air which is contained in the belly of it becomes rarefied and reshes forth at the opening, where we shall see the water rise into bubbles; as soon as the sun has gone in, when the vessel grows cool, the air is condensed, and, when the included air does not suffice to fill the empty space, the water enters and rise up."

(Tiré de : Lib XIX, cap iii, p289 des Magies naturelles, de SCHERWOOD TAYLOR p 134)

*Traduction :*

"On peut faire monter de l'eau par la chaleur du soleil. Prenez un vase de bois, de terre ou, de cuivre

ce qui est meilleur, mettez le en haut sur un support, mettez un tuyau dans le milieu qui descend par en dessous dans l'eau et y plonge dedans, mais qui devait être luté, de peur que l'air ne s'échappe. Laisser le vase d'en haut se chauffer soit par le soleil soit par le feu, pour que l'air qui est contenu dans son ventre se raréfie et s'échappe par l'ouverture, par où nous verrons l'eau monter en bulles; dès que le soleil est parti, lorsque le vase devient froid, l'air est condensé et lorsque l'air inclus ne suffit plus à remplir l'espace vide, l'eau entre et monte."

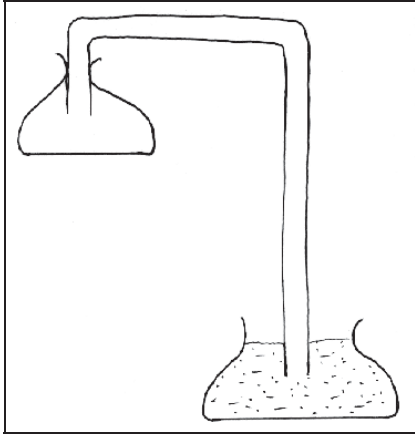


Fig. 1.5 Illustration de l'expérience d'HERON d'après la description indiquée par PORTA dans les "Magies Naturelles" de 1589. (Reproduction personnelle)

PORTA à l'affût de toute nouveauté dans le domaine des sciences informait les savants en relatant les expériences dont il avait été informé. Il ne semble pas apporter d'illustration mais précise deux idées nouvelles :

a) Du point de vue physique, il explique les mouvements de l'air entre les deux récipients par les processus de dilatation (l'air se raréfie) et de contraction. Le mouvement observé dû à l'action du soleil est correctement expliqué. Cette notion ne figurait pas à l'époque antique où seul le visible était décrit. Mais la chaleur et le froid ne paraissent pas liés et sont indépendants, chacun ayant sa propriété particulière. Ces notions de chaud, de froid, ne sont pas préhensibles et comme au temps d'ARISTOTE, ce sont toujours deux "qualités fondamentales".

b) A la différence de l'époque antique, où tous les éléments étaient sur un même plan, dans la description de PORTA se

dégage une dimension verticale : la réserve d'eau se situe à la partie inférieure, et le ballon d'air est plus haut (Fig 1.5).

Le premier qui aurait reproduit l'expérience antique serait GALILEE. Le témoignage de Vincenzo VIVIANI (1622-1703) d'une part (12), la lettre du 11 janvier 1594 dans laquelle GALILEE précise qu'il a eu connaissance des "*Pneumatiques*" de HERON D'ALEXANDRIE d'autre part (13), situent cette expérience vers 1594. La jugeant sans intérêt particulier, GALILEE ne poursuivit pas davantage ses recherches.

En 1598, le hollandais DREBBEL (1572-1633) reproduit l'expérience antique. Remarquant le mouvement incessant de l'eau, du fait que la température varie, il pensait avoir trouvé le mouvement perpétuel. DREBBEL prit un brevet qui lui attribua une grande renommée (14).

Les savants de l'Europe Centrale et de l'Ouest portent un intérêt, non pas directement au thermomètre, mais à cette nouvelle philosophie et méthode de pensée scientifique en plein essor en Italie. Certains font un voyage en Italie. A leur retour, ils rapportent le secret de l'expérience antique sur la chaleur. D'autres s'informent par relation et acquièrent de nouvelles connaissances.

## 1.4 LES TRAVAUX DES SAVANTS

### AU DEBUT DU XVII<sup>e</sup> SIECLE

GALILEE nommé professeur de mathématiques à Padoue par le Sénat de Venise en 1592, côtoyait le médecin Sanctorius SANCTORIUS docteur en médecine de grande renommée de l'Université de Padoue, qui, bien qu'il ait exercé la médecine en Pologne, revenait fréquemment à Padoue. En 1601, il revient définitivement en Italie, et s'adonne à la recherche médicale. Les expériences de GALILEE sur la chaleur intéresse SANCTORIUS car il cherche un moyen pour connaître la chaleur du corps humain.

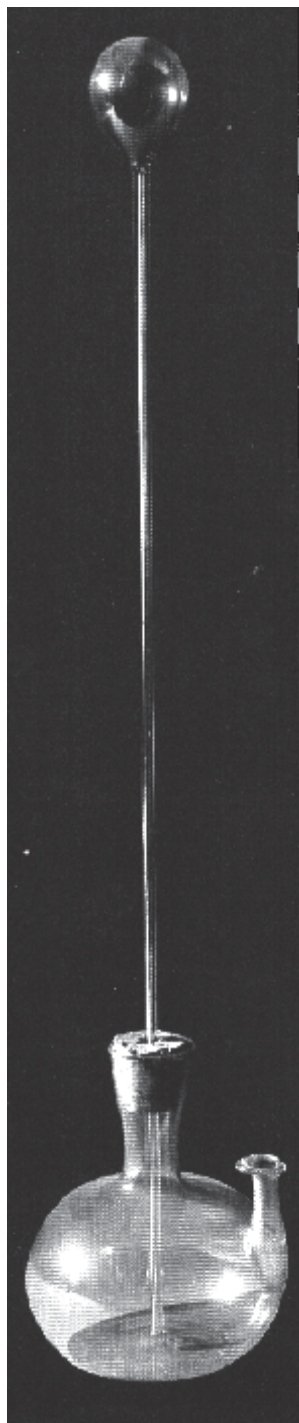
En 1603, GALILEE présentait en public cette "machine" où l'eau monte dans le tuyau lorsque le bulbe se refroidit, et descend lorsqu'il est chauffé (Fig 1.6). Benedetto CASTELLI (1577-1644) la décrit dans une lettre datée de 1638 adressée à Monsignore Ferdinando CESARINI (1595-1624), (16) :

"In questo tempo mi sovvenne un'esperienza fattami vedere gia piu di trentacinque anni sonno (cioe avanti l'anno 1603) dal nostro signor Galilée, la quale fu che presa una caraffella di vetro di grandezza di un piccolo uovo di gallina, col collo lungo due palmi in circa, e sottile quanto un gambo di pianta di grano, e riscaldata bene colle palme delle mani detta caraffella, e poi rivoltando la bocca di essa in vaso sottoposto, nel quale era un poco di acqua, lasciando comincio a salire nell collo, e sormonto sopra il livello dell'acqua del vaso piu d'un palmo, del quale effetto poi il medesimo signor Galilée si era servito per fabricare un instrumento da esaminare i gradi del caldo, e del freddo, intorno al quale istrumento sarebbe che dire assai ec."

(Tiré de NELLI p 69-70)

*Traduction :*

"Je me souviens d'une expérience dont notre Galilée m'a rendu témoin, il y a plus de trente cinq-ans (avant 1603). Ayant pris une petite carafe de verre de la grosseur d'un petit oeuf de poule, dont le col du



*diamètre d'une tige de blé, avait deux palmes de long; et ayant bien chauffé dans la paume de ses mains le corps de la carafe; il la renversa et plongea le col par son orifice dans un vase plein d'eau. Aussitôt qu'il eut dégagé de ses mains le corps de la carafe, l'eau se mit à monter dans le col et s'y éleva de plus d'une palme au-dessus de son niveau dans le vase. C'est d'après cet instrument que Galilée construisit un instrument pour mesurer les degrés de chaud et de froid."*

(Palme : ancienne mesure de longueur italienne valant 24,7 à 29,8 cm de longueur selon les régions)

(La carafe citée constitue le tuyau et la boule du thermoscope).

Cette lettre, reproduite par plusieurs historiens, est l'objet d'affirmations comme celle de la date de la construction du premier thermoscope, et celle de son inventeur. Mais cette expérience, si elle eut réellement lieu en 1603, est la réplique (au sens physique) de celle de l'antiquité car CASTELLI ne parle ni de graduation ni de mesure quantitative. Par contre, c'est la première fois que l'utilisation du verre est citée.

Fig 1.6 : Réplique de l'instrument utilisé par GALILEE pour montrer en public les variations de chaleur. Elle fut réalisée à l'occasion de l'exposition internationale d'appareils scientifiques de Londres de 1876. (Illustration tirée de L'atmosphère, édition Time Life)

Il est probable, que lors d'une rencontre des deux amis, SANCTORIUS fit part à GALILEE de ses travaux sur la

température du corps humain. GALILEE se souvint alors de l'expérience qu'il fit il y a quelques années. Il la retrouva et la rendit publique.

GALILEE avait l'habitude de communiquer aux autres les fruits de son travail, d'expliquer publiquement à ses élèves et à ses amis les principes et les applications de ses découvertes. Depuis que Balthasar CAPRA s'est déclaré publiquement l'inventeur de la construction et de l'usage du compas des proportions, GALILEE songea à la propriété de ses inventions. Il décida alors de publier les résultats de ses découvertes (17).

Le passage suivant, (non daté) écrit par GALILEE, explique fort bien le processus physique de l'expérience décrite par CASTELLI. C'est très probablement dans les premières années du XVII<sup>e</sup> siècle que GALILEE a dû écrire ce texte. GALILEE utilise de l'alcool (du vin) pour ses expériences, CASTELLI mentionne de l'eau. Ce changement de détail pourrait laisser croire à une date plus tardive; mais, GALILEE ne parle nullement de graduation ou de mesure quantitative avec son instrument. C'est donc que ces propos ont été écrits avant l'invention du thermoscope, au début du XVII<sup>e</sup> siècle au plus tard (18).

"Les enseignements des philosophes démontrent la vérité du principe suivant : la propriété du froid est de contracter, celle de la chaleur de raréfier. Ceci posé, on admet que l'air contenu dans l'instrument est à la même température que celle de l'air de la pièce dans laquelle il est placé; comme ces deux corps ont le même poids spécifique, il en résulte qu'ils ne se repoussent pas l'un l'autre, à la manière de celui qui, n'ayant rien à acquérir, préfère rester en place. Mais si l'air qui entoure la sphère se refroidit, parce que l'on y introduit un corps plus froid, les particules de chaleur qui se trouvent dans l'air confiné dans la boule s'élèvent, parce qu'elles sont dans un milieu moins léger qu'elles, et cet air devient plus froid qu'auparavant; ainsi il se contracte, en raison du principe énoncé précédemment, prenant moins de place, "ne detur vacuum", et c'est pourquoi le vin s'élève.



Ensuite, lorsque cet air est réchauffé, il se raréfie, il occupe un plus grand espace et refoule le vin... Il en résulte que le froid n'est pas autre chose qu'un manque de chaleur."

(Tiré de : Opere Ed nazionale Florence 1890-1909, VIII 634s, de VOLLMANN p 1755)

L'apport considérable de ce texte est la liaison démontrée et expliquée par GALILEE entre le chaud et le froid. Il anéantit les propos d'ARISTOTE (384 avant J.C.-322 avant J.C.) qui considérait le chaud et le froid comme deux qualités fondamentales. GALILEE donne une nouvelle dimension à la notion de chaud et de froid : celle de chaleur. Cette quantité, unique, a la propriété de dilater ou de contracter l'air. Enfin GALILEE émet l'idée maîtresse que le volume occupé par l'air dans l'instrument et la quantité de chaleur, sont dépendants l'un de l'autre. Il a ainsi ouvert la voie vers le repérage quantitatif de la température.

La notion de l'uniformité de la température entre l'instrument et l'air qui l'entoure est un principe de base que GALILEE ne manque pas d'indiquer. Cette notion est fondamentale pour la mesure de la température de l'air en météorologie. Il est nécessaire que l'instrument et le milieu dans lequel il se trouve soient en équilibre thermique. Cette condition ne pourra être réalisée, tout au moins avec une approche sérieuse, que lorsque la température sera mesurée sous abri... au XIX<sup>e</sup> siècle.

DREBBEL publie son traité sur la nature des éléments en 1604 dans lequel il décrit l'expérience antique qu'il a réalisée à l'aide d'une cornue. Sans apporter d'élément scientifique

nouveau, DREBBEL qui est en Angleterre depuis 1604 fait connaître cette expérience hors d'Italie (19).

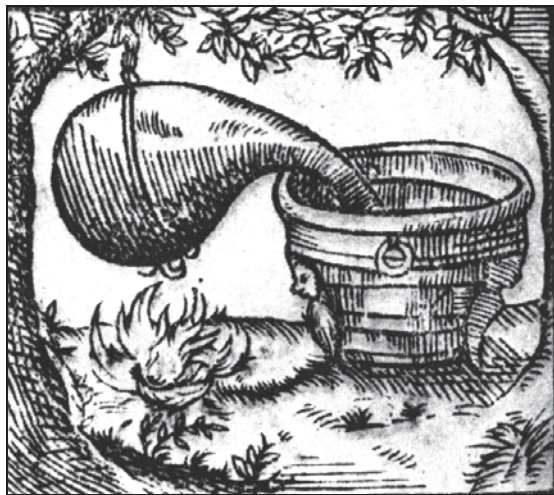


Fig 1.7 L'expérience de la cornue de DREBBEL (Illustration tirée de VOLLMANN p 1756)

En 1606 Jean ESCRIVANO fait paraître la traduction du livre que PORTA a écrit en 1601 "*pneumaticorum libri tres*". Elle contient des additions de PORTA qui ne figuraient pas dans le livre de 1601. Celle relative à la chaleur, fait suite à la description de la présentation en public de l'expérience de la carafe renversée au-dessus d'un vase plein d'eau, par GALILEE en 1603. PORTA parle alors d'une notion quantitative liée à la chaleur (20) :

"Si puo ancora agevolmente misurare un oncia di aria nella sua consistenza in quante parti di aria piu sottile si puo dissolvere. E se bene di questo ne habbiamo tratto nelle nostre meteore facendo qui a nostro proposito, non ci rincrescera di ridirlo.

Habbisi un vaso da distillare detto gruale, o volgarmente materazo, dove si distilla l'acqua vite, descritto da noi nel libro di distillare, e sia vetro, accio si vedano gli effetti dell'aria, e dell'acqua, e sia il vaso A, questo habbi la bocca dentro un vaso B, piano pieno di acqua, il quale vaso sara pieno di aria, grosso nella sua consistenza, piu e meno, secondo il luogo, e la stagione. Poi accostarete un vaso pieno di fuoco al corpo del vaso in A, e l'aria subito riscaldandosi, si andara sottigliando, e fatta piu sottile, vuole piu gran fuoco, cercando uscir fuori, verra fuori dell'acqua, e si vedra l'acqua bollire, che e segno, che l'aria fugge, quanto si andra piu riscaldando,

l'acqua piu bogliera, ma essendo ridotta te nuissima, l'acqua non bogliera piu, all'hora rimovete il vaso del fuoco dal vantro A e l'aria rinfrescandosi, s'andra ingrossando, e vuol minor luogo, e non havendo come riempir il vano del vaso, perche ha la bocca sotto l'acqua, tirera A se l'acqua del vaso, e si vedra salir l'acqua su con gran furia, e riempir tuto il vaso, lasciando vacua quella parte, dove l'aria sta ridotta gia sua natura di prima. E se di nuovo acco starete fuoco a quella poca aria, attenuandosi di nuovo, calera giu tutta l'acqua, e rimuovendo il fuoco, tornera a salir l'acqua. Fermata che sara l'acqua, voi con una penna, et inchiostro segnarete fuori il vetro l'estrema superficie dell'acqua. Poi lasciando uscir fuori l'acqua della carrafa, all'hora con un altro vaso porrete tant'acqua in detta carrafa, finche riempirete infin al segno della linea notata con inchiostro : all'hora misurarete quell'acqua, e quante volte quell'acqua riempira la carrafa, tante volte una parte di aria nella sua consistenza, si ampliara, essendo attenuata dal caldo e di qua nascono grandissimi secreti".

(Tiré de LIBRI p 469-470)

Traduction :

*"On peut encore facilement mesurer une once d'air dans sa consistance en autant de parts d'air plus fines qu'on peut le dissoudre. Même si nous avons traité cela dans nos météores, il nous plaît ici de le redire.*

*Nous avons un vase à distiller (appelé gruale) ou communément (appelé matelas), où on distille l'eau de vie décrit par nous dans le livre de distillation, il est en verre, afin que nous voyons les effets de l'air et de l'eau, et soit le vase A, dont on a mis la bouche dans le vase B, simple, plein d'eau, lequel vase serait plein d'air, de consistance épaisse, plus ou moins, selon le lieu et la saison. Puis vous rapprocherez un vase plein de feu du corps du vase A, et l'air aussitôt se réchauffant, devenant plus léger et se faisant plus fin, veut une plus grande place et cherche à sortir dehors, on verra l'eau sortir et on verra l'eau bouillir, ce qui signifie que l'air s'enfuit et plus on chauffera, plus l'eau bouillira, mais étant réduite en quantité infinie, l'eau ne bouillira plus, alors éloigner le ventre du vase A du feu, et l'air se rafraîchissant grossira, et voulant moins de place, et n'ayant pu remplir le vide du vase, parce qu'il a la bouche sous l'eau aspirera l'eau du vase et celle-ci montera avec rapidité, et remplira tout le vase laissant vide la partie où l'air était déjà à l'origine. Et si de nouveau on rapproche le feu de ce petit peu d'air, l'atténuant de nouveau toute l'eau descendra, et éloignant le feu, l'eau commencera à monter.*

*Quand l'eau sera stabilisée, vous marquerez avec une plume et l'encre, à l'extérieur du verre la superficie supérieure de l'eau. Puis laissant sortir l'eau de la carafe, maintenant avec un autre vase mettre autant d'eau dans cette carafe jusqu'à ce qu'elle soit pleine jusqu'au trait de la ligne notée avec l'encre : alors mesurer cette eau et autant de fois cette eau remplira toute la carafe, autant de fois une partie d'air dans sa consistance remplira étant atténué par la chaleur, et de là naissent de très grands secrets."* (Une once pèse 30,594g, soit environ

23 litres d'air)



Après la description de l'expérience de GALILEE, PORTA expose un fait nouveau, une notion quantitative : rechercher le plus grand volume que peut acquérir l'air par une dilatation maximale causée par le feu. Bien que cette technique ne constitue pas l'ébauche d'un thermomètre, ce sont néanmoins des mesures de volume dépendantes de la chaleur que PORTA décrit. Cette inscription sur le tube est la première apparition écrite d'une notion quantitative reliant la chaleur et le volume d'un fluide.

Fig 1.8 Repérage des dilatations maximales des volumes d'air à l'aide du feu, par PORTA en 1606. (Illustration tirée de LIBRI p 469)

Ce document montre qu'entre 1603 et 1606 l'expérience de HERON D'ALEXANDRIE commence à évoluer vers un appareil qui mesure des volumes. PORTA a abandonné les vases de bois, de terre, ou de cuivre, cités dans ses "*Magies Naturelles*" en 1589. Comme ses contemporains, il utilise le verre. On ne peut lui attribuer l'invention du thermoscope, mais ses écrits qui relatent peut être des expériences qu'il a vues montrent qu'on est très près du but (Fig 1.8).

## 1.5 L'INVENTION DU THERMOSCOPE PAR LE

### MEDECIN Sanctorius SANCTORIUS EN 1608

En 1612 SANCTORIUS publie à Venise "*Commentaria in Artem Medicinalem Galeni*" (Commentaires sur la médecine de GALIEN). Composé de trois parties, c'est le plus grand ouvrage de médecine publié depuis ceux de GALIEN. Seule la partie III, très rare, fait référence au thermomètre à air. Il en parle pour la première fois, mais ne le décrit pas (21).

"Demum adest apud nos instrumentum, quo circino metimur gradus recessus caloris omnium partium externarum corporis, & aeris, quo quotidie quantum magis, vel minus recedimus a temperatissimo, certissime animadvertimus."

(Tiré de : *Commentaria in Artem Medicinalem Galeni*, Venitiis 1612, Libri III, p 229; de NELLI p 80)

*Traduction :*

"Précisément parmi nos instruments, il y a celui qui mesure les écarts de chaleur de notre corps et les degrés de l'air qui de combien chaque jour sont plus ou moins écartés de ceux déjà observés."

Ce passage précise que SANCTORIUS fait des mesures thermiques quantitatives. Celles-ci sont comparatives par rapport à un état de départ ou à une observation précédente. Cet état est significatif du début des observations avec un nouvel instrument. Ne connaissant pas les limites entre lesquelles le liquide va se déplacer, SANCTORIUS note ses déplacements par rapport aux valeurs observées précédemment.

"I wish to tell you about a marvellous way in which I am accustomed to measure, with a certain glass instrument, the cold and hot temperature of the air of all regions and places, and of all parts of the body; and so exactly, that we can measure with the compass the degrees and ultimate limits of heat and cold at any time of the day. It is in our house at PADUA and we show it very freely to all. We promise that a book about medical instruments that are not very well known will

shortly appear, in which we shall give an illustration of this instrument and describe its construction and uses."

(Tiré de : Commentaria in Artem Medicinalem Galeni, Venitiis 1612, Libri III, Col 62 Cap LXXXV particula X, de MIDDLETON p 9)

*Traduction :*

*"Je vais vous indiquer une merveilleuse façon à laquelle je me suis habitué à mesurer, avec un certain instrument en verre les températures froides et chaudes de l'air en toutes régions et lieux, et de toutes parties du corps, et aussi exactement qu'on peut mesurer avec un compas (22) les degrés et les limites de chaud et de froid n'importe quand du jour. C'est dans notre maison à Padoue et nous le montrons librement à tout le monde. Je vous promets qu'un livre sur les instruments médicaux méconnus sortira prochainement, dans lequel nous donnerons une illustration de cet instrument et décrirons construction et usage."*

Si la traduction de MIDDLETON est exacte, SANCTORIUS utilisait le mot température (23) en 1612 ("the cold and hot temperature of the air"). De même que GALILEE, SANCTORIUS montre son instrument dans sa maison à Padoue.

"The temperature of the air can be observed not only insofar as it belongs to the body, but also as a thing in itself; so that the mean between very hot and cold temperatures of the air can be exactly perceived. For we have an instrument with which not only the heat and cold of the air is measured, but all the degrees of heat and cold of all the parts of the body, as we show to our students at Padua, teaching them its uses; and they have heard about this novelty with no little astonishment."

(Tiré de : Commentaria in Artem Medicinalem Galeni, Venitiis 1612, Libri III, col 105 Cap LXXXVI particula III de MIDDLETON p 9)

*Traduction :*

*"La température de l'air peut être observée non seulement en tant qu'appartenant au corps, mais aussi comme appartenant à la chose elle-même; ainsi les différences entre les températures chaudes et froides de l'air peuvent être exactement perçues. Nous avons un instrument avec lequel non seulement la chaleur de l'air est mesurée, mais tous les degrés de chaud et de froid de chaque partie du corps, comme nous le montrons à nos étudiants à Padoue, en leur enseignant ses usages; et ils ont entendu cette nouveauté sans étonnement."*

Il est clair que la réalisation du thermomètre à air par SANCTORIUS est récente. Il découvre avec son thermomètre à air des perceptions que l'homme ne peut ressentir avec ses sens.

Le passage suivant est remarquable car il précise les bases physiques de l'étalonnage d'un thermomètre : la nécessité d'avoir deux points de chaleur éloignés fixes et reproductibles. La graduation s'effectue alors à partir de ces repères. Le froid de la neige, la chaleur de la bougie furent deux opportunités : l'hiver lui apporta la neige, et c'est avec la bougie qu'on s'éclairait. Il les a considérés comme des niveaux de chaleur fixes et extrêmes. La moyenne de ces deux températures devait très probablement s'approcher de la température du corps humain, degré de chaleur qui intéressait fortement le médecin pour ses recherches médicales (24). Certes, il y avait de grossières erreurs, mais cette construction repose sur une méthodologie avec des principes physiques.

"We by a glass instrument thus determined the temperature, by this method we knew the extremes and the mean : we apply snow to the glass sphere of the instrument so that water ascend to the highest point. Next we apply the flame of a candle so that the water descend to the lower point. Knowing the extremes we immediatly determine the mean and the temperature, so that no matter how much any portion recedes, it will be easily perceived."

(Tiré de : Commentaria in Artem Medicinalem Galeni, Venitiis 1612, Libri III, de MAJOR p 373)

*Traduction :*

*"Avec un instrument en verre nous déterminons la température. Par cette méthode nous connaissons les extrêmes et la moyenne : nous appliquons la neige sur la boule en verre de l'instrument de façon que l'eau monte au plus haut point. Ensuite on applique la flamme d'une bougie de façon que l'eau descende au point le plus bas. Connaissant les extrêmes, on détermine immédiatement le terme moyen et la température, ainsi peu importe de combien de parties le niveau s'éloigne il sera facilement repéré."*

Les récits historiques relatant les conditions climatiques des hivers du début du XVII<sup>e</sup> siècle mentionnent un hiver froid en 1603, et un hiver qualifié de "*grand hiver*" en 1608. Les autres hivers plutôt doux ou normaux n'ont pas suffisamment marqué leur époque pour intéresser la littérature. Le premier, 1603, fut un hiver froid en Allemagne, en Italie et dans le sud de la France. Aucune chronique ne parle de neige. Le second, 1608, fut un hiver très long, froid, et la neige fut abondante. L'Allemagne, la France, l'Italie, la Hollande, l'Angleterre subirent les rigueurs de cet hiver (25).

"En Italie, il survint au commencement un si grand débordement des rivières que Rome se vit presque en un déluge par les eaux du Tibre, qui descendirent avec une telle violence des monts Apennins, que plusieurs maisons furent renversées. Il tomba à Padoue une immense quantité de neige."

(Tiré de EASTON C. p 102)

Les crues dont il est question sont très probablement dues à la fonte des neiges exceptionnelles suite à un réchauffement brutal. Leur importance qualifie l'importance des chutes de neige. L'hiver 1607-1608 est retenu par GARNIER (26) dans la liste des grands hivers en France. C'est le seul qu'il cite entre 1596 et 1615.

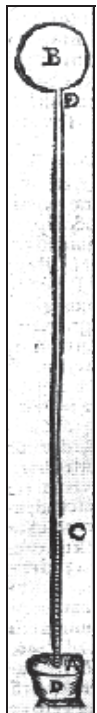
L'hiver 1607-1608 a apporté suffisamment de neige pour que SANCTORIUS puisse réaliser le premier instrument qui repère les degrés de chaleur.

SANCTORIUS a maîtrisé le premier, la technique du thermomètre à air en 1608. Il utilisa la neige, la mit sur la boule de son instrument et marqua sur le tube le niveau où l'eau



s'arrêtait, il chauffa cette boule avec la flamme d'une bougie, nota de nouveau le niveau atteint par l'eau. Il divisa ensuite cet espace en deux en marquant le point médian.

Il est remarquable que parmi ces deux points extrêmes, figure celui obtenu avec de la neige. Ce point est proche de zéro degré CELSIUS (aux erreurs de mesure près qu'il pouvait faire et à la température de la neige), or les thermomètres sont de nos jours étalonnés à partir du point triple de l'eau égal à 0,01°C. L'histoire des thermomètres montre que ce point, après une acceptation générale au XVII<sup>e</sup> siècle, fut à la fin de ce siècle rejeté pour être repris quelques décennies plus tard.



Depuis 1608 la température de l'air est observée avec un instrument gradué sensible à la chaleur. De nombreuses imperfections comme sa forte sensibilité à la pression atmosphérique et l'évaporation du liquide pour ne citer que les plus importantes rendent inutilisables les indications numériques. Mais cet instrument a permis à l'homme de découvrir quelques aspects de la mesure de la température de l'air. La date du début de l'observation quantitative de l'un des paramètres de base en météorologie manquait dans les recueils d'histoire de la météorologie.

Fig 1.9 Première publication imprimée du thermomètre à air de SANCTORIUS par BIANCANI (Illustration tirée de BIANCANI de RIPPERT p 40)

Giuseppe BIANCANI (1566-1624) fut le premier à publier en 1620 (permis d'imprimer de 1617) le thermomètre à air de SANCTORIUS

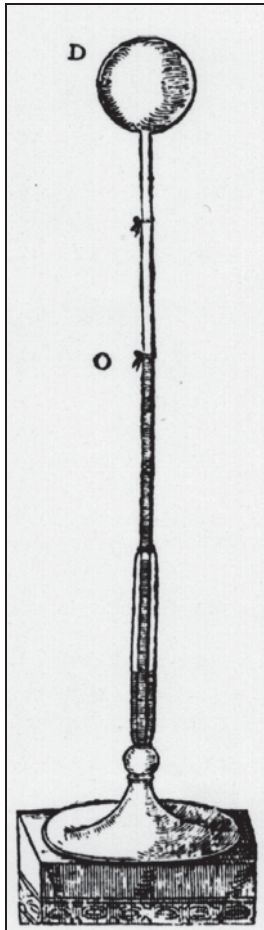
(Fig 1.9). Le mot "*thermoscopium*" (thermoscope) est employé pour la première fois (27).

Quelques années plus tard, SANCTORIUS utilisa des moments de loisir à Venise (28), pour publier les résultats de ses recherches dans "*Commentaria in primam Fen primi libri Canonis Avicenne*" en 1625 (29). Il illustre ses propos par de nombreux dessins de son thermoscope (Fig 1.10).

"Secunda figura (5) est vas vitreum, quo facillime possumus singulis dimetiri temperaturam frigidam, vel calidum, et perfecte scire singulis horis quantum temperatura recedat a naturali statu prius mensurato. Quod vas ab Herone in alium usum proponitur. Nos vero illud accomodavimus, et pro dignoscenda temperatura calida, et frigida aeris, et omnium partitium corporis, et pro dignoscendo gradu caloris febricitantium, quod duobus modis & e nella stessa Opera dopo la pag. 76 scrive figura Opera sud pag. 22 qua st vi."

(Tiré de : SANCTORIO, *Commentaria in primam Fen primi libri Canonis Avicenne*, Venitiis, 1625, de NELLI p 81)

Traduction : (Michel LAGADEC).



"Deuxième figure (Fig 1.10 infra) on a un tube en verre dont nous pouvons déterminer facilement soit la température basse de l'heure précédente, soit la température élevée, et connaître dans quelle plage la température a varié dans l'heure depuis la dernière mesure. Ce tube est supposé avoir été utilisé naturellement par HERON dans un autre but. Nous l'avons adopté afin de connaître la température chaude et froide de l'air, mais aussi de toutes les parties du corps afin de diagnostiquer le degré de fièvre, ce qu'il fit selon deux méthodes."

En 1625, SANCTORIUS proclame avoir adapté le thermomètre de HERON. Ses propos confirment les conclusions admises.

Fig. 1.10 Le thermoscope de SANCTORIUS en 1625 (Illustration Tirée de : *Commentaria in primam Fen libri Canonis Avicenne*, de SCHERWOOD TAYLOR p 138)

SANCTORIUS fit grand usage du thermomètre à air en médecine. Les "*Commentaires d'Avicene*" parus en 1646 (10 ans après sa mort) sont abondamment illustrés de thermomètres médicaux (30), (Fig 1.11).

"Nous avons longuement réfléchi à la manière dont on pourrait, d'une façon ou d'une autre, apprécier cette valeur quantitative des maladies. Nous avons, dans ce but, inventé quatre instruments. Le premier est notre pulsilogium... L'autre est un récipient de verre avec lequel nous mesurons, d'heure en heure, la température froide ou chaude afin de pouvoir, à tout moment, établir avec certitude de combien la température s'écarte de celle de l'état normal, mesurée auparavant. HERON a proposé ce récipient dans un tout autre but. Nous, nous l'avons construit de telle sorte que l'on peut reconnaître la température froide ou chaude de l'air et de toutes les parties du corps et observer également le degré de température du malade fébrile. Ceci peut se faire de deux manières : suivant la première méthode, le malade saisit avec la main la partie supérieure du verre; suivant la seconde, il tient cette partie du verre devant sa bouche, ceci pendant un bref laps de temps ou durant 10 coups du pulsilogium; le lendemain, nous pouvons vérifier si l'eau, dans les mêmes conditions et durant le même laps de temps, s'abaisse de la même quantité. Nous pouvons en déduire que l'état du malade s'est amélioré ou a empiré; ces différences, si elles sont minimes, ne peuvent en aucun cas être décelées sans instruments par les médecins, qui commettent ainsi des erreurs dans le diagnostic, le pronostic et la thérapie (et inde in cognitione, praedictione et curatione hallucinatur)."

(Tiré de : SANCTORIUS, *Commentaria in priman Fen primi libri Canonis Avicenne*, 1646, de VOLLMANN p 1762)

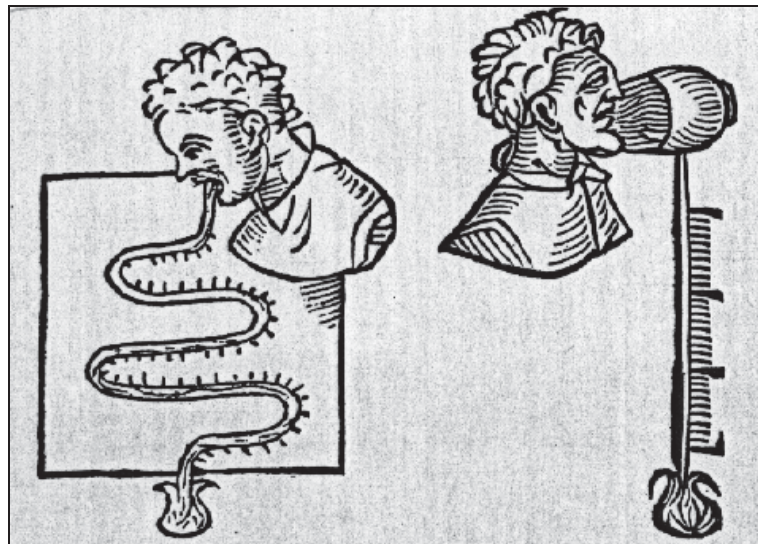


Fig. 1.11 Thermoscopes à usage médical de SANCTORIUS. (Illustration tirée de *Commentaire d'Avicenne*, 1646, de MAJOR p 377)

## 1.6 LE THERMOMETRE A AIR

### EN FORME DE "J" DE 1612.

Le thermomètre à air composé de deux éléments (la carafe et le vase) était d'une utilisation délicate. En 1612, Danièlo ANTONINI (1588-1616) envoie à GALILEE le dessin d'un thermomètre à air en forme de J constitué d'une seule pièce. Son appareil provient du "perpetuum mobile" (mouvement perpétuel) construit auparavant par DREBBEL pour le roi d'Angleterre JACQUES 1er (1556-1625). ANTONINI ne connaît pas la découverte de SANCTORIUS, il croit apprendre une nouvelle à son maître GALILEE. Il lui écrit de Bruxelles, le 1er février 1612 : (31)

"Some time ago I learned that the king of england has a perpetuel motion, in which some liquid moves inside a glass tube, now rising, now falling, after the manner of the tides, it is said. Pondering this, I came to think that this might not really be like the tides, but that it might be said to be so in order to cover up the real cause. I thought that the truth might be that this motion came from a change in the air, namely that which might be caused by heat and cold; deriving this from a consideration of those experiments with the big drinking glass that you know about. So I did my best to make one of these motion myself. I did not do it the way the one in england was described to me, which has the tube round, like a ring, but with a straight tube ..."

(Tiré de : GALILEI, Opere, Ed Nazionale, Florence 1890-1909, XI, pp269-270, de MIDDLETON p 22)

*Traduction :*

"Il y a quelque temps j'ai appris que le Roi d'Angleterre possédait un "mouvement perpétuel", dans lequel un liquide se déplaçait à l'intérieur d'un tube de verre tantôt s'élevant, tantôt s'abaissant, à la manière des marées, dit-on. En y réfléchissant, il me vint à penser que ceci ne pouvait en être vraiment comme les marées, mais qu'on pouvait dire qu'il en était ainsi pour masquer la cause réelle. J'ai pensé que la vérité pouvait être que ce mouvement provenant d'un changement dans l'air, c'est à dire que ceci pouvait être causé par la chaleur et le froid, en déduisant ceci d'une réflexion sur ces expériences avec

*le gros verre à boire que vous connaissez. Aussi je fis de mon mieux pour faire moi-même une telle expérience. Je ne l'ai pas faite de la manière qu'on me la décrivait en Angleterre qui possède le tube rond, comme un anneau, mais avec un tube droit...*

Ancien élève de GALILEE, ANTONINI ne manque pas d'informer son maître sur cet instrument et sur les causes réelles du "mouvement perpétuel" de DREBBEL. ANTONINI ne sait pas que deux ans auparavant, Julien de MEDICIS informait GALILEE de la dite machine. Mais il n'en précisait pas les causes des effets observés (32).

Afin de démontrer expérimentalement son hypothèse, ANTONINI a construit un instrument comparable au "*perpetuum mobile*" du Roi d'Angleterre, mais dont le tube, au lieu d'être recourbé, était droit :

"Un tube de verre droit derrière lequel était fixée une tablette portant de nombreuses séries transversales, équidistantes les unes des autres et numérotées, afin de pouvoir noter le mouvement."

(Tiré de : VOLLMANN p 1761)

Le 11 février de la même année ANTONINI expédiait à GALILEE le dessin du "*perpetuum mobile*" (33).

D'après ces affirmations, ANTONINI, en 1612, aurait également réalisé un appareil qui repère quantitativement des variations de volume. Il pense que la chaleur est la cause du mouvement, mais ne semble pas encore faire la liaison entre l'indication fournie par son instrument et le niveau de la chaleur.

ANTONINI semble détenir les informations de DREBBEL. Je n'ai pas trouvé de liaison avec l'Italie (directe ou indirecte) durant ces dernières années qui aurait pu lui faire connaître les avances italiennes dans ce domaine. La forme qu'il a donnée à cet instrument est importante et doit être soulignée. Il a transformé la demi-circonférence du "*mouvement perpétuel*" de DREBBEL (Fig 1.12) en allongeant l'une des branches d'une manière rectiligne, lui donnant ainsi une forme de J.

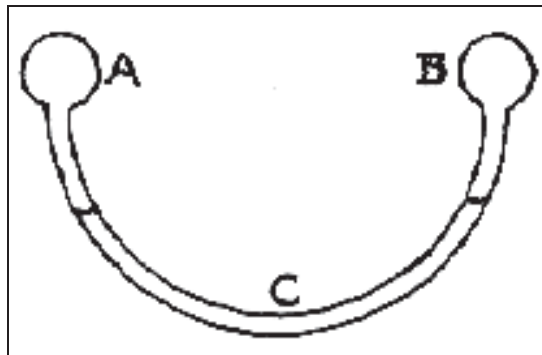


Fig 1.12 Mouvement perpétuel de DREBBEL. (Illustration tirée de S.REYHER "Dissertatio de Aère", 3rd edn, Kiliae, 1670, de SCHERWOOD TAYLOR p 153).

GALILEE confia à Giovanni Francesco SAGREDO (1571-1620) le soin de réaliser cet appareil. Ce dernier, dès 1613 en construisit de nombreux et de formes variées. Durant deux années, il fit beaucoup d'essais avec et de nombreuses mesures de la température de l'air (34).

La première description imprimée de ce thermoscope est de Henry Van HEER antérieure à 1624, car il a reproché à Jean Baptiste Van HELMONT (1577-1644) de le publier sous son nom en 1624 (35). Dans l'édition des "*récréations mathématiques*" de Jean LEUROCHON (1591-1670) (sous le pseudonyme de H. Van

ETTEN) publiée à Pont-à-Mousson en 1624, apparaît pour la première fois le mot "*thermomètre*" dans le chapitre intitulé : "*Du thermomètre, ou instrument pour mesurer les degrés de chaleur ou de froidure qui sont en l'air*" (36). Les deux types de thermoscope sont représentés dans l'édition de 1626 : le type "*italien*" inventé par SANCTORIUS est représenté à gauche, le type "*Dutch*" finalisé par SAGREDO est à droite de la figure. Celui-ci en forme de "J" possède une échelle à 9 degrés. Elle rappelle l'échelle proposée par HASLER en 1578 (Fig 1.13).

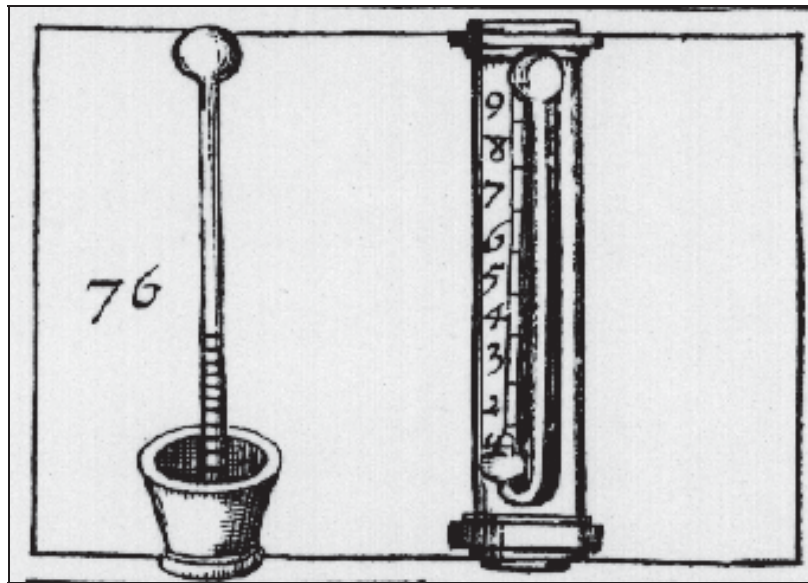


Fig. 1.13 Les deux types de Thermoscopes.  
A gauche le thermoscope "italien", à droite celui en forme de "J" le "Dutch"  
(Tiré de J. LEUROCHON, "*récréations mathématiques*" éd. de 1626 de SCHERWOOD TAYLOR p 151).

## 1.7 DU THERMOMETRE A AIR

### AU THERMOMETRE SCELLE

Le thermomètre à air utilisé depuis 1608 pour repérer la température de l'air donna satisfaction jusqu'à la découverte de l'un de ses défauts majeurs : sa forte sensibilité à la pression atmosphérique. Pendant qu'il fut en usage, durant quatre décennies, des essais de repérage de niveau de chaleur avec un liquide restèrent sans lendemain immédiat. Ce sont : la description par Bartolomeo TELIOUX (xxx-1637) en 1611 d'un appareil dont sa reproduction montre qu'il peut fonctionner comme un thermomètre, les essais de SAGREDO en 1615, de Jean REY en 1631 et de CASTELLI quelques années plus tard. Cette activité a préparé au changement de l'instrument qui mesure la température de l'air. Elle a facilité l'apparition rapide du thermomètre scellé.

#### a) Le thermomètre de Bartolomeo TELIOUX

La description et le dessin d'un thermomètre particulier figurent dans "*Matematica Maravigliosa*", publié à Rome en 1611 sous la plume de Bartolomeo TELIOUX (37), (Fig 1.14) :

"Instrumento composto da due fiale col quale si conosce il cambiamento del tempo in caldo o in freddo secondo gradi o minuti.

Habbiasi due fiale di collo lungo al meno d'un piè, una sia un poco più grossa dell'altra accio che possa entrar dentro, poi empita la più grossa in tanto che resti la quarta parte del corpo vota, metti dentro la più piccola in modo che l'orificio del collo sià tanto dentro l'acqua che non possa pigliare aria, così vederai che l'acqua scendera o scalerà secondo il caldo o il freddo che farà. Perchè il caldo facendo



gonfiar l'acqua bisogna un luogo più capace, et così l'acqua stretta per la strettezza del collo a scende in alto, poi venendo il freddo condensa l'acqua rarefatta la qual desiderando manco luogo cala basso. Si giudica la varietà del cambiamento per li gradi e minuti a posta messi a lato."

(Tiré de : Bartolomeo TELIOUX, *Matematica Maravigliosa* p 44-45, ROME 1611)

*Traduction :*

*"Instrument composé de deux fioles avec lequel on connaît le changement du temps en chaleur et en froid suivant les degrés et minutes.*

*On dispose de deux fioles avec un long cou d'un pied de longueur au moins, une étant un peu plus grosse que l'autre, afin de pouvoir entrer dedans, puis remplis la plus grosse jusqu'à ce qu'il reste le quart du corps vide, mets dedans la plus petite de façon que l'orifice du cou pénétre dans l'eau afin que l'air ne passe pas. Ainsi tu verras que l'eau montera ou descendra selon le chaud ou le froid qu'il fera. Parce que la chaleur fait dilater l'eau il faut plus de place, et ainsi l'eau étreinte par l'étroitesse du col monte en haut. De même le froid condense l'eau raréfiée laquelle nécessitant moins de place descend. On juge l'évolution du changement par les degrés et minutes placés à côté."*

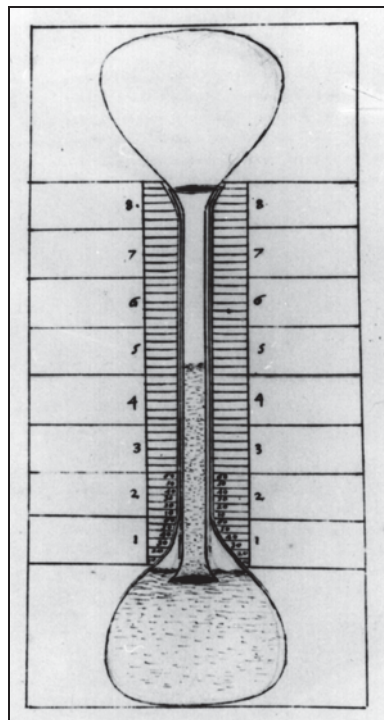


Figure 1.14: L'instrument décrit par TELIOUX (Illustration tirée de : "*Matematica Maravigliosa*", ROME 1611, p 45).

Le texte de TELIOUX est publié en italien par Guillaume LIBRI (1803-1869) en 1841 (38), puis par CHALDECOTT (39) et MIDDLETON (40) en anglais. CAVERNI (41), sans publier le texte, a également analysé les propos de TELIOUX.

→ Pour LIBRI, cette machine décrite par TELIOUX est "soustraite des variations de la pression atmosphérique". Il donne ainsi plus de poids à la description qu'à la figure, et il considère que cet instrument est un thermomètre.

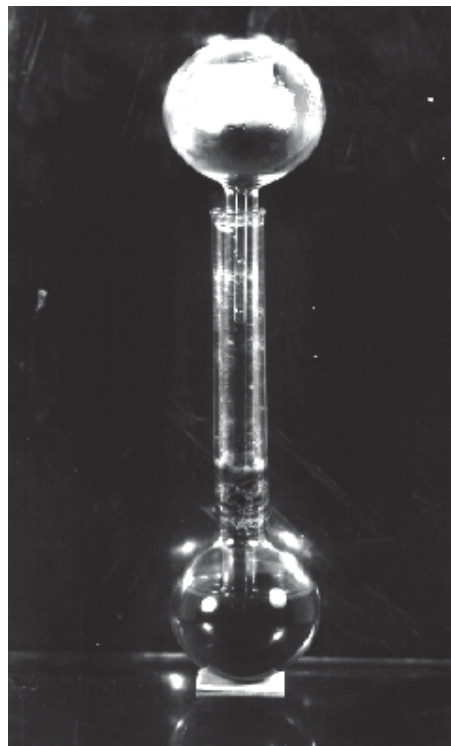
→ Comme TELIOUX est inconnu et que le manuscrit ne fut découvert que deux siècles et demi après avoir été écrit, CAVERNI préfère le négliger et continuer son historique sur l'invention des thermomètres avec des savants plus connus. Néanmoins, il trouve que cet instrument singulier relève à la fois du thermoscope et du thermomètre.

→ Par contre CHALDECOTT et MIDDLETON qui signalent des maladresses dans le texte et la figure, considèrent cet appareil comme un thermoscope. CHALDECOTT qui a fait une analyse poussée de ce manuscrit (42) précise que TELIOUX ne clame pas en être l'inventeur, qu'il décrit cette machine comme un appareil connu. Enfin il lui reproche de négliger la dilatation de l'air par la chaleur, celle-ci est prépondérante dans le cas d'un thermoscope.

A la lecture de ces documents il ressort qu'aucun de ces quatre auteurs n'a expérimenté afin de vérifier le fonctionnement de cet appareil.

*L'expérience réalisée dans les laboratoires de Météo-France**(au Service des Equipements et Techniques Instrumentales de la Météorologie Trappes)*

Avant d'analyser et de critiquer le manuscrit de TELIOUX j'ai tenu à reproduire cet appareil dans les laboratoires du SETIM Trappes (Fig 1.15). J'ai fait réaliser (par J. DECREUX) selon



la description et le schéma de TELIOUX deux tubes en verre terminés par un bulbe, qui puissent s'emboîter l'un dans l'autre. Le bulbe inférieur rempli au 3/4 de sa contenance contient de l'eau colorée en rouge avec de l'éosine. Deux assemblages sont possibles selon que les deux tubes emboîtés l'un dans l'autre sont scellés hermétiquement ou pas.

Fig. 1.15 Reproduction du thermomètre de Bartholomeo TELIOUX au SETIM Trappes. (Photo METEO-FRANCE N°12998)

*Fonctionnement en thermoscope (premier cas)*

Les deux tubes n'assurent pas une étanchéité parfaite à l'air : le système est dit ouvert à l'extérieur. Ainsi, un échauffement qui dilate l'air enfermé dans le bulbe supérieur, fait descendre l'eau dans le tuyau intérieur. Elle s'écoule librement dans le bulbe inférieur. Lorsqu'il est plein, si l'augmentation de chaleur est suffisamment forte, l'eau vient à s'élever dans le tube extérieur pendant qu'elle continue à descendre dans le tube intérieur. Les graduations plus

resserrées à la base du tube extérieur permettent d'apprécier alors l'augmentation de chaleur. Est-ce cet effet d'ascension de l'eau dans le tube extérieur que TELIOUX interprète comme la dilatation par la chaleur? Cette ascension n'est possible que si le tube intérieur contient encore du liquide. C'est un cas limite, car lorsque la totalité de l'eau en est sortie, des bulles d'air s'échappent et l'ascension cesse. Cet instrument très sensible aux variations de température est un thermoscope. La dilatation de l'eau par la chaleur est négligeable, celle de l'air est beaucoup plus importante.

*Réalisation d'un appareil étanche à l'air (deuxième cas)*

L'air ne peut pas passer entre les deux tubes emboîtés et scellés, ce système est dit fermé (43). L'augmentation du volume du liquide non compressible contraint l'air à se comprimer. Le plus grand volume d'air est contenu dans le bulbe supérieur. Lorsque le volume d'eau augmente, le liquide se dirige vers cet espace, ainsi l'eau monte dans le tube intérieur. Compte tenu de la grosseur du tube, l'élévation de l'eau sera faible. Les graduations resserrées à la base du tube permettent d'apprécier les variations de chaleur. Les variations de température sont en relation directe avec les variations du volume d'eau contenue dans cet instrument.

*Discussion du manuscrit de Bartolomeo TELIOUX.*

Dans le manuscrit de TELIOUX on ne peut pas assurer que ses propos relatifs à l'étanchéité se rapportent au tube intérieur ou au système. Cependant, deux éléments de ce document sont en

faveur d'un système scellé : la dilatation de l'eau dont il est question à plusieurs reprises et les graduations sur le schéma qui sont plus resserrées au niveau inférieur du tube (Fig 1.14). TELIOUX en 1611 a décrit un appareil qui peut fonctionner comme un thermomètre scellé.

*Qui était ce savant personnage ?*

Le nom de TELIOUX est inconnu des dictionnaires et encyclopédies. Le catalogue général des manuscrits de la bibliothèque de l'Arsenal (vol 7) précise que "THELIOUX, alias TELIOUX Barthélémi, fut chanoine de l'église de Saint Genès de Thiers". Suite à un courrier adressé au curé de cette église des renseignements biographiques sur Barthélémy THEILLOUX m'ont été transmis (44). THEILLOUX semble assez bien connu après 1614, année où il prit ses fonctions à l'église Saint Genès de Thiers (Puy de Dôme). La période antérieure à 1614 est ignorée tout comme sa date de naissance supposée dans le dernier quart du XVI<sup>e</sup> siècle. Aucun renseignement ne m'a été fourni concernant l'époque 1610/1611, période d'édition de son livre à Rome. THEILLOUX a-t-il été en Italie? Cela est possible car d'une part les habitants de Thiers entretenaient des rapports commerciaux avec les pays méditerranéens, dont l'Italie, et d'autre part THEILLOUX était aisé et côtoyait les esprits cultivés de la ville de Thiers. Il n'y avait aucun obstacle majeur pour qu'il effectue un voyage en Italie, comme beaucoup de savants à cette époque.

Quelques questions se posent néanmoins dès à présent : la première est de savoir si le français Barthélémy THEILLOUX est

bien celui qui a écrit le manuscrit "*Mathematica Maravigliosa*" ou est-ce un italien contemporain nommé Bartoloméo TELIOUX? D'autre part, quelles relations aurait eues TELIOUX avec les savants de son époque? Où TELIOUX a-t-il puisé ses informations? A cette époque, on ne parlait que de thermoscope. Le texte de TELIOUX ainsi rédigé apporte à la science un élément nouveau pour la conception des thermomètres. TELIOUX serait ainsi le précurseur de l'invention du thermomètre scellé... Cependant, les anomalies figurant dans ce document montrent que TELIOUX a décrit un instrument qu'il n'a pas expérimenté. Son livre fut-il parvenu entre les mains de ceux qui ont fermé les thermomètres quelques années plus tard? (45)

## b) Le thermomètre scellé de SAGREDO de 1615

NELLI (1661-1725) (46) et PARCHAPPE (47) citent une expérience scientifique qu'il n'est pas possible d'écarter. Ils situent cet événement peu après la publication du livre de TELIOUX et sa réalisation expérimentale est très facile.

"SAGREDO fit fermer hermétiquement le thermomètre en 1615, il ne put l'utiliser sous cette forme sans en connaître la cause" (NELLI, 1793 p 90).

"SAGREDO avait perfectionné par divers essais, jusqu'à un point très voisin du but puisqu'en 1615 il parle d'un thermomètre dont il avait fermé l'orifice" (PARCHAPPE, 1866).

PARCHAPPE ne donne pas plus de détails sur le travail de SAGREDO. Il s'appuie sur un document de SAGREDO (que je n'ai pu retrouver) qui justifie ses propos lorsqu'il dit : "il parle d'un thermomètre dont il avait fermé l'orifice..." Cette affirmation mérite une réflexion et une expérience, car en 1615, SAGREDO entretenait avec GALILEE une activité scientifique intense à

propos de la mesure de la température de l'air avec les thermoscopes. Sur les conseils de GALILEE, il modifiait ces instruments. Il est très probable que les propos de PARCHAPPE soient exacts.

En 1615 existait le thermoscope en forme de "J" (Fig 1.2) muni d'une très petite ouverture à l'air extérieur située à l'extrémité du bulbe inférieur. Il est très facile de fermer cette ouverture. L'instrument est alors scellé, isolé des variations de la pression atmosphérique, mais chacun des deux bulbes contient de l'air à l'intérieur. Lors d'une variation de température, l'eau se déplace en rapport des dilatations des deux volumes d'air contenus dans chacun des bulbes. Ce déplacement est augmenté par la variation de volume du liquide.

Ce thermoscope a été reproduit afin d'observer le comportement de cet instrument dans deux conditions différentes (Fig 1.16).

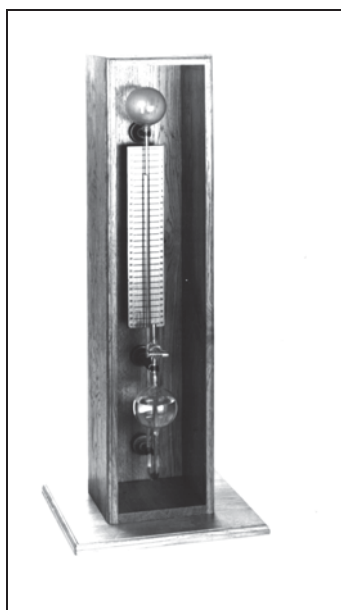


Fig 1.16 Thermoscope à deux bulbes en forme de "J" Réalisé dans les ateliers du SETIM Trappes. (Photo Météo-France N°13658).

→ Lorsque le bulbe inférieur est ouvert, cet appareil fonctionne en thermoscope, sa sensibilité est de 1,8 cm par degré Celsius.

→ Lorsque le bulbe inférieur est fermé, il n'y a plus d'échange d'air avec l'extérieur, sa sensibilité nettement plus faible est voisine du millimètre par degré.

La très faible sensibilité de cet appareil, lorsqu'il est fermé, n'incitait pas à l'utiliser ainsi tant que les effets néfastes de la pression atmosphérique sur les thermoscopes n'étaient pas connus. L'expérience de SAGREDO est une suite logique à la publication de TELIOUX. Les essais se sont probablement arrêtés là, car il n'y a plus d'information après 1615. SAGREDO, mort cinq années plus tard, n'aurait pas donné d'explication à cette expérience et ses travaux furent oubliés.

### c) La dilatation de l'eau indicateur de chaleur.

En 1631 le chimiste Français Jean REY (1583-1654), utilisait une bouteille surmontée d'un cou très long et mince pour identifier les variations de la température. Pour cela, il la remplit d'eau jusqu'au ras du cou. Il repère l'élévation de l'eau dans le cou lorsque la bouteille est mise au soleil ou placée dans la main d'un patient fiévreux (48). Dans une correspondance adressée à Marin MERSENNE (1588-1648), Jean REY précise que son thermomètre :

"n'est rien plus qu'une petite phiole ronde ayant le col fort long et délié. Pour m'en servir je la mets au soleil, et par fois à la main d'un fébricitant, l'ayant tout



remplie d'eau fors le col, la chaleur dilatant l'eau fait qu'elle monte : le plus et le moins m'indiquent la chaleur grande ou petite."

(Tiré de : Jean REY 1<sup>er</sup> janvier 1632, de VOLLMANN p 1770).

Par ailleurs CASTELLI décrit la même expérience quelques années plus tard dans une lettre qu'il adresse à GALILEE (49) :

"Pressa poi per nostro maggiore avvertimento una caraffa col collo assai lungo, e empiutala d'acqua sino a mezzo il collo, e messaia al fuoco, ci mostro come, nello scaldarsi, ella andava ricrescendo, sicchè, avanti che levasse il bollore, era accresciuta più di tre dita : rimossala poi dal fuoco, nell'intepidirsi, andava decrescendo e riducendosi al primiero stato".

(Tiré de : Alb. XII, 419-20, de CAVERNI p 284)

*Traduction :*

"Prends pour notre meilleur avertissement une carafe avec un cou assez long, remplis là d'eau jusqu'au milieu du cou, et mets là au feu, pendant l'échauffement, elle (l'eau) monte, de façon que, avant de l'enlever du feu elle était montée de plus de trois doigts; l'écartant ensuite du feu, en se refroidissant, elle descendait et se réduisait à l'état initial."

Pendant ce temps, le thermomètre à air prenait une forme différente qui s'approche de celle des thermomètres scellés (fig 1.17). Le vase rappelle la boule, et la canne, la tige du thermomètre. Sous l'effet de la chaleur, l'eau monte dans la tige (la dilatation de l'air s'ajoute à celle de l'eau). Cette construction de Claude GUILLERMET de BERIGARD (1591-1663) était recherchée pour corriger les défauts du thermomètre à air de SANCTORIUS.

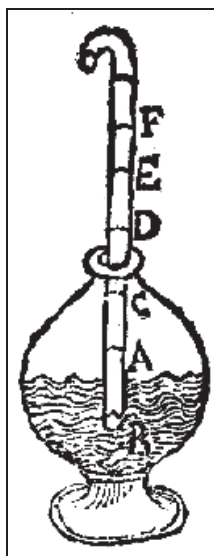


Fig 1.17 Thermoscope décrit par BERIGARD en 1643 (Illustration tirée de : MIDDLETON p 30)

La canne est soudée à la bouche du vase. Son extrémité est ouverte : cet appareil est bien un thermoscope. Il est

envisageable de penser que la forme des thermomètres soit issue du thermoscope de BERIGARD du fait de leur ressemblance. Ces précisions proviennent de la première édition du livre de BERIGARD de 1643 (50) :

"E vero che cercato di correggere questi difetti con lo adottare una costruzione diversa dalla santoriana, facendo cioè servire il vasetto tutto insieme da recipiente dell'aria e dell'acqua, e saldando il canello, che mezzo entra dentro e mezzo esce fuori, alla bocca dello stesso vasetto, a quel modo per l'appunto, che vedesi disegnato a pagina 89 de' Circoli Pisani del BERIGARD, stampati in Udine nel 1643 dallo Schiratti. A solo guardar questo nuovo disegno di Termometro ad aria, che noi poniam sotto gli occhi de' lettori nella Fig. 6, si vede che lo strumento è facilmente maneggevole, potendosi prendere per la sommità del cannello a quest'uopo piegato a manico, e potendosi altresì immergere dentro un liquido per esser chiuso da ogni parte, e per avere il cannello stesso saldato alla bocca del vaso."

(Tiré de : BERIGARD, de CAVERNI pp 280-281)

*Traduction :*

*"Il est vrai qu'on a cherché à corriger ces défauts en adoptant une construction différente de celle de SANCTORIUS, le petit vase servant à la fois de récipient à air et à eau, et le tuyau rentre à moitié dedans et reste à moitié dehors, par la bouche du petit vase, c'est ainsi précisément, qu'on le voit dessiné à la page 89 de "Circoli Pisani del BERIGARD", imprimé à Udine en 1643. A regarder seulement ce nouveau dessin du thermomètre à air, que nous mettons sous les yeux du lecteur à la figure 6, on voit que l'instrument est facilement maniable, on peut le prendre par le sommet du tuyau plié à ce besoin, et pouvant aussi être immergé dans un liquide pour être fermé de partout et pour avoir le tuyau également soudé à la bouche du vase."*

Le passage suivant, extrait du journal de voyage de Balthazar MONCONYS (1611-1665) montre qu'en 1646 le thermomètre scellé n'existait pas encore (51).

"Le 7 novembre 1646 le médecin Lyonnais Balthazar de MONCONYS (1611-1665) notait dans son journal de voyage qu'il avait visité TORRICELLI à Florence et que celui-ci lui avait montré différents thermomètres du Grand Duc *"tous avec de l'eau de vie et des boules de verre pleines d'air."*

(Tiré de Journal de voyages I de MONCONYS, p 130/131, 1665, de VOLLMANN p 1769)

Cette affirmation est fortement retenue par les historiens pour situer après 1646 la date de l'invention du thermomètre scellé (52).

Ces thermomètres du début des années 1640 sont des thermomètres scellés d'une construction particulière. Ils sont appelés "*thermomètres paresseux*" (53). Des billes de verre de différentes densités se déplacent sous l'effet de la chaleur à l'intérieur d'une ampoule scellée remplie d'alcool. Ce thermomètre au fonctionnement très lent donnait une indication vague de la température. Du fait qu'il était fermé, il est facile de croire qu'il s'agit du thermomètre scellé (Fig 1.18).

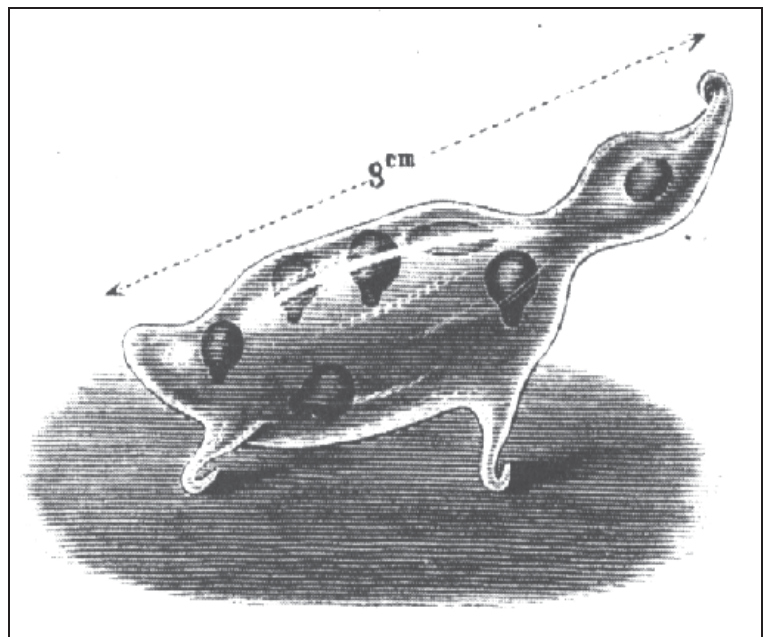
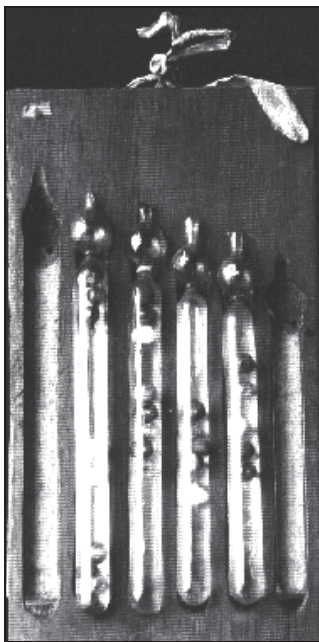


Fig 1.18 Thermomètres dit "*paresseux*". (Illustrations tirées de VOLLMANN p 1768, et de Time Life, la planète terre, l'atmosphère p 21)

Au début du XVII<sup>e</sup> siècle, les tentatives pour utiliser la dilatation de l'eau comme indicateur de chaleur sont

délaissées à l'époque où elles sont réalisées et présentées aux savants. Les thermoscopes construits sur le principe de la dilatation de l'air offrent un intérêt plus grand. Le problème du vide, de la pression atmosphérique, ne reçoit au début du XVII<sup>e</sup> siècle que quelques idées émises par les savants. C'est à la suite de la publication des "*Discours et démonstrations mathématiques...*" de GALILEE, en 1638, que l'explication sur l'impossibilité d'élever l'eau à une hauteur supérieure à "18 brasses" (environ 10 mètres) fut entreprise scientifiquement (54). GALILEE aurait demandé à Evangelista TORRICELLI (1608-1647) de chercher à simplifier l'encombrante expérience de Rome de 1641. Trois ans plus tard, en 1644, TORRICELLI et VIVIANI (1622-1703) réussirent l'expérience du "*vif argent*" (55) montrant que le vide existe, et que la colonne de mercure est équilibrée par une force externe due au poids de l'air (56). En 1648, Florin PERIER (1605-1672) mandaté par Blaise PASCAL (1623-1662) montra que la pression atmosphérique varie avec l'altitude (57). PASCAL signala aussitôt le défaut majeur des thermoscopes : celui d'être sensible à la pression atmosphérique. Leur crédibilité fut perdue.

"Le peu de certitude qui se trouve au thermomètre pour marquer les degrés de chaleur (contre le sentiment commun), et que son eau hausse parfois lorsque la chaleur augmente, et que parfois elle baisse lorsque la chaleur diminue, bien que toujours le thermomètre soit demeuré au même lieu."

(Tiré de PASCAL Blaise, *Traité sur l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de l'air*, 1663; tiré de MASSAIN p 58)

La conséquence que déduit PASCAL de la grande expérience des liqueurs de septembre 1648 met un terme à l'utilisation du thermoscope. Cette date peut être regardée comme le point de départ de la construction des nouveaux thermomètres.

TORRICELLI mort en 1647, ne peut prendre part à cette nouvelle expérience. Cette réflexion a également été conduite par Gabriel Philippe DE LA HIRE (1677-1719) en 1706 :

"Cette machine, (le thermoscope) quoique sujette à quelques irrégularités, ne laissa pas d'être trouvée fort curieuse par tous les savants, & d'être mise en usage jusqu'au temps où l'on trouva le baromètre; car alors on s'aperçut d'un très grand défaut qu'elle avait, qui était d'agir aussi comme baromètre, ce qui pouvait souvent détruire tout l'effet qu'elle pouvait avoir comme thermomètre... Ce fut un malheur pour le thermomètre de SANCTORIUS de ce qu'on découvrit le baromètre : mais il ne dura pas longtemps; car quelques savants de Florence ayant travaillé sur cette matière, en construisirent un autre qui n'avait point le défaut du premier."

Tiré de "Dissertation sur les baromètres et thermomètres" par M. DE LA HIRE Le fils, Mémoire de l'Académie Royale des sciences pour 1706, p 434-435)

En 1654, Antonio TERILLO (1623-1676) effectuait des observations thermiques de l'air à Parme (58). Il avait reçu deux thermomètres ("ampoules") envoyés par ANTINORI de Florence (Fig 1.19). Cet instrument serait le thermomètre Florentin 50 degrés (59). Après quelques jours d'observations, il fit part de ses observations de décembre 1654 à ANTINORI :

"I have received the letter from your Reverence, with the box, in which were the two ampoules for measuring the variation of heat and cold; and keeping them for some time in the same place in a room i reflected that they both moved at the same rate without any considerable occurring. I made the liquid unite by getting out the air was mixed with it; and I have fastened them outside two windows, one facing south, the other north, and I am observing them three times a day".

(Tire de Bibliothèque nationale, Florence ms. Gal. 307, fol 87. Printed by V. ANTINORI, Archivio meteorologico centrale Italiano, prima pubblicazione, Florence, 1858, p XXVIII-XXIX, de MIDDLETON p 30)

*Traduction :*

*"J'ai reçu la lette de votre Révérence (FERDINAND II) avec la boîte dans laquelle il y avait les deux ampoules pour mesurer la variation du chaud et du froid; et les ayant gardées quelque temps à la même place dans une pièce je remarquais qu'elles bougeaient toutes les deux dans la même proportion sans différence considérable. Je rassemblais le liquide en faisant sortir l'air qui s'y était mélangé; et je les ai accrochées à l'extérieur à deux fenêtres, une au sud l'autre au nord, et je les ai observées trois fois par jour."*

Faute de documents connus, il semble logique d'attribuer au cercle de savants florentins la découverte du thermomètre scellé. Celle-ci fut réalisée vers 1649-1650. Alors, le thermomètre qui, peut être, était développé en secret vit spontanément le jour. Il fut diffusé d'abord en Italie, en 1654, puis en Europe. La renommée de FERDINAND II de MEDICIS (1610-1670) suffit pour faire accepter ce nouvel instrument par les savants. L'Académie del Cimento prendra la relève dès 1657, année de sa création. Le thermomètre Florentin deviendra si populaire qu'on crut que cette Académie l'avait inventé.

La décennie 50 du XVII<sup>e</sup> siècle est la période la plus reculée pour laquelle il est possible d'avoir une indication quantitative du degré thermique de l'air qui ne soit pas influencée par la pression atmosphérique. En supposant qu'il soit possible de lever les imperfections instrumentales et celles liées à l'installation, que l'échelle du thermomètre soit connue, la température de l'air ne pourra pas être notoire avant le milieu du XVII<sup>e</sup> siècle.

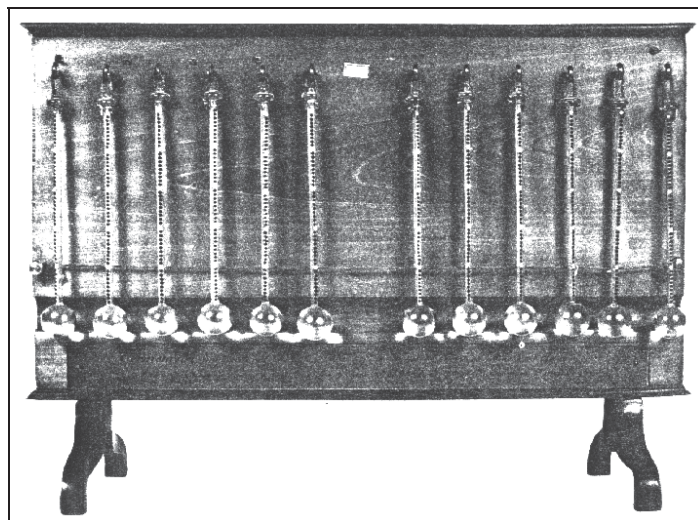


Fig 1.19 Thermomètres de Florence 50 degrés. (Illustration tirée de L'età di Galileo p 124)

## LA DOUBLE INVENTION DU THERMOMETRE

→ 250 avant J.C., première expérience sur la chaleur par CTESIBIUS et PHILON DE BYZANCE. Disposition "à plat" des éléments qui constitueront le thermomètre à air.

→ 1575 Traduction en latin des "*pneumatiques*" d'HERON D'ALEXANDRIE.

→ 1578 HASLER publie son échelle de température comportant 9 degrés de chaleur.

→ 1589 Giambattista DELLA PORTA publie les "Magies naturelles". Evolution vers une disposition verticale des éléments du futur thermomètre à air. Large diffusion de l'expérience Héronienne. Les vases sont encore en terre ou en cuivre. Le déplacement de l'eau est expliqué par la dilatation de l'air sous l'action du soleil, et par sa contraction lorsque la source de chaleur est enlevée.

→ 1594 GALILEE aurait reproduit l'expérience de HERON D'ALEXANDRIE. Il affirme en avoir eu connaissance.

→ 1598 DREBBEL a reproduit l'expérience antique et l'appelle "*mouvement perpétuel*".

Voyages en Italie, et notamment à l'Université de Padoue des savants d'Europe centrale et de l'ouest qui viennent s'enrichir de la nouvelle pensée scientifique en plein essor en Italie. La connaissance de l'expérience antique se propage hors de l'Italie.

→ 1601 PORTA dans sa nouvelle publication ne parle pas de thermoscope.

→ 1601 SANCTORIUS revient en Italie après un séjour de 14 années en Pologne.

→ 1602 SANCTORIUS ne semble pas connaître le thermoscope.

→ 1603 Expériences publiques de GALILEE montrant que la variation du niveau de l'eau dans le col d'une carafe en verre renversée est due à la variation de chaleur. Cette expérience est décrite par CASTELLI 35 ans plus tard.

→ 1604 Extension en Angleterre : DREBBEL montre l'effet de la dilatation de l'air sous l'action de la chaleur à l'aide d'une cornue.

→ Au début du XVII<sup>e</sup> siècle, GALILEE anéantit les idées d'ARISTOTE. Le chaud et le froid ne sont pas deux qualités fondamentales, mais une seule. Il émet l'idée maîtresse que le volume d'air emprisonné et la chaleur sont liés. Il mentionne la nécessité de température homogène entre l'air qui entoure le thermomètre et l'instrument pour qu'il y ait équilibre et absence de mouvement.

→ 1606 PORTA décrit l'expérience de GALILEE puis ajoute une nouvelle notion : le repérage quantitatif des dilatations maximales de l'air sous l'action du feu.

→ 1608 bénéficiant de chutes considérable de neige durant l'hiver 1607-1608, SANCTORIUS réalise le premier thermomètre à air avec deux points fixes (chaleur de la neige, et chaleur de la flamme d'une bougie) et un point milieu. C'est le premier instrument de repérage quantitatif de la chaleur. SANCTORIUS l'utilisera essentiellement à des fins médicales.

- 1611 TELIOUX publie la description d'une expérience qui peut être interprétée comme un thermomètre.
- 1612 ANTONINI réalise le premier thermomètre à air en forme de "J". Il a avancé que le mouvement perpétuel de DREBBEL est causé par la chaleur et le froid. Il en a informé immédiatement GALILEE.
- 1612 SAGREDO apprend l'existence du thermoscope. Ancien disciple de GALILEE ayant travaillé sur les instruments en verre avec son maître, il réalise cet instrument et commence à faire des observations quantitatives.
- 1613 Observation de la température de l'air durant deux semaines.
- 1615 Apparition des premières conditions d'observation : le thermoscope doit être abrité du soleil.
- SAGREDO recherche à faire un froid plus important que le mélange neige et sel.
- SAGREDO obture l'orifice des thermoscopes. Il n'utilisa pas cet appareil car il est très peu sensible aux variations de températures.
- 1620 Première publication imprimée du thermoscope par BIANCANI. Apparition du mot "*thermoscope*" dans la littérature.
- MERSENNE assure une communication scientifique efficace entre les savants.
- 1624 ou un peu avant, première publication du thermoscope en forme de "J".
- 1624 Apparition du mot "*thermomètre*" dans la littérature.
- 1631 REY utilise la dilatation de l'eau contenue dans une petite bouteille avec un long cou, pour repérer les variations de chaleur.
- 1640 environ CASTELLI répète l'expérience de REY, et le fait savoir à CESARINI.
- 1643 BERIGUARDUS décrit un thermoscope dont la forme se rapproche de celle des thermomètres.
- Des thermomètres fermés remplis d'alcool renferment des billes de verre creuses. Ils furent appelés "*thermomètres paresseux*".
- 1644 TORRICELLI découvre l'effet du poids de l'air.
- 1648 PERIER prouve que le poids de l'air diminue avec l'altitude. PASCAL fait connaître le manque de crédibilité des thermoscopes.
- 1649-1650 probablement. Premier thermomètre scellé des savants florentins sous l'impulsion de FERDINAND II.
- 1654 TERILLO fait des mesures avec un thermomètre florentin. Le thermomètre de Florence est diffusé en Italie.

Le milieu du XVII<sup>e</sup> siècle est la période la plus reculée pour laquelle la température de l'air peut être connue, soustraite de l'influence de la pression atmosphérique.



## NOTES DE RENVOI

- (1) PETIT Pierre  
Dissertations académiques sur la nature du froid et du chaud.  
PARIS, O. de Varennes, 1671, Page : 131
- (2) GARNIER M.  
Climatologie de la France, Sélection de données statistiques.  
Mémorial de la Météorologie nationale N° 50, page : 281  
PARIS, Météorologie nationale, 1967
- (3) ROCHAS Albert DE  
La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans  
l'antiquité. PARIS, 1882, Pages : 211-212
- FRINSINGER Howard  
The history of meteorology to 1800.  
Science history publication, Monographie de l'AMS, page : 48  
NEW-YORK, AMS, 1977
- (4) MIDDLETON W.E.Knowles  
A history of the thermometer and its use in meteorology.  
BALTIMORE (USA), 1966, Page : 5
- (5) ROCHAS Albert DE, page : 64
- (6) SHERWOOD-TAYLOR, The origin of the thermometer.  
Annals of sciences, 1942, Vol 5, page : 130
- (7) L'erreur provient du fait qu'un volume identique de glace pilée  
et d'eau bouillante ont des poids différents. La capacité  
calorifique est proportionnelle à la masse et non au volume.
- (8) HASLER Johannis, De logistica medica. BERNE, 1578, Page : 2
- (9) SCHERWOOD TAYLOR F., pages : 130-131
- (10) SCHERWOOD TAYLOR F., page : 132
- (11) SCHERWOOD TAYLOR F., page : 134
- (12) RIPERT Lilette, GALILEE l'expérience sensible.  
PARIS, Hologramme, 1988 page : 193  
Pages 191 à 205, reproduction du récit historique de la vie de  
GALILEE par Vincenzo VIVIANI, écrit sous forme d'une lettre au  
prince LEOPOLD en 1654.
- (13) MIDDLETON W.E.Knowles, page : 5

- (14) MIDDLETON W.E.Knowles, page : 19
- (15) WAARD Cornélis DE, Correspondance du Père Marin MERSENNE.  
PARIS, 1946, 14 Volumes
- (16) NELLI Giovanni, Vita e commercio di Galileo.  
LOSANNA, 1793, pages : 69-70
- (17) PARCHAPPE DE VINAY Maximien B.  
GALILEE, sa vie, ses découvertes et ses travaux.  
PARIS, Hachette, 1866, Page : 27
- (18) VOLLMANN R. Dr, Le thermomètre.  
CIBA, mars, page : 1755, BALES, Ciba C, 1946
- Le texte reproduit par VOLLMANN est une traduction, le mot "température" n'est peut être pas de GALILEE, bien qu'il existe depuis 1562.
- (19) SCHERWOOD TAYLOR F., page : 155
- (20) ESCRIVANO Jean, PORTA Giambattista  
I tre libri de Spirituali di Giambattista PORTA cioè d'inalzar  
acque per forza dell'aria, tradotto da Juan ESCRIVANO.  
NAPLES, 1606, Pages : 76-77
- (21) SCHERWOOD TAYLOR F., page : 135  
Le permé d'imprimer date de 1611.
- (22) Compas : instrument utilisé pour graduer les appareils de  
mesure. La première machine à diviser les lignes droites fut  
inventée par le Duc de CHAULNES entre 1765 et 1768 (Daumas p  
261).
- (23) Le mot "température" est apparu en 1562
- (24) MAJOR Ralph.H., Santorio Santorio.  
Annals of medical history, volume 10, N°5, Septembre, page :  
373  
NEW-YORK, 1938
- (25) EASTON C.  
Les hivers dans l'Europe occidentale étude statistique et  
historique sur leur température 1205-1916. LEYDE, 1928, Page  
: 102
- (26) GARNIER M., Page : 271

- (27) BIANCANI  
Sphaera mundi, seu cosmographia demonstrativa. BOLOGNE, 1620

- RIPERT Lilette  
Le texte en latin et le dessin du thermomètre, sont reproduits à la page 40.

Traduction du texte latin accompagnant la figure :

*"Le sixième livre*

*Donc dans cette ampoule, il n'y a rien que de l'air; dans la partie inférieure AC cependant, il y a de l'eau teintée par quelques colorants assez transparents, qui, à partir d'un vase D placé en dessous, monte et descend.*

*Maintenant, si tu approches la main ou le doigt de la partie principale de l'ampoule B mentionnée précédemment, tu verras aussitôt l'eau AC descendre : la raison est la chaleur de la main, à cause d'elle, l'air enfermé devient moins dense très rapidement, aussi il augmente, de même qu'il est dilaté le long du tube EC et pousse l'eau vers le bas. Par conséquent, si tu approches quelque chose de froid, l'air enfermé aussitôt est plus dense, il se contractera et par force que le vide n'existe pas, l'eau AC remplacera l'air qui se retire et monte vers le haut.*

*A l'aide de cet instrument, que j'ai volontiers appelé "thermoscope", de nombreuses constatations sur la nature de l'air ont pu être recherchées. J'ai entendu parler d'un maître qui consacre son temps à la Science Médicale à Padoue, que l'on nomme SANCTORIUS et qui est l'inventeur de cet instrument."*

Traduction N. CENAC

- (28) VOLLMANN R., page : 1762
- (29) NELLI Giovanni, Page : 81
- (30) VOLLMANN R., page : 1762
- (31) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 22
- (32) VOLLMANN R., Pages 1758, 1760-1761
- (33) VOLLMANN R., pages : 1760-1761
- (34) MIDDLETON W. E. K., Page : 10  
VOLLMANN R., Page : 1761  
NELLI G., Pages : 71-72
- (35) SCHERWOOD TAYLOR F., page : 152
- (36) CHALDECOTT  
Bartolomeo TELIOUX and the early history of the thermometer.  
Annals of science, 1952, vol 8, N° 3 Septembre, page : 199
- (37) TELIOUX Bartolomeo, Mathematica Maravigliosa.  
ROME, 1611, Pages : 44-45

- (38) LIBRI Guillaume  
Histoire des sciences mathématiques en Italie depuis la  
Renaissance des lettres jusqu'à la fin du XVII<sup>e</sup>.  
PARIS, Paulin, 1838-1841, volume 4, pages : 471-472
- (39) CHALDECOTT, page : 199
- (40) MIDDLETON W.E.Knowles, Pages : 11-12
- (41) CAVERNI Raffaello, Storia del metodo sperimentale in Italia.  
Reproduit dans l'édition de Florence de 1891-1900, pages :  
283-284  
NEW-YORK, 1972
- (42) CHALDECOTT, pages 195-201
- (43) L'expérience de PHILON DE BYZANCE montre que l'association  
étanche de deux éléments est possible. Infra page 21
- (44) Les renseignements biographiques ont été fournis par M. Bruno  
TOURNILHAC, citoyen Thiernois, descendant de Barthélémy  
THEILLOUX.
- (45) BEAUREPAIRE Michel  
En 1611 le thermomètre était décrit par Bartoloméo TELIOUX  
Bulletin d'information de l'association des anciens de la  
météorologie N° 105, pages : 6-9, TRAPPES, 1991
- (46) NELLI Giovanni, Page : 90
- (47) PARCHAPPE DE VINAY Maximien B.  
GALILEE, sa vie, ses découvertes et ses travaux.  
PARIS, Hachette, 1866, Pages : 44-48
- (48) WAARD Cornélis DE, Volume III, Pages 185-192  
Marin MERSENNE (1588-1648) philosophe, savant cordelier, joua  
un rôle de communication scientifique particulièrement  
enrichissant. Il se rendait auprès des savants d'Europe et  
entretenait avec eux une correspondance suivie. Les longues  
observations, descriptions, remarques et critiques contenues  
dans ses lettres sont des apports bénéfiques pour les savants  
qui ne peuvent pas se rencontrer. MERSENNE facilita  
l'expansion des idées scientifiques bien au delà des  
frontières.
- (49) CAVERNI Raffaello, page : 284

- (50) CAVERNI Raffaello, pages : 280-281  
Extrait de "Circulus Pisanus" de BERIGARD de 1643.
- (51) VOLLMANN R., page : 1769
- (52) TURNER Anthony  
Early scientific instruments in Europe 1400-1800.  
NEW-YORK, Sotheby's publications, 1987, Page : 130
- (53) "Thermomètre paresseux" : La chaleur modifiant la densité du liquide provoque le déplacement des billes de verre creuses les unes après les autres.
- (54) AUBERGER Jean Louis, Sur l'origine du baromètre.  
La Météorologie, 3è série, N° 46-48, Juillet-décembre, page : 182  
PARIS, 1943
- L'histoire de la découverte de la pression atmosphérique est décrite en annexe 1.
- (55) "Vif argent" : nom ancien du mercure. L'expérience du vif argent consistait à remplir de mercure un tube de verre d'un mètre de longueur, puis de le retourner au dessus d'une cuve contenant du mercure, l'extrémité ouverte du tube plonge dans le mercure. Le mercure s'équilibre dans le tube à une hauteur d'environ 76 centimètres au dessus de la surface libre du mercure dans la cuve. Cet appareil porte le nom de baromètre à mercure.
- (56) MIDDLETON William Edgar Knowles, The history of the barometer.  
BALTIMORE, The John Hopkins Press, 1964, Pages : 23-24
- (57) MASSAIN Robert, Physique et physiciens.  
PARIS, Magnard, 1979, 5è édition, pages 48-52
- (58) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 30
- (59) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 30

Nota : les citations et références aux oeuvres de GALILEE proviennent de deux sources :

GALILEI G. Opere complete. Florence 1842-1856

GALILEI G. Opere nazionale. Florence 1890-1909

## CHAPITRE 2

<p>UTILISATION ET AMELIORATIONS</p> <p>DU THERMOMETRE</p>
---

Dès que les premiers thermomètres ont été inventés, les physiciens les utilisèrent pour mesurer la température de l'atmosphère. Les instruments, l'installation et le moment de l'observation procuraient autant d'individualités que d'observateurs. Il s'ensuit que la comparaison des mesures effectuées aussi bien pour des lieux différents à un même instant donné, que pour une même localité à des périodes différentes est impossible.

Au milieu du XVII<sup>e</sup> siècle, tout semble favorable à une rapide expansion du réseau florentin. Mais les instances religieuses ne sont pas favorables. Malgré l'expérience acquise avec les thermoscopes, malgré la puissance de FERDINAND II, malgré les

instructions pour l'observation du temps, l'union collective du milieu du XVII<sup>e</sup> siècle fut brisée. Il faudra attendre près de deux siècles pour qu'un organisme internationalement reconnu organise un réseau d'observations météorologiques de cette envergure. Néanmoins, les savants n'ont cessé d'utiliser les thermomètres et surtout multiplié les essais avec de nouveaux instruments. L'exploitation du thermomètre d'une part, les recherches et les développements d'autre part, sont les deux axes principaux qui rassemblent les étapes caractéristiques de l'invention jusqu'à la finition du thermomètre.

Le manque de précision des conditions de mesure pour la construction des thermomètres, et la qualité précaire des instruments, sont à l'origine des changements dans le choix des "*points fixes*" des thermomètres. Les améliorations en vue d'uniformiser les mesures apporteront autant de thermomètres nouveaux que d'essais réalisés, sans que les anciens thermomètres soient abandonnés. Ainsi, plus d'une centaine de thermomètres différents seront en usage. Gabriel Daniel FAHRENHEIT (1686-1736) et René Antoine Ferchault de REAUMUR (1683-1757) tenteront de mettre fin à cette diversité.

Malgré le trouble causé par REAUMUR, ces deux thermomètres se substitueront progressivement aux autres thermomètres en usage en Europe. L'échelle centésimale puis l'échelle centigrade, derniers perfectionnements de l'époque précédant la thermodynamique, marquent une étape capitale. Mais le degré centésimal, nommé degré CELSIUS en 1948 par le Comité

International des Poids et Mesures, ne porte pas le nom de son auteur.



## 2.1 LE MESURAGE DE LA TEMPERATURE DE L'AIR

La lecture d'une température extérieure ne signifie pas qu'elle soit égale à la température réelle de l'air, même en présence d'équilibre thermique, et ceci pour trois raisons. Cette température est celle du thermomètre, la seule dont on soit sûr. Elle s'écarte de la vraie température de l'air qui entoure le thermomètre (toutes erreurs confondues) d'une quantité plus ou moins grande. La mesure est d'autant plus juste que cette différence est petite. Le choix du capteur, sa qualité, contribuent à minimiser cette différence. Enfin, savoir si cette particule d'air dans laquelle baigne le thermomètre est représentative de la température de l'air du lieu de la mesure est une troisième affaire. Cette notion de représentativité thermique synoptique, est une des bases de la météorologie et de la climatologie. Dans ce cas ce sont essentiellement les conditions d'installation du capteur qui sont la cause des différences existantes.

Avec les travaux de Joseph BLACK (1728-1799), les notions de température et de quantité de chaleur prirent leur véritable sens et cessèrent d'être confondues. La première indique le degré de chaleur d'un corps; la seconde est une grandeur physique qui représente une énergie et ses modifications dans un système matériel.

La mesure de la température est la mesure d'une grandeur. Celle-ci n'est possible que si elle est rattachée à un phénomène mesurable lié aux variations de température. Le volume occupé par un fluide (l'air, l'eau, le mercure...) dépend de la température. La mesure de ce volume en fournit une indication. Au début, une relation arbitraire permettait d'exprimer la température par une valeur mais le nombre de relations possibles est illimité. Ce choix ne pouvait pas convenir. Le fait que ces relations ne s'appuient pas sur des bases physiques comme la thermodynamique, a également contribué au rejet de ces relations arbitraires.

De nos jours, la température est définie par l'échelle thermodynamique. On utilise pour cela les propriétés des moteurs thermiques fonctionnant avec deux sources de chaleur à des températures différentes. La valeur numérique de toute température mesurée dans cette échelle ne peut descendre en dessous du "zéro absolu" ( $-273,16^{\circ}\text{C}$ ). La dixième conférence des poids et mesures a adopté en 1954 une échelle à un seul point fixe. Le degré est le degré KELVIN :  $^{\circ}\text{K}$  (William THOMSON lord KELVIN, 1824-1907). Le point triple de l'eau (équilibre eau-glace-vapeur) a été fixé à  $273,16^{\circ}\text{K}$  ( $0,01^{\circ}\text{C}$ ). Cette valeur a été attribuée afin de pouvoir rapprocher l'échelle thermodynamique de l'échelle CELSIUS à une constante près égale à 273,15. La température de fusion de la glace ( $0^{\circ}$  de l'échelle CELSIUS) est égale à  $273,15^{\circ}\text{K}$  de l'échelle thermodynamique. Celle de l'ébullition de l'eau se situe à  $373,15^{\circ}\text{K}$  de cette même échelle (sous pression atmosphérique normale) (1).

## 2.2 L'EXPLOITATION METEOROLOGIQUE :

### LE PREMIER RESEAU INTERNATIONAL

L'observation météorologique organisée n'a pas été entreprise avec les thermomètres mais avec les baromètres; ceci afin de savoir si cet instrument permet de prévoir le temps (2). Cette expérience "*concertée*" eut lieu en France et en Suède, puis en Italie, entre 1649 et 1651 (3). Pendant ce temps, à Florence, les savants mettent au point le thermomètre scellé qui peut être transporté. FERDINAND II qui désire connaître la température de l'air en d'autres lieux que Florence saura en faire bon usage.

Le mérite de standardiser les observations météorologiques et de créer un réseau d'observations international revient à FERDINAND II. La fortune des Médicis, l'influence politique, la grandeur de la Toscane et sa renommée d'homme de science lui ont valu d'être entendu et suivi. Dès 1653 Luigi ANTINORI distribua des thermomètres, baromètres, hygromètres. En décembre 1654 débutèrent des observations semblables, régulières, faites en différents lieux d'Europe. Les données étaient envoyées à Florence et à Pise (4). Parme, Milan et Bologne sont parmi les plus anciens sites d'observation de la température de l'air avec un thermomètre scellé (5).

Dès sa création en 1657, l'Académie Del Cimento (6) a soutenu cette entreprise. Pendant près de 16 années une douzaine de stations ont noté de nombreuses indications météorologiques :

température, humidité, indication de la direction du vent, pression atmosphérique éventuellement, et l'état du ciel. Ce réseau (Fig 2.1) de 11 stations comprenait 7 villes italiennes : Florence, Pise, Vallombrosa, Curtigliano, Bologne, Milan, Parme, et 4 en Europe : Paris, Osnabrük (Allemagne nord-occidentale), Innsbruck (Autriche), Varsovie (Pologne).

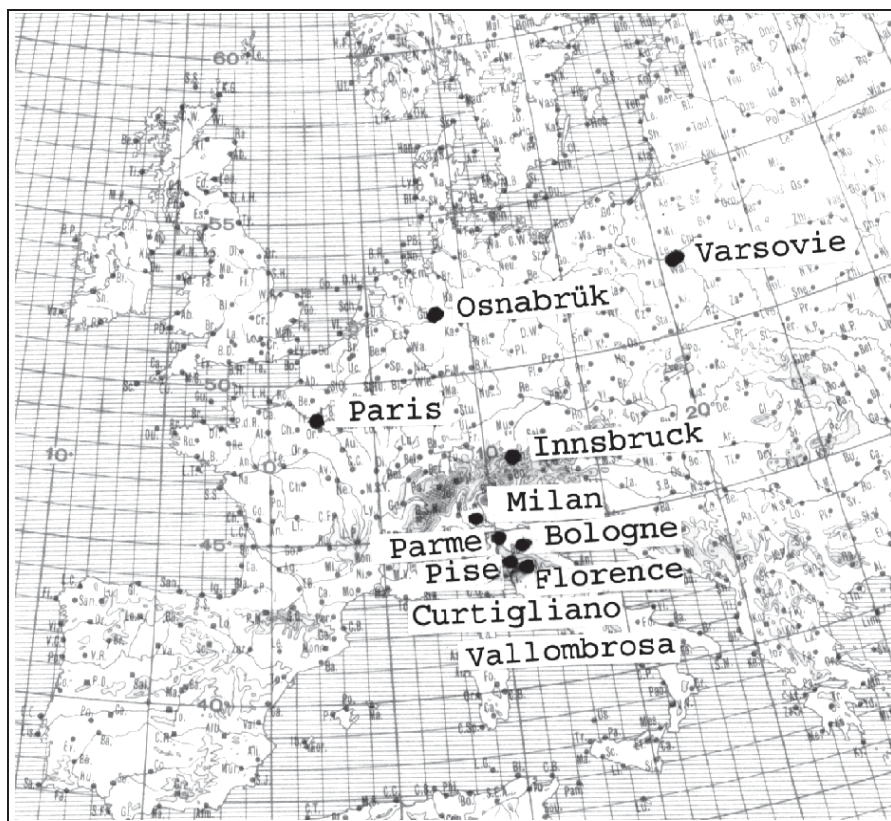


Fig 2.1 Le premier réseau d'observations météorologiques institué par FERDINAND II.

Comme toute organisation pilotée par un seul élément, ce réseau fut sujet aux aléas de l'Académie. Suite à sa dissolution en 1667, ce réseau périclita puis disparut en 1670. L'hostilité de l'église aux sociétés savantes, par la

victoire qu'elle a obtenue sur l'Académie Del Cimento, a certainement brisé pour de longues années une institution qui s'avérait des plus intéressantes pour la météorologie (7).

La plupart des observations sont considérées comme perdues. On a retrouvé celles de Florence (15 décembre 1654 au 31 mars 1670 avec des lacunes) conservées au Monastère des Anges.

Celles de Paris, conservées à l'Observatoire, concernent la période du 25 mai 1658 au 19 septembre 1660. Cette série d'observations thermiques effectuées par l'astronome Ismaël BOULLIAU (1605-1691) constitue la plus ancienne série faite à Paris (8). Le thermomètre utilisé, de petite taille (il mesurait exactement 10cm), provenait de Florence. Divisé en 50 parties (9), il était conçu de façon à supporter les plus grands froids de cette ville, et la chaleur des rayons du soleil de l'été. Il fut construit vers 1657 (10) et était rempli d'alcool non coloré. Son thermomètre était installé rue des Poitevins dans l'hôtel Thou. Ismaël BOULLIAU reçut ce thermomètre le 24 mai 1658 de DESNOYERS, diplomate français, secrétaire de la Reine de Pologne Marie Louise de GONZAGUE (1612-1667). Un an plus tôt elle avait reçu en cadeau du Grand Duc de TOSCANE des thermomètres scellés et d'autres instruments en verre (11). Un voyageur anglais en rapporta un à Londres en 1661 à son retour d'Italie (12).

Cette décennie a marqué un point de départ, et la réussite de cette expérience a imprégné si profondément le milieu

scientifique que sa trace restera toujours présente. Les savants ont compris l'apport scientifique de l'existence d'une telle entreprise. Du point de vue météorologique, ce sont les bases de l'observation météorologique qui sont contenues dans l'oeuvre de cette Académie. Des instructions pour l'observation météorologique ne tarderont pas à être édictées.



Fig 2.2 Les expériences au Palais Pitti. (Illustration tirée de La planète terre, les tempêtes p 46)

Les expériences avaient lieu au Palais Pitti (Fig 2.2) en présence du Grand Duc et dans le jardin de Boboli. Ces instruments élégants aux formes très variées, oeuvres merveilleuses en cristal, sortent de la bouche des souffleurs de verre de "la fournaise des verres". Certains thermomètres avaient des formes simples, d'autres étaient un véritable chef d'oeuvre. L'art du travail du verre leur avait été fourni par

les maîtres du Murano. Un nom célèbre est resté : celui de MARIANI. La maîtrise en ce domaine lui permettait de réaliser des thermomètres qui donnaient des indications très proches les unes des autres. Les souffleurs affirmaient que seuls les thermomètres "50 degrés" étaient concordants. Cela n'est plus exact pour les thermomètres "100 ou 300 degrés" (13). Cette affirmation concrétise la précision de construction que l'on peut attribuer à ces thermomètres : elle est inférieure à un degré des thermomètres "50 degrés", c'est à dire à moins de 1,5 degré de nos thermomètres actuels (14).

Deux "*points fixes*" étaient repérés sur les thermomètres. Pour le minimum, on utilisait le fleuve Arno, et pour le maximum, l'eau chaude d'une baignoire. Ces deux températures sont bien sûr variables, elles nous donnent une idée de la précision de l'époque (15).

La température observée en été lorsqu'un petit morceau de beurre disposé sur la boule du thermomètre est fondu est une approche physique plus évoluée, mais la réussite de cette expérience dépend beaucoup des conditions dans lesquelles elle est effectuée et des précautions prises. Après plus de 10 ans d'expériences la technique de fabrication des thermomètres a acquis une expérience et une assurance qui se décèle dans le texte de Lorenzo MAGALOTTI (1637-1712), (16). Mais cette expérience reste attachée à celui qui réalisait l'instrument. La construction par une tierce personne ne pouvait conduire qu'à un thermomètre différent.

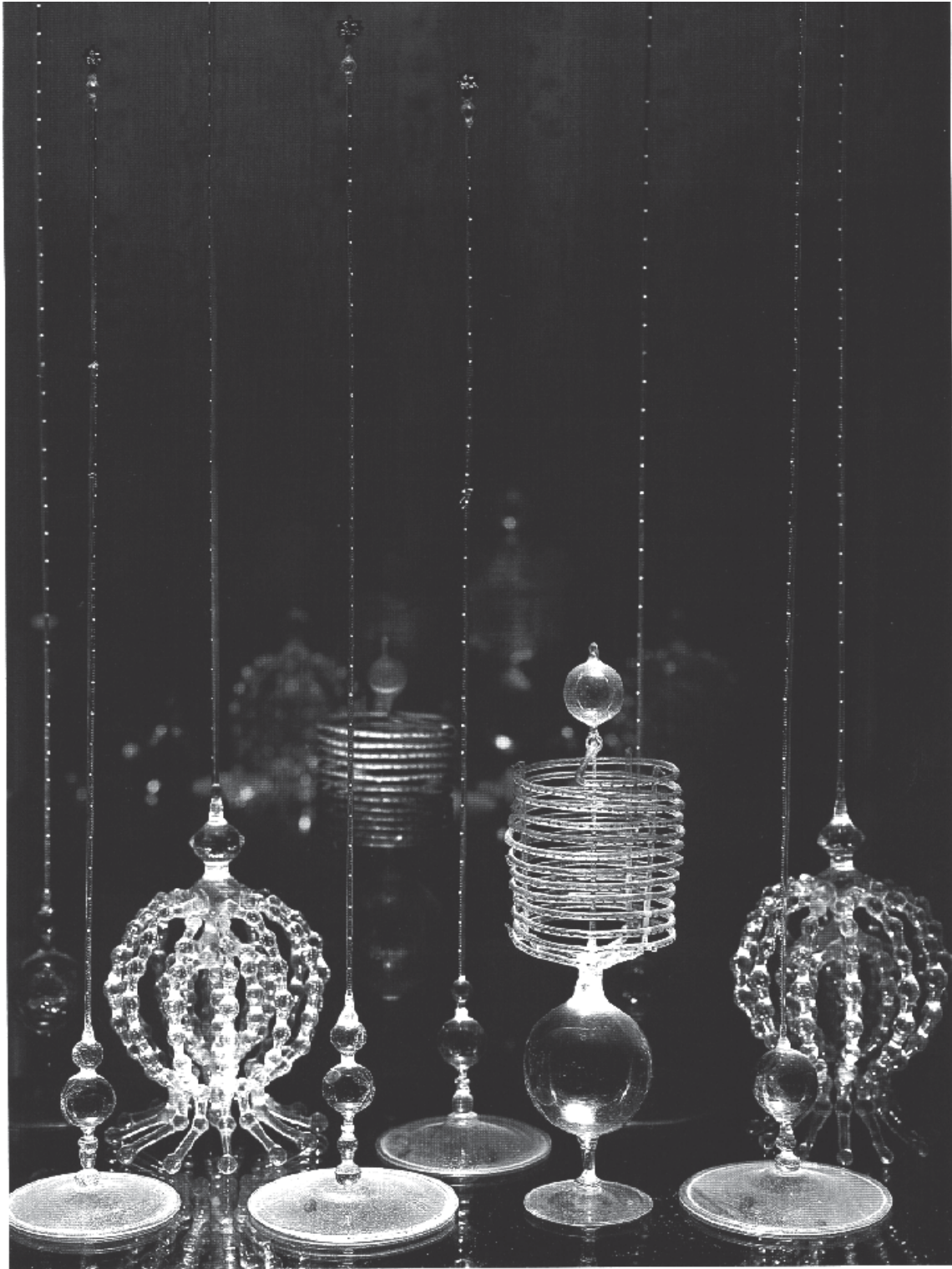
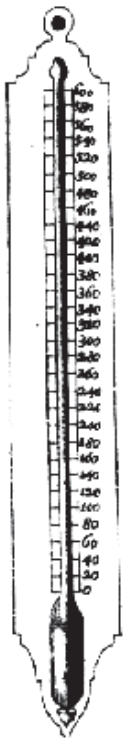


Fig 2.3 Thermomètres de L'Académie Del Cimento (Illustration tirée de : Galilée l'expérience sensible p 250)

Le liquide des premiers thermomètres scellés était de l'eau. Mais parce qu'elle gelait l'hiver, que l'eau souille la



transparence du tube, et que "*l'esprit de vin*" est plus sensible que l'eau à la variation de chaleur, le choix du liquide thermométrique s'est porté sur cette liqueur. Peu visible à l'oeil nu, il était coloré le plus souvent avec du sang de cochenille ou de dragon. A terme ce mélange salit le tube et rend la lecture difficile. Les températures lues sont plus basses, à cause du dépôt de liquide sur le tube. Un autre inconvénient qui ne sera découvert que plus tard, est la modification de la propriété intrinsèque de "*l'esprit de vin*" due à ce mélange d'eau et de colorant. La réponse de "*l'esprit de vin*" à la chaleur n'est plus la même suivant la quantité d'eau qui accompagne le colorant. Alors les Florentins construisirent des thermomètres à "*esprit de vin*" non coloré. Une trace de ce changement apparaît dans une correspondance du 12 mai 1658 que DESNOYERS adressa à BOULLIAU (17).



En 1657, les Académiciens de Florence ont essayé des thermomètres remplis avec du mercure (Fig 2.4). S'ils ont constaté que la mise en équilibre thermique était plus rapide avec ce métal, ils furent déçus par la faible variation observée (18). Il aurait fallu adapter le diamètre du tuyau à celui du bulbe, car La dilatation du mercure est environ six fois plus faible que celle de l'alcool.

Fig 2.4 Thermomètres à mercure à 600 degrés de Florence (Illustration tirée de VOLLMAN p 1768)

BOULLIAU fit quelques observations avec un thermomètre florentin rempli avec du mercure de forme identique à ceux "*d'esprit de vin*". Dans une lettre adressée au Prince LÉOPOLD (1617-1675) du 4 avril 1659, BOULLIAU précise que le mercure se dilate de 2 degrés pendant que "*l'esprit de vin*" se dilate de 15. Il n'a pas changé l'échelle graduée sur le thermomètre à mercure! (19).

N'ayant pu maîtriser l'utilisation du mercure pour la réalisation de thermomètres, à cause de sa dilatation trop faible, le mercure fut abandonné par les Florentins. Les conclusions furent semblables à celles émises par ceux, qui au début du siècle, tentèrent d'utiliser l'eau pour les thermomètres.

Après cette organisation d'avant garde on revient à des observations isolées. Les règles de l'ancien réseau sont connues, et sans être obligé de les respecter, comme elles sont de bon sens, les physiciens auront naturellement tendance à s'en rapprocher. Des pionniers motivés, passionnés, convaincus de l'utilité de l'observation thermique, effectueront des observations météorologiques durant plusieurs décennies au prix d'énormes sacrifices.

## 2.3 L'HERITAGE DE FLORENCE

Les thermomètres florentins apportent, durant la seconde moitié du XVII<sup>e</sup> siècle, un confort pour l'observation de la température partagé par tous les savants. Peu à peu, avec la maîtrise de sa construction, il devient plus précis. Alors, apparaissent les limites de cet instrument. Pour l'améliorer, les savants le modifièrent recherchant un thermomètre "*universel*".

Le corps du thermomètre, même soufflé par un artisan très "*zélé*", ne peut présenter un tube parfaitement calibré à l'intérieur, et une boule dont le diamètre intérieur soit identique pour tous les thermomètres. Les thermomètres se ressemblant fortement avaient certainement des différences imperceptibles à l'oeil qui font qu'on ne peut pas comparer deux thermomètres entre eux. Compte tenu de la précision des mesures de l'époque, les erreurs ainsi induites ne pouvaient pas se voir. Les savants n'avaient pas de moyen de comparaison (20).

Il arrivait souvent que des bulles d'air de très petite taille soient emprisonnées dans le liquide. Leur nombre peut varier au cours du temps, et ainsi pour un même niveau de chaleur, l'indication du thermomètre différera. La dilatation du liquide est contrariée. Pour retirer cet air indésirable, la technique consistait, en tenant fermement l'instrument dans la

main, à le taper contre la paume de l'autre main pour ôter l'air du liquide. Cette astuce était connue vers 1660 (21).

Enfin, la dilatation de "*l'esprit de vin*" est proportionnelle à sa force ou degré. Les thermomètres remplis "*d'esprits de vin*" différents ne pouvaient pas s'accorder entre eux.

Dans son traité de météorologie, Louis COTTE (1740-1815) critique les thermomètres florentins. Celle-ci s'adresse surtout aux thermomètres 100 et 300 degrés, ceux qui sont parmi les plus sensibles (22). Il souligne, l'importante variation de sensibilité entre les thermomètres, qu'ils se brisent faute de place pour recevoir la liqueur par très forte chaleur, et que par froid excessif la liqueur rentre totalement dans la boule. Il signale l'impossibilité de trouver deux thermomètres, dont la marche soit égale ou proportionnelle, à cause de l'inégalité du corps des thermomètres. L'absence de "*point fixe*" fait que les degrés de chaud et de froid sont arbitraires. Ces défauts privent de la possibilité de comparaison, de sorte qu'on ne peut rien conclure des observations faites.

Le réseau organisé par l'Académie des Médicis a démontré que l'étude du climat nécessite une réelle collaboration scientifique. Ce sont les bases réelles d'une météorologie scientifique qui se dévoile et qui sont énoncées. La notion de communication, d'observation météorologique apparaît. Cette notion sous entend non seulement des instruments standardisés fidèles et comparables, mais également des conditions

d'installation et d'observation comparables, l'adoption d'un langage (symboles) universel, et des règles communes pour la compilation des informations. Ces règles doivent être comprises et acceptées par tous. Les premières règles édictées pour l'observation du temps se concrétisent, elles proviennent du professeur L. ROOKE (1623-1662), (23).

Les observations de la température de l'air, durant la fin du XVII<sup>e</sup> siècle et le début du suivant, furent des actions isolées : soit l'oeuvre d'un seul homme passionné, soit sous l'égide d'un Institut ou d'une Université. La création de la Société Royale de Londres en 1662, et celle de l'Académie Royale des Sciences de Paris en 1666, assureront une communication entre les savants.

Les observations thermiques en Angleterre ont commencé très tôt et se sont quasiment poursuivies sans interruption dans le centre de ce pays. Gordon MANLEY a recherché ces anciennes mesures (24). Il a retrouvé celles de la température du centre de l'Angleterre depuis 1659. Oxford, Suffolk, Upminster figurent parmi les premiers lieux d'observation.

En 1663, de retour de son voyage en Italie, Philippe de LA HIRE (1640-1718) demanda au sieur HUBIN (c1673-1699) de réaliser un thermomètre pour l'Observatoire de Paris (25). Depuis 1664, LA HIRE mesure la température à l'Observatoire de Paris.

Le travail accompli par Louis MORIN (1635-1715) est tout à fait exceptionnel. Durant 48 ans, de 1665 à 1713, il conçut jour après jour un journal météorologique (Fig 2.5). Son travail est tout à fait remarquable, tant par le volume des observations que par l'assiduité à cette tâche, qu'il n'abandonnera que deux ans avant sa mort. Ce journal météorologique est connu pour être la première série d'observations journalières sur une aussi longue période. Durant les 38 dernières années d'observation, trois fois par jour il consultait ses instruments et notait les éléments qualifiant le temps présent. Ce travail ne comporte presque pas de lacunes (275 sur 40812 observations possibles, soit 0,7%). C'est comme si en 38 ans il n'avait eu que 92 jours de repos dimanches et fêtes compris ! (Il mérite sa place dans le livre des records, et ce dernier n'est pas près d'être battu). LEGRAND ET LEGOFF précisent qu'il a utilisé trois thermomètres différents, mais il ne leur a pas été possible de rapprocher chacun des thermomètres à un instrument connu (26).

1692. Septembre.

1		e-o-6	28	1	no	2	3	2	2
		e-i-9	28-1	1-2	no	2	3	2	2
		e-3	28-1	1-2	n	2	2	2	2
2		f-o-6	28-1	1-2				0	
		e-i-4	28-2	2				0	
		e-i-4	28-2	2-1				0	
3		e-2-0	28-1	2-1				0	
		e-i-9	28-1	2				0	
4		f-o-3	28	2-1				0	
		e-i-9	28	2	ene	2	2	0-1	
		e-i-8	28	2				0	
5		f-o-1	27-11	1-2				0	
		e-2-6	27-11	2-1	e	2	2	2	
		e-2-3	27-11	2-1	no	2	2	2	
6		e-o-5	27-11	1				0	
		e-2-9	27-11	2-1				0	
		e-2-5	27-11	2-1	f	2	2	3	
7		e-i-0	27-11	1	n	2	2	4	
		e-i-8	27-11	1	e	2	2	4	p-2
		e-i-4	27-11	1	no	2	2	4	p-2-3
8		e-o-6	27-10	1	no	2	3	4-6	p-2-3
		e-o-7	27-10	1	no	2	4	4-6	p-2-3
		e-o-5	27-9	1	no	2	4	4-6	p-2-3
9		e-	27-9	1	no	2	3	4-6	p-2-3
		e-o-8	27-9	1	e	2	3	4-6	p-2-3
		e-o-7	27-9	1	no	2	2	4-6	p-2-3

2. Diverses observations.

2. Brouillard. Neige. Givre. Tonnerre. Foudre. Courants d'air.

3. pluie - combien forte - la durée.

4. Nuis - leur quantité.

5. Nuis - quel degré de mousserment.

6. Nuis - quelle région de l'air.

7. Nuis - des effets d'innocent.

8. Vent - combien fort.

9. Vent - quel vent souffle.

10. Baromètre.

11. Notion d'air.

12. Thermomètre.

13. Conjonctions. Oppositions. Et autres aspects des autres planètes.

14. Conjonction - Opposition. Et autres aspects de la Lune et de la Terre.

15. jours de la Lune. Et

16. jours du mois.



Fig 2.5 Le journal d'observations de Louis MORIN, septembre 1692  
(Illustration tirée de J. P. LEGRAND, M. LE GOFF, les observations météorologiques de Louis MORIN, 1992, p4).

Les indications des colonnes figurent sur un feuillet séparé (ici à droite) : de bas en haut : "1 : jours du mois, 2 : jours de la lune, 3 : conjonctions oppositions et autres aspects de la lune avec le soleil, 4 : conjonction oppositions et autres aspects des autres planètes, 5 : *thermomètre*, 6 : notiomètre, : 7 baromètre, 8 : vent quel vent souffle, 9 : vent combien fort, 10 : nuées (nuages) d'où elles viennent, 11 : nuées quelle région de l'air, 12 : nuées quel degré de mouvement, 13 : nuées leur quantité, 14 : pluie combien forte sa durée, 15 : brouillard neige grêle tonnerre parhélies couronne couleur du ciel, 16 : diverses choses."

Sans relâche, les observations individuelles se poursuivent au XVIII<sup>e</sup> siècle. Quelques organisations prennent une dimension internationale mais leur étendue reste limitée et leur durée de vie éphémère. Il leur manque d'être reconnues universellement afin de ne pas dépendre d'un seul individu. L'hiver particulièrement rigoureux de 1709 fut un élément moteur, celui de 1776 le sera davantage.

A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, l'observation météorologique organisée avec des instruments comparables devient un besoin. La marine, l'agriculture, la médecine, demandent qu'une telle organisation soit mise en place. Deux sociétés développent chacune un réseau international auquel plusieurs centaines d'observateurs se sont ralliés :

- La Société Royale de Médecine (Une large étude est faite au chapitre 5).
- La Société météorologique de Mannheim.

La société météorologique palatine fut fondée par l'Electeur Karl THEODOR (1724-1799) en 1780. La Société dotait les observateurs d'instruments comparables et étalonnés (27). Des

instructions précises pour les observateurs ont été publiées en 1781 (28).

D'un noyau de 11 stations, d'Europe Centrale pour la plupart, au début de 1781, ce réseau s'étendit durant les 5 années suivantes, pour comprendre 50 observatoires de la Russie au Groenland en traversant l'Europe, et en Amérique. En France, MARET observait à Dijon et SEIGNETTE à La Rochelle. Ces observateurs transmettaient également leurs observations à la Société Royale de Médecine de Paris (29). Les observations ont été publiées dans 12 volumes annuels de 1781 à 1792. Le siège et la capitulation de Mannheim en 1795 mettront fin à ces efforts (30).

La Société Royale de Médecine n'a pas eu une durée de vie plus grande. Un arrêt de la Révolution mit fin à son entreprise.

Un demi-siècle plus tard, le 14 novembre 1854, un violente tempête dissémina la flotte franco-anglo-turque sur la mer Noire. Le vaisseau français Henri IV sombra avec 40 autres vaisseaux alliés. Le maréchal VAILLANT chargea Urbain LE VERRIER (1811-1877) d'une enquête. Celui-ci montra à L'Empereur NAPOLEON III que ce caprice météorologique était prévisible. Il présenta alors, en février 1855, son projet de réseau météorologique. LE VERRIER a réussi à obtenir l'aval des dirigeants politiques afin d'établir le réseau d'observations météorologiques, celui qui est en vigueur actuellement.



## 2.4 LES PREMIERS POINTS FIXES

L'échelle d'un thermomètre est établie à partir de températures obtenues lors de changement d'état de certains corps. Celles-ci sont constantes et facilement reproductibles. Ces points marqués sur le tube du thermomètre sont appelés "*points fixes*". La détermination des "*points fixes*" d'un thermomètre est capitale car la graduation en dépend. Les recherches effectuées par les savants à propos des "*points fixes*" constituent l'âme de l'histoire des thermomètres. Toutes les finesses, tous les essais réalisés sont compris lorsqu'on connaît les vicissitudes qu'il y a eu autour des points fixes.

La graduation du thermomètre s'effectue soit à l'aide de deux "*points fixes*", soit avec un seul. Connaissant deux points de repère et le nombre de degrés qui les sépare, la division du tube en parties égales donne en théorie l'espace d'un degré. La loi de dilatation apparente doit être linéaire et le diamètre interne du tube constant. Connaissant un point de repère et la loi de dilatation du liquide, ou l'augmentation en volume pour chaque degré, l'addition du volume de liquide correspondant à l'augmentation de volume pour un échauffement d'un degré permet de graduer la colonne du thermomètre. De forme simple, le thermomètre est fixé sur la rainure d'une planchette. Celle-ci dispose d'un évidement suffisant au niveau du réservoir. Les degrés ne sont plus marqués sur le tube, comme le faisaient les florentins, mais sur la

planchette. Cette différence est un facteur d'importantes erreurs : risque de décalage entre le thermomètre et les graduations, risque d'utiliser la même planchette pour deux thermomètres différents. Pour l'un d'eux l'échelle ne correspond pas.

C'est à SANCTORIUS que l'on doit la détermination des premiers "*points fixes*". Son échelle à l'origine dotée de trois points, fut quelques années plus tard décimale (31).

Peu après, SAGREDO (lettre du 16-02-1615) proposa de noter zéro au thermomètre là où la liqueur s'arrêtait, lorsque ce dernier se trouvait dans un mélange d'eau de glace et de sel marin (soit environ  $-21^{\circ}\text{C}$ ). Le but était de rechercher la température la plus basse possible afin de n'avoir que des degrés positifs. Cette température était regardée comme le plus grand froid qui puisse exister.

Les thermomètres scellés qui apparurent à partir de 1650 n'ont rien changé à cette philosophie. La préoccupation principale des savants en ce domaine est la recherche de mélanges dont la température soit constante et reproductible. Le choix de la graduation est du second ordre en cette seconde partie du XVII<sup>e</sup> siècle. En Angleterre, en France, et plus généralement en Europe, le thermomètre de Florence est introduit et reproduit par les savants.

Robert HOOKE (1635-1703) réalisait des thermomètres très concordants pour la Société Royale de Londres. En octobre 1663, les membres de cette Société acceptèrent de prendre un des thermomètres de Robert HOOKE comme étalon. Les autres thermomètres devaient être réglés suivant cet étalon (32). HOOKE en 1664 conserva zéro au point bas, mais le détermina, là où l'eau "*commence à geler*" (point de congélation). C'est la première réalisation connue pour placer ainsi le zéro du thermomètre (33). HOOKE publia sa "*Micrographia*" en octobre 1664 dans laquelle il décrit les essais sur les thermomètres scellés.

Pour obtenir ce point, les savants plaçaient un vase plein d'eau dans un vase plus grand contenant de la glace mêlée à du sel. Le thermomètre plonge dans le vase rempli d'eau. Au moment où l'eau commence à geler, la température du thermomètre était supposée égale à zéro. L'eau dans le vase n'était pas agitée. Des gradients existaient entre la périphérie et le centre. Suivant que de la glace était placée sous le vase rempli d'eau ou que seuls les côtés étaient entourés de glace, les résultats pouvaient être différents. Parfois la température de l'eau devenait négative, celle-ci restant liquide. Le phénomène de surfusion était encore inconnu (34).

L'Académie Del Cimento a essayé plusieurs points de repère différents. Elle a finalement retenu la température de l'eau qui "*commence à geler*" pour le point bas, et la plus forte chaleur des rayons du soleil d'Italie en été pour le point

haut. La division des thermomètres florentins était décimale. La différence thermique entre deux points fixes n'était pas forcément un multiple de dix. La description du thermomètre florentin date de 1667 (35), et son utilisation est antérieure de quelques années. Ces points de détail ne seront repris que bien plus tard par les savants, notamment lorsqu'ils établiront une échelle décimale qui n'est autre qu'une division décimale.

Le point zéro obtenu soit par "*congélation de l'eau*" soit par la chaleur de la neige fut d'abord admis par plusieurs savants : HOOKE, LA HIRE, Robert BOYLE (1627-1691), Edmond HALLEY (1656-1742). Les précautions prises pour réaliser l'expérience de la congélation de l'eau, la qualité des thermomètres qui s'améliore ont déterminé ce point comme "*étant compris entre des limites trop étendues*" (36). Persuadés de cette affirmation sans pouvoir l'expliquer, les savants ont rejeté ce point (37).

Pour y remédier, HALLEY, du même avis que BOYLE, proposa comme point fixe le degré de chaleur des lieux creusés sous terre. Il avait remarqué que les effets du froid de l'hiver et de la chaleur de l'été n'affectaient pas cette température (38). Edme MARIOTTE (1620-1684), LA HIRE, et Giacomo Filippo MARALDI (1665-1729) assurèrent que la température des caves de l'Observatoire de Paris est la même en été qu'en hiver. Ainsi la température obtenue par la congélation de l'eau fut abandonnée au profit de celle des caves de l'Observatoire de Paris. Ce "*point fixe*" se trouve dans la plupart des thermomètres de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle (39).

Néanmoins, la constance de la température des caves profondes suscita la divergence entre les partisans de prendre cette température comme fixe, et ceux qui souhaitaient conserver celle de l'eau qui se congèle. A la recherche d'autre point fixe, BOYLE proposa d'utiliser la température à laquelle l'huile essentielle d'anis se fige (40).

Les thermomètres utilisés pour ces expériences étaient du type de ceux de Florence. Les réflexions auxquelles les savants sont arrivés confirmaient la précision déjà annoncée sur ces thermomètres. Les très faibles variations de la température des caves profondes (quelques dixièmes de degrés Celsius) ne sont pas encore perçues. La différence des températures, entre le point de congélation de l'eau et le froid de la neige (de l'ordre du degré CELSIUS), due aux conditions expérimentales est mise en évidence par les thermomètres.

En 1665 BOYLE proposa de standardiser les thermomètres. Il souligna l'absence de référence et l'impossibilité d'échange d'information thermique. Il a montré la nécessité d'avoir un degré plus exact afin d'échanger la notion de degré comme on mesure des grandeurs telles les distances, les poids et le temps (41).

"We are greatly at a loss for a standard whereby to measure cold. The common instruments show us no more than the relative coldness of the air, but leave us in the dark as to the positive degree thereof; whence we cannot communicate the idea of any such degree to another person. For not only the several differences of this quality have no names assigned them, but our sense of feeling cannot therein be depended upon; and the thermometers are such very variable things that it seems morally impossible from them to settle such a measure of coldness as we have of time, distance, weight, etc."

Traduction :

*"Nous sommes fortement dans l'ennui par manque d'étalon pour mesurer le froid. L'instrument commun nous indique seulement le froid relatif de l'air, mais nous laisse dans l'obscurité quant aux degrés positifs; d'où nous ne pouvons pas communiquer l'idée d'un de ces degrés à une autre personne. Car non seulement les multiples différences de cette qualité n'ont pas de nom qui leur soit attribué, mais nos sens du tâtonnement ne peuvent en cela s'y fier; et les thermomètres sont des choses si variables qu'il semble moralement impossible pour eux d'établir une mesure de froid comme nous avons pour le temps, les distances, les poids, ect."*

Christian HUYGGENS (1629-1695) reçu un thermomètre de HOOKE le 2 janvier 1665. Il écrivit le jour même à Robert MORAY (xxxx-1673) car il l'avait prié en novembre 1664 de lui envoyer un thermomètre. Dans cette lettre il proposait qu'une mesure universelle soit adoptée. Il fut le premier à proposer de prendre comme "point fixe" les points de congélation et d'ébullition de l'eau (42). Cet appel ne sera entendu qu'au début du siècle suivant.

*"Il serait bon de songer à une mesure universelle du froid et du chaud; en faisant premièrement que la capacité de la boule eut une certaine proportion à celle du tuyau, et puis prenant pour commencement le degré de froid par lequel l'eau commence à se geler, ou bien le degré de chaud de l'eau bouillante, afin que sans envoyer des thermomètres l'on peut se communiquer les degrés du chaud et du froid qu'on aurait trouvé dans les expériences, et les consigner à la postérité."*

(Tiré de VOLLMANN p1770-1771)

L'instruction de Robert HOOKE de 1667 plus complète que celle de L. ROOKE, comporte 7 paragraphes, chacun portant sur un domaine particulier de la météorologie. Le second paragraphe traite du degré de chaud et de froid de l'air. HOOKE précise que les degrés sont mieux observés au moyen d'un thermomètre fermé, calibré selon les degrés de dilatation, et ayant une relation connue avec la quantité totale de liquide. Le point de départ des divisions doit être donné par l'expansion

atteinte par le liquide lorsque le thermomètre est entouré d'eau qui commence à geler. Les degrés modérés ou de faible expansion doivent être marqués au-dessus ou au-dessous de cela. L'importance est donnée sur la nécessité d'utiliser des instruments ayant une échelle commune et de faire des observations dans des conditions identiques (43).

En 1670, LA HIRE plaça son thermomètre à 28 mètres sous terre dans les caves de l'Observatoire, il vit qu'il se maintenait à la division 48 en toute saison (44). Constatant la fixité de ce point, LA HIRE construisit un thermomètre ayant pour "*point fixe*" la température de congélation de l'eau des champs, et celle des caves de l'Observatoire de Paris (45). Le "Sieur" HUBIN travaillait pour LA HIRE (infra p 83).

DALEME est le premier à déterminer le point de fusion de la glace en 1688 (46). Les savants déterminent également ce niveau de chaleur par celle de la congélation de l'eau et celle de la neige. Les différences qu'ils trouvent sont attribuées à cette époque, faute de théorie connue, à la variabilité de ce point.

La graduation en un nombre de degrés définis entre deux points fixes apparut à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle : vers 1672, Sebastano BARTOLOLO (1635-1676) suggéra de diviser l'espace, entre la chaleur de la neige et celle de l'ébullition de l'eau, en 18 degrés (47). En 1692-1693, Isaac NEWTON (1642-1727) proposa une échelle duodécimale (48). Son thermomètre est décrit dans

les "*transactions philosophiques*" publiées en 1701. NEWTON fut le premier à utiliser la température du corps humain comme base pour la graduation d'une échelle de température (49).

En 1694, Carlo RENALDINI (1615-1698) propose de nouveau les deux points fixes de la congélation et de l'ébullition de l'eau (50). Il propose de diviser l'échelle en 12 parties. Les scientifiques, doutant de la constance de la température de ces deux points, rejetèrent la proposition de RENALDINI dans l'immédiat (51).

En 1699, HALLEY trouva que le degré de chaleur de l'eau bouillante était fixe et que la chaleur de l'eau n'était pas augmentée par une ébullition prolongée (52). Guillaume AMONTONS (1663-1705) précise en 1702 que le point d'ébullition de l'eau a une température fixe.

Au début du XVIII<sup>e</sup> siècle, plusieurs points fixes sont retenus par les savants :

- Mélange glace et sel (proche  $-21^{\circ}\text{C}$ )
- Point de congélation de l'eau (proche  $0^{\circ}\text{C}$ )
- Point de fusion de la neige ou de la glace (proche  $0^{\circ}\text{C}$ )
- Température du corps humain (proche  $37^{\circ}\text{C}$ )
- Température de "*l'esprit de vin*" bouillant (proche  $80^{\circ}\text{C}$ )
- Température de l'eau bouillante (proche  $100^{\circ}\text{C}$ )

Les thermomètres construits au début du XVIII<sup>e</sup> siècle utilisaient pour la plupart deux "*points fixes*" parmi ceux énumérés ci-dessus. Le nombre de degrés les séparant commence



à être défini par chaque constructeur. Les volumes de la boule et du tube n'avaient pas encore des rapports connus entre eux. Ces individualités instrumentales ne permettaient pas de comparer des observations faites avec des thermomètres différents. Ces deux éléments (choix de points fixes, et échelle thermométrique) conduisirent les savants à réaliser une multitude de thermomètres; l'objectif était la construction d'un thermomètre "*universel*". Il faudra attendre les réalisations de FAHRENHEIT et de REAUMUR publiées respectivement en 1724 et 1730 pour que l'uniformisation des thermomètres commence.

## 2.5 DES ECHELLES CENTESIMALES

### A L'ECHELLE CENTIGRADE

En 1702, l'astronome danois Ole ROEMER (1644-1710) construisait des thermomètres calibrés, divisés linéairement entre le point de fusion de la glace et le terme de l'eau bouillante. Son échelle de 60 degrés n'avait que des degrés positifs. Le point de fusion de la glace était au 1/8<sup>e</sup> de l'échelle et le point d'ébullition au 60<sup>e</sup> degré. Quelques années plus tard, ROEMER plaça le point de fusion de la glace au huitième degré de son échelle pour plus de commodité (54). Il a proposé à son successeur Peter HORREBOW (1679-1764) de porter le point d'ébullition du 60<sup>e</sup> degré au 100<sup>e</sup> degré. C'est la première fois qu'il est proposé d'associer 100 au terme de l'ébullition de l'eau. Son échelle comporte 100 degrés, le point de fusion de la glace se trouve maintenant au 1/5<sup>e</sup> de cette échelle. HORREBOW fit quelques annotations dans le journal de bord de ROEMER qui lui attribuèrent ces faits :

"Pro 60 sumo 100 & pro 7 1/2 sumo 20, scilicet 1/5 totius graduationis, ut relinquatur spatium pro majori frigore quam in Dania observatur; quod monente Roemero facio nomine Roemeri"

(Tiré de Adversaria, fol 115v, édition 1910 p 207, de MIDDLETON p 94)

" Convenientius mihi sic videtur : Inter Ebullitionem & nivem sumantur quatuor partes aequales, quarum una sumatur deorsum; singulas has partes quintas divide in viginti, & habes partes 100, numerum rotundum, infra quas nunquam Hafniae observatum est thermometrum descendere. Sed inventio nihilominus tribuenda est Roemero, cujus revera est"

(Tiré de Adversaria, fol 117v, édition 1910 p 211, de MIDDLETON p 94)

*Traduction :*

*"Pour 60 je prends 100 et pour 7 1/2 je prends 20, soit 1/5 de l'ensemble de l'échelle, afin de laisser de l'espace pour un froid plus grand que celui qui est observé au Danemark; je fis cela sous le nom de ROMER, comme il le conseillait".*

*Ce qui suit me semble plus intéressant : entre le point d'ébullition et la neige quatre parties égales sont prises, et une en dessous; divise chacune de ces 5 parties en 20, et vous avez 100 graduations, un nombre rond, sous lequel le thermomètre n'a jamais été observé à Copenhague. Mais néanmoins l'invention doit être attribué à ROEMER, car c'est la réalité."*

FAHRENHEIT qui visita ROEMER en 1708 fit des thermomètres sur le modèle de ceux montrés par le danois. Après quelques essais, vers 1717, il multiplia l'échelle de ROMER par quatre, ce qui lui donna 32 degrés pour le point de fusion de la glace, et 96 pour la chaleur d'un homme en bonne santé. Il n'utilisa pas le point d'ébullition de l'eau, mais le fixa à 212 degrés (55).

Dans son mémoire de 1724, FAHRENHEIT mentionne que l'idée de construire des thermomètres à mercure lui est venue d'après une remarque de chercheurs gênés par la dilatation du mercure du baromètre :

*"When about ten years ago I read in the History of Sciences of the Royal Society of Paris that the famous Amontons has discovered by means of a thermometer devised by him that water boils at a definite temperature, I at once cherished the strong desire to make for myself such a thermometer in order to demonstrate this beautiful natural phenomenon before my eyes and to convince myself if about the correctness of this experiment..."*

*Again it occurred to me that earnest researchers investigatting the problem of correction of the barometer had written and found out that the height of mercury column in the barometer may be to some extent (i.e., quite noticeably) dependend on the temperature of the mercury. From this I concluded that a thermometer could be constructed from mercury and its construction would not be so very difficult."*

*(Tiré de FAHRENHEIT, 1724, de CARIUS p 90).*

*Traduction :*

*Lorsqu'il y a environ dix ans (vers 1714) j'ai lu dans l'histoire des sciences de la Société royale de Paris que le fameux AMONTONS avait découvert au moyen d'un thermomètre divisé par lui que l'eau bout à une température définie, je ressentais une forte volonté à faire moi-même un tel thermomètre afin de démontrer ce beau et naturel phénomène et de me convaincre de l'exactitude de cette expérience.*

*De plus j'entendis que des chercheurs sérieux recherchant le problème de correction du baromètre ont écrit et découvert que la hauteur de la colonne de mercure du baromètre peut s'étendre selon la température du mercure. De cela je conclus que le thermomètre peut être réalisé avec du mercure, et que sa construction n'est pas trop difficile."*

En 1713 FAHRENHEIT commença à construire des thermomètres à mercure. Ceux ci furent en état de fonctionner en 1717. Il fut le premier à construire des thermomètres avec le vif argent qui soient utilisables (56). FAHRENHEIT commercialisa ses thermomètres. Ces derniers furent largement utilisés aux Pays Bas et en Angleterre.

La température des caves de l'Observatoire de Paris prise comme point fixe posa un problème de proximité : pour étalonner les instruments, les savants devaient se rendre à Paris. Ce point qui paraissait idéal fut peu à peu abandonné pour revenir au point de fusion de la glace ou à celui de la congélation de l'eau.

En 1732 Jean Nicolas DELISLE astronome français fut contraint de changer son "point fixe" inférieur lors de son voyage en Russie. Il ne put construire de thermomètre sur les principes qu'il avait adopté faute de souterrain assez profond (57). Il proposa alors pour la graduation du thermomètre : 0° au point d'ébullition de l'eau, et 150° au point de congélation de

l'eau (58). Cela provient du fait que les frères DELISLE avaient réalisé en 1724 un thermomètre qui indiquait 100 degrés à la température des caves de l'Observatoire de Paris et zéro au point d'ébullition de l'eau (59). DELISLE fut le premier à construire un thermomètre divisé en 100 degrés entre deux "points fixes" (60). En 1740, Jacques B. MICHELI DUCREST (1690-1766) proposera la même échelle mais inversée (61).

En décembre 1737 DELISLE envoie à Anders CELSIUS (1701-1744) une petite boîte qui contenait deux thermomètres à mercure. Ils sont selon sa graduation de 1732, ajustés de la façon la plus exacte pour en faire des thermomètres universels (62).

A cette même époque, un manuscrit de REAUMUR de 1740 (63) précise le rapprochement entre les thermomètres de HORREBOW et ceux de REAUMUR. La division centésimale est proposée entre la congélation (point 100) et le terme de l'eau bouillante (point 0). REAUMUR retient les deux "points fixes" de DELISLE et la division en 100 degrés proposée par ROEMER à HORREBOW (Fig 2.6). Il est le premier à penser ainsi :

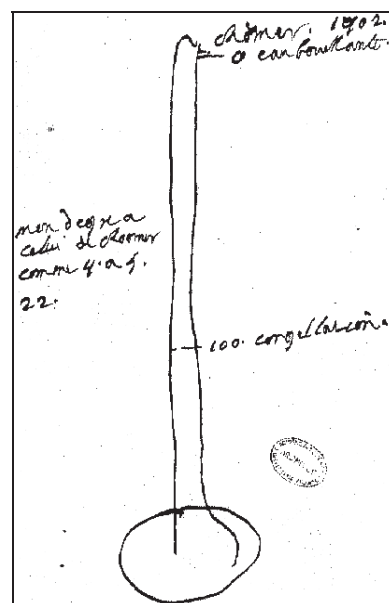


Fig 2.6 La division centésimale de REAUMUR (Illustration tirée de MIDDLETON p 92)

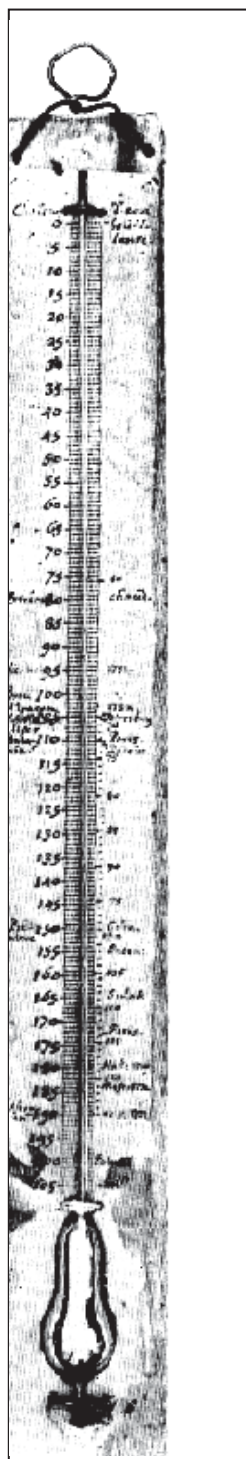
"Pour 1740 si j'ai la suite des observations détaillées de M. HORREBOW.

M. HORREBOW s'est trouvé des thermomètres dont la marche peut être ramenée aux miens. Si M. ROEMER n'a pas eu l'idée que chaque degré fut une portion connue du volume de liqueur prise dans l'état de congélation, il avait pensé à faire des thermomètres dont les degrés peuvent être comparés aux miens.

Rappeler l'histoire.

La congélation est exprimée par 100, et l'eau bouillante par 0. Au-dessous de la congélation les degrés s'ajoutent à 100. Les degrés se comptent comme les miens, et au contraire au-dessus de la congélation ôtant le nombre de degrés marqués de 100. Ou prenant le complément de 100 on compte à ma manière 80<sup>de</sup> de M. ROEMER en comptant à ma manière seraient 20 degrés. Mais M. HORREBOW a remarqué que quatre de mes degrés en valent 5 de M. ROEMER, ainsi 20 degrés de M. ROEMER sont 16 des miens &c."

(Note manuscrite de REAUMUR, Académie des Sciences, Paris, tirée de MIDDLETON p 91).



CELSIUS modifia les graduations du thermomètre de DELISLE en 1741, en inscrivant sur la droite de l'échelle la graduation suggérée par REAUMUR en 1740 : au point d'ébullition "*chaleur d'eau bouillante : 0*", à celui de la fusion de la glace : "*première gelée : 100*". Le 25 décembre 1741 il était prêt à l'emploi. Le point 100 était obtenu à une pression atmosphérique de 25 1/4 pouces (1002,1 hPa) (64). Ce thermomètre a survécu, il est conservé à l'Institut Météorologique de l'Université Royale d'Uppsala (Fig 2.7).

CELSIUS utilisa ce thermomètre avec cette nouvelle graduation centigrade à l'Observatoire d'Uppsala. Les observations régulières ont débuté le 2 juin 1743. Il n'aurait jamais inversé la graduation (65).

Fig 2.7 Thermomètre envoyé par DELISLE à CELSIUS en 1737. Les graduations 100 au terme de la fusion de la glace, et 0 au point d'ébullition de l'eau ont été inscrites par CELSIUS. (Illustration tirée de MIDDLETON p 96).

Le 2 décembre 1745, Charles LINNE (1707-1778) présente à l'académie Suédoise des Sciences un thermomètre sur lequel l'échelle est l'inverse de l'échelle CELSIUS (66). En 1758, il proclame être le premier à avoir construit le thermomètre centigrade :

"Ego primus, fui qui parare constitui thermometra nostra ubi puetum congelationis 0, et gradus coquentis aqua 100; et hoc quo hybernaculis horti; si lies adsuetus esses, certus sum quad arriderent"

(Tiré de LINNE, lettre du 30 octobre 1758 adressée à BOISSIER de la CROIX de SAUVAGE botaniste à Montpellier, de HILDEBRAND HILDEBRANDSON)

*Traduction :*

*Je suis le premier qui décida de construire nos thermomètres pour lesquels le point de fusion est 0, et le point d'ébullition est 100; et cela pour les serres de notre jardin. Je suis certain que si vous étiez habitué à ceux-ci ils vous plairont.*

Hugo HILDEBRAND HILDEBRANDSSON (1838-1925) directeur de l'Observatoire impérial d'Uppsala informa Léon TEISSERENC DE BORT (1855-1913) de cette lettre dans une missive du 14 février 1897 (67), (Fig 2.8) pensant qu'elle pourrait intéresser la Société Météorologique de France.

"M. FRIES qui est en train de publier une biographie sur LINNE, m'a indiqué que LINNE a employé le thermomètre centigrade à UPSAL en 1745 et probablement déjà en 1740 à Stockholm.

Dans ses thèses HORTUS UPSALIENSIS soutenues le 16 décembre 1745, p 23 il y a une note *Thermometrum nostrum est 0 in puncto congelationis et mesurat 100 at gradus aquae coquentis*. Dans le texte, il dit que la température du Calidarium (tempéré) doit être 20-25 degrés".

Dans son livre du même titre publié en 1748, il parle dans l'introduction des températures extrêmes de l'air en Suède, et il dit qu'il a observé lui même *frigus minimum 1740 25 nocte gr. infra puncta congelatisuis, ubo punctum congelationis 0, calor aquae coquentis 100*. Alors LINNE a dû employer le thermomètre centigrade déjà à Stockholm, car il n'était pas professeur à Upsal avant 1741."

(Tiré de HILDEBRAND HILDEBRANDSON, lettre du 14 février 1897)

Dans son livre du même titre Hortus Upp-  
saliensis publié en 1748, il parle dans  
 l'introduction des températures extrêmes  
 de l'air en Suède, et il dit qu'il a obser-  
 vé lui-même "frigus minimum 1740<sup>I</sup>/<sub>25</sub>  
 nocte gr. 28 infra punct. congelationis, ubi  
 punctum congelationis 0, calor aquae coquen-  
 tis 100". Alors Linné a dû employer  
 le thermomètre centigrade déjà à Stock-  
 holm, car il n'était pas professeur  
 à Uppsala avant 1741.

Fig 2.8 Extrait de la lettre de HILDEBRAND HILDEBRANDSSON du 14 février 1897 adressée à TEISSERENC DE BORT (Archives Météo-France).

La conclusion retenue est la suivante : DELISLE envoya en 1737 deux thermomètres à CELSIUS. Ce dernier en garda un. Il associa une échelle indiquant zéro pour le point d'ébullition de l'eau, et 100 pour le point de fusion de la glace. LINNE utilisa le second, il lui attribua une échelle centigrade avec zéro au "terme" de la fusion de la glace et 100 au point d'ébullition de l'eau. Il l'utilisa ainsi à Stockholm dans les années 1740. Trouvant cette graduation plus commode que celle de CELSIUS, il présenta ce thermomètre à l'Académie suédoise des sciences en 1745 après la mort de CELSIUS, et l'industrialisa aussitôt après. Daniel EKSTRÖM, un fameux



constructeur d'instrument en fut chargé. Mais l'idée de diviser cet espace en 100 degrés revient à REAUMUR.

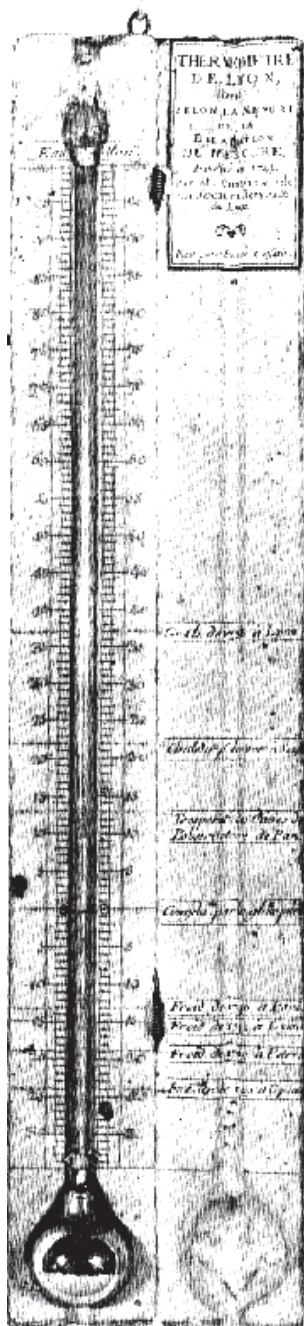
En France, indépendamment des essais suédois la graduation centésimale apparaît au même moment.

Jean Pierre CHRISTIN (1683-1755) fit construire par Pierre CASATI un thermomètre centigrade à mercure qu'il présenta le 19 mars 1743 à l'assemblée publique de l'Académie des beaux arts de Lyon (Fig 2.9). Les volumes cités rapprochent son thermomètre de celui de REAUMUR. Suivant le témoignage d'un contemporain (68) :

"M. CHRISTIN a reconnu qu'une quantité de mercure condensé par le froid de la glace pilée et ensuite dilaté par la chaleur de l'eau bouillante formait dans ces deux états deux volumes qui étaient entre eux comme 66 à 67 et qu'un volume de 6600 parties condensé est devenu par la dilatation 6700 parties. La différence de 100 de la condensation à la dilatation est le nombre de degrés qu'il donne à l'échelle du nouveau thermomètre de mercure entre ces deux points."

(Tiré de Universalis p 122a).

En France, MORONVAL écrivit à CHRISTIN le 31 juillet 1743 pour lui signaler qu'il avait également divisé en 100 parties égales l'intervalle entre le point de congélation et le point d'ébullition de l'eau sans tenir compte de la capacité du réservoir (69). MORONVAL ne précise pas quand il a procédé à cette division.



*THERMOMETRE DE LYON*

*Divisé selon la mesure de la dilatation  
du mercure*

*Trouvé en 1743 par M. CHRISTIN  
de la Société Royale de Lyon  
Fait par Pierre CASATI*

*"Grande chaleur de 1778 à Lyon"*

*"Chaleur pour le ver à soie"*

*"Températures des caves de l'observatoire à  
Paris"*

*"Congélation par la glace pilée"*

*"Froid de 1740 à Paris"*

*"Froid de 1742 à Lyon"*

*"Froid de 1709 à Paris"*

*"Froid extrême de 1740 à Uppsala"*

Fig 2.9 Le thermomètre de Lyon fait par Pierre CASATI suivant les directives de Jean Pierre CHRISTIN, présenté le 19 mars 1743 à l'assemblée publique de l'Académie des beaux arts de Lyon. (Illustration tirée de MIDDLETON p 106).

Presque un siècle, après que HUYGGENS ait proposé d'utiliser les points de congélation et d'ébullition de l'eau comme points fixes du thermomètre, et que l'Académie Del Cimento ait

adopté une division décimale, le thermomètre à échelle centigrade indiquant zéro au point de fusion de la glace fut construit en Suède par LINNE en 1740, puis en France par CHRISTIN en 1743. ROEMER le premier suggéra de diviser en 100 degrés l'espace entre deux points fixes. REAUMUR en 1740, émit l'idée de diviser en 100 degrés l'espace compris entre les points fixes proposés par HUYGGENS en 1665.

Le thermomètre centigrade est en usage au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, mais il n'a pas l'assentiment unanime des savants. Vers 1775 on rencontre encore de nombreuses objections à propos du terme de l'eau bouillante, ce qui explique qu'aucun système de graduation n'ait provoqué une adhésion unanime. Pour essayer de comparer les températures observées en différents lieux, des tableaux de comparaison qui présentent les différents thermomètres en usage courant, figurent dans les livres du XVIII<sup>e</sup> siècle. COTTE, en 1784, publie une planche de 15 thermomètres les plus connus en France (70). Ces tableaux loin d'être complets, tant la disparité est importante, montrent combien il est difficile de comparer la chaleur mesurée avec des thermomètres différents (Fig 2.10). Son mémoire complète le document de Jan Hendrik VAN SWINDEN (1746-1823) de 1778 qui présente près d'une centaine de thermomètres différents (71).

La commission des poids et mesures, créée par la Convention, décida en 1794 de prendre pour degré thermométrique la centième partie entre le terme de la glace et celui de l'eau

bouillante. Cette décision mis définitivement fin aux autres échelles thermiques.

En octobre 1948 à la suite d'une décision de la IX<sup>e</sup> conférence des poids et mesure, le degré centésimal a pris le nom de "degré CELSIUS".

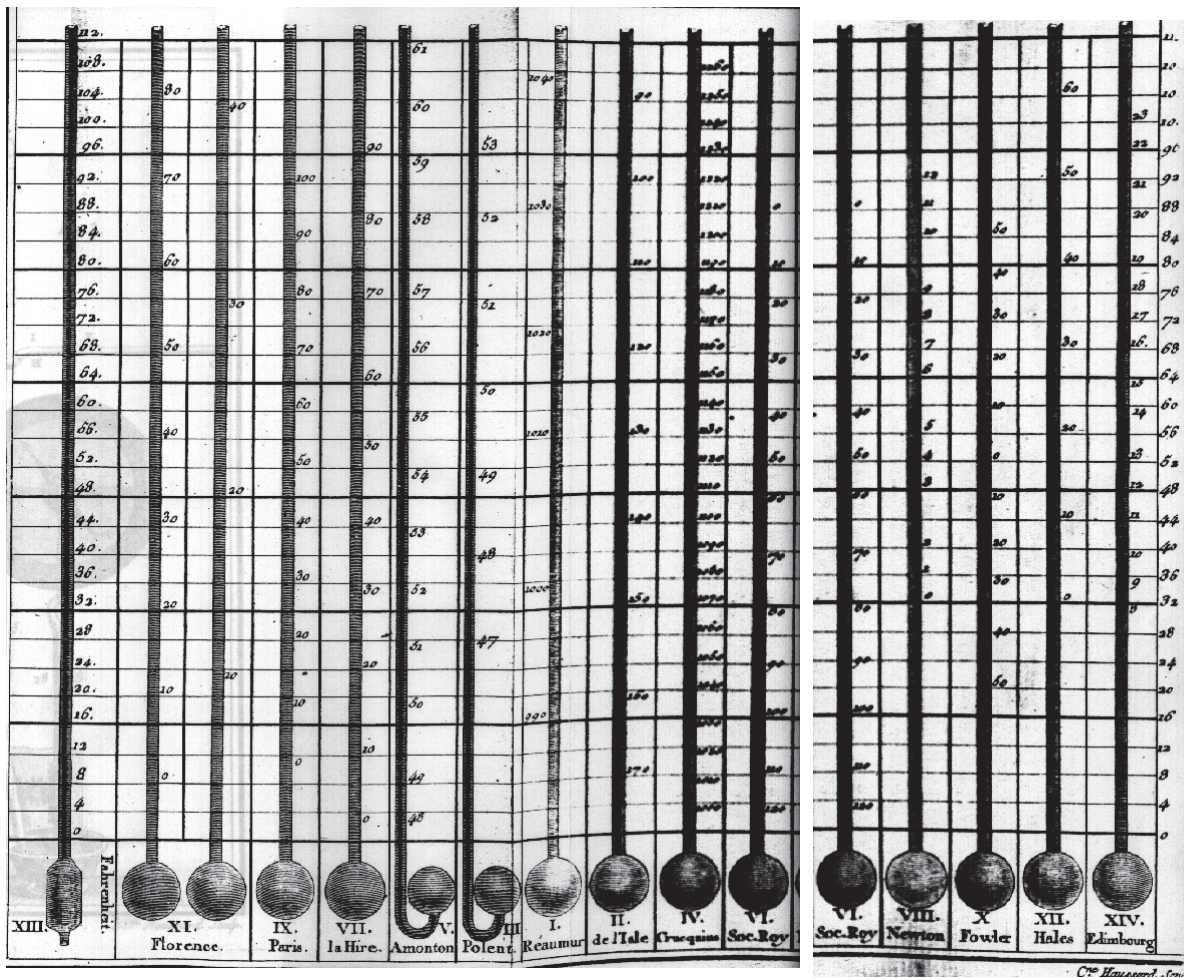


Fig 2.10 Quelques thermomètres en usage à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle (Illustration tirée de COTTE, Traité de météorologie, planche VII).

## DU THERMOSCOPE A TROIS POINTS DE REPERE AU THERMOMETRE CENTIGRADE

- 1608 SANCTORIUS utilise deux points de repère : la chaleur de la neige, et celle de la flamme d'une bougie.
- 1615 SAGREDO marque zéro à la chaleur du mélange de glace, d'eau et de sel marin.
- 1664 HOOKE note zéro au point de congélation.
- 1664 HALLEY propose le degré de chaleur des lieux sous terre comme point de référence.
- 1665 BOYLE souligne l'absence de référence pour la mesure thermique et propose de standardiser les thermomètres.
- 1665 HUYGGENS propose deux points de référence : le point de congélation et le point d'ébullition de l'eau.
- 1667 ou quelques années avant, les physiciens de l'Académie del Cimento avaient doté le thermomètre d'une division décimale.
- 1667 l'instruction de Robert HOOKE apporte la notion de relation entre le volume occupé par l'espace d'un degré et la quantité de liquide.
- 1672 environ, BARTOLO propose de diviser l'espace entre la chaleur de la neige et le terme de l'eau bouillante en 18 degrés.
- 1688 DALEME détermine le point de fusion de la glace.
- 1692-1693 NEWTON propose une échelle duodécimale.
- 1701 NEWTON réalise un thermomètre à échelle duodécimale, les points fixes sont le terme de la fusion de la glace et la température d'un homme en bonne santé. C'est la première utilisation de la chaleur humaine comme point fixe pour les thermomètres.
- 1702 ROEMER construit un thermomètre reproductible dont les deux points fixes sont le point de fusion de la glace et le point d'ébullition. Ce dernier est au 60<sup>e</sup> degré, le point de fusion est au 1/8<sup>e</sup> degré de l'échelle.
- 1710 ou un peu avant, ROEMER propose à son successeur HORREBOW d'indiquer 100 au terme de l'eau bouillante, et d'adopter une graduation centésimale à laquelle le terme de la fusion de la glace se situe au 1/5<sup>e</sup> de l'échelle. Pour la première fois, il est proposé de diviser en 100 degrés l'échelle du thermomètre.
- 1713 Premiers essais pour réaliser des thermomètres à mercure de FAHRENHEIT.
- 1717 FAHRENHEIT commercialise ses thermomètres. Il est le premier à avoir construit des thermomètres à mercure.

- 1724 environ, le thermomètre de DELISLE indique zéro au terme de l'eau bouillante, et 100 à la température des caves de l'Observatoire de Paris. C'est la première réalisation d'un thermomètre divisé en 100 degrés entre deux termes fixes.
- 1730 REAUMUR publie les règles pour construire un thermomètre à un seul point fixe. Le point de congélation de l'eau est repéré à zéro.
- 1737 DELISLE envoie 2 thermomètres à CELSIUS réglés sur le terme de l'ébullition de l'eau (0°) et sur le terme de la glace (150°)
- 1740 Micheli DUCREST propose une échelle centigrade entre la température des caves de l'Observatoire de Paris et le point d'ébullition de l'eau.
- 1740 Réflexion de REAUMUR pour une échelle centésimale avec zéro au point d'ébullition et 100 au point de congélation. Il est le premier à émettre cette idée.
- 1740 environ LINNE modifie l'échelle de DELISLE en une échelle centigrade avec zéro au terme de la glace.
- 1741 CELSIUS modifie l'échelle du thermomètre de DELISLE avec 100 au terme de la glace.
- 1743 CHRISTIN présente à l'Académie des beaux arts de Lyon un thermomètre centigrade construit sur les principes du thermomètre de REAUMUR.
- 1745 LINNE présenta le thermomètre centigrade à l'Académie Suédoise des sciences.
- 1794 Décision de prendre l'échelle centigrade comme échelle thermométrique par la commission des poids et mesures.
- 1948 Le Comité International des poids et Mesures nomme le degré centésimal le degré Celsius.
- 1954 Adoption d'une échelle à un seul "point fixe" : 273,16°K pour le point triple de l'eau (0,01°C)

## NOTES DE RENVOI

- (1) JOYAL M.  
Chaleur, collection M. JOYAL P. PROVOST, Paris, Masson, 1967
- GOUX Claude  
Guide de thermométrie, collection de l'A.N.R.T.  
Paris, Eyrolles, Gauthier Villars, 1959
- (2) DETTWILLER Jacques  
Chronologie de quelques évènements météorologiques en France et ailleurs; Monographie de la Météorologie Nationale N°1, page : 9  
BOULOGNE, Météorologie Nationale, 1982
- (3) AUBERGER Jean Louis  
Histoire de la météorologie.  
Manuscrit non publié; PARIS, 1988
- (4) SCHNEIDER-CARIUS Karl  
Weather science weather research. History of their problems and findings from documents during three thousand years  
Traduit de l'Allemand, page : 82  
NEW DELHI (USA), INSDC, 1955
- (5) MIDDLETON W.E.Knowles  
A history of the thermometer and its use in meteorology  
BALTIMORE (USA), 1966, Page : 30
- (6) L'ACADEMIE DEL CIMENTO,  
MINIATI Mara, CASATI Stefano, PRINCIPE Franca  
L'età di GALILEO, Il secolo d'oro della scienza in Toscana.  
Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze, page : 114  
FLORENCE (Italie), Istituto e Museo di Storia della Scienza, 1987

Crée par FERDINAND II en 1657, elle avait pour devise "*prouver et prouver de nouveau*". Sa direction fut confiée au Prince LEOPOLD (1617-16775) frère de FERDINAND II. Nommé cardinal en 1667, LEOPOLD fut éloigné de l'Académie et son activité cessa. Sans la publication des "*Saggi di naturali esperienze*" par Lorenzo MAGALOTTI en 1667, secrétaire de l'Académie, l'ampleur et la gloire de cette Académie seraient probablement restées dans l'ombre. C'est par cette oeuvre et les 1282 pièces de cristal retrouvées par Vincenzo ANTINORI (1792-1865) en 1829 que l'on peut apprécier la grandeur de cette société savante. Non seulement elle réalisa de brillantes expériences de physique notamment sur la chaleur, mais aussi elle organisa le premier réseau d'observations météorologiques à travers l'Europe.

Ce travail sans précédent est l'oeuvre de quelques scientifiques d'origine galiléenne, de littéraires et d'artisans. L'Académie se composait, outre son président, des neuf membres suivants : Giovanni Alfonso BORELLI (1624-1679), Antonio OLIVA (1624-1698),

Carlo RENALDINI (1615-1698), Alessandro MARSILI (1601-1670),  
 Francesco REDI (1626-1698), Candido del BUONO (1618-1676), Paolo del  
 BUONO (1625-1662), Vincenzo VIVIANI (1622-1703) Disciple de GALILEE,  
 Lorenzo MAGALOTTI 1637-1712) Secrétaire.

- (7) AUBERGER Jean Louis  
 Les anciens réseaux climatologiques.  
 Notice d'information technique de la Météorologie Nationale, Paris.
- (8) MAZE Abbé  
 Communications sur le premier thermomètre utilisé à Paris.  
 Annuaire de la Société Météorologique de France, Tome 45, page : 11  
 PARIS, Gautier Villars, 1896
- (9) MAZE C.  
 Sur le premier thermomètre à alcool utilisé à Paris.  
 Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, Juillet,  
 PARIS, 1895, page : 230
- (10) MAZE Abbé, Communications sur...., page : 38
- (11) MAZE C., Sur le premier thermomètre..., Pages : 230-231
- (12) BIREMBAUT Arthur  
 THERMODYNAMIQUE A : Histoire de la thermodynamique.  
 Encyclopédie Universalis, Vol 22, page : 538a  
 PARIS, Universalis, 1990
- (13) VOLLMANN R. Dr  
 Le thermomètre.  
 BALES, 1946, CIBA, mars, page : 1768
- (14) MINIATI Mara, CASATI Stefano, PRINCIPE Franca  
 L'età di GALILEO, Il secolo d'oro della scienza in Toscana.  
 Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze, page : 114  
 FLORENCE (Italie), Istituto e Museo di Storia della Scienza, 1987

LIBRI fit beaucoup de comparaisons avec les thermomètres florentins  
 50 degrés. Il trouva une concordance étonnante entre eux.

A titre tout à fait indicatif, la correspondance suivante peut être  
 établie entre les thermomètres florentins 50 degrés et les  
 thermomètres actuels :

Degrés Celsius	Degrés Florentin
-18°,5	0°
Mélange de glace	13°,5
Soleil d'été	40°
55°C	50°



Ces indications ne peuvent être acceptées pour faire des comparaisons thermiques. L'échelle des températures florentines est basée sur des points fixes mal définis, notamment le point supérieur qui peut être variable.

- (15) MINIATI Mara, L'età di GALILEO..., page : 113
- (16) MAGALOTTI Lorenzo  
I saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento sotto la protectione del Serenissimo Principe Leopoldo Di Toscana. Reproduction de l'édition de Florence de 1667, page : II-IV  
PISE, 1957
- (17) MIDDLETON W.E.Knowles Pages : 35-36
- (18) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 36
- (19) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 38
- (20) VOLLMANN R. Dr, page : 1768
- (21) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 36
- (22) COTTE Louis  
Traité de Météorologie  
PARIS, 1774, Pages : 104-105
- (23) SCHNEIDER-CARIUS Karl, page : 83
- (24) MANLEY BGordon  
Central England temperature monthly means 1659 to 1973  
Quaterly journal of the royal Meteorological Society, vol 100,  
Londres 1974, page 393.
- (25) FONTENELLE  
Choix d'éloge de Savants. II physiciens-médecins.  
PARIS, Librairie philosophique J. VRIN, 1981, Page : 99
- (26) LEGRAND Jean Pierre, LEGOFF Maxime  
Louis MORIN et les observations météorologiques sous Louis XIV.  
La vie des sciences, Tome 4, N° 3, mai-juin, pages : 251-281  
PARIS, 1987

- (27) DETTWILLER J.  
Il y a 200 ans la société météorologique de Mannheim.  
Bulletin d'information de la Météorologie nationale, N° 49, octobre,  
page : 22  
PARIS, Météorologie nationale, 1980
- (28) SCHNEIDER-CARIUS Karl, page : 143
- (29) KINGTON John  
The Societas meteorologica palatina : an eighteenth century  
meteorological society.  
Weather, 29, 11, page : 425  
Cambridge University Press, 1974
- (30) DETTWILLER J., page : 22
- (31) BIREMBAUT Arthur, Universalis, Vol 22, page : 537c
- (32) MCGEE Thomas Donald  
Principles and methods of temperature measurement.  
NEW-YORK, John Wiley & sons, 1988, Page : 7
- (33) AUBERGER Jean Louis, Histoire de la météorologie.  
  
En octobre 1664, HOOKE publia sa "*Micrographia*" dans laquelle il  
décrit les essais sur les thermomètres scellés (FRINSINGER p 55).
- (34) Le mot surfusion est apparu en 1589.
- (35) MAGALOTTI Lorenzo, I saggi di naturali esperienze...
- (36) MARTINE Georges  
Essais sur la construction et la comparaison des thermomètres sur la  
communication de la chaleur et sur les différents degrés de la  
chaleur des corps.  
PARIS, Durand, 1751, Page : 6
- (37) MARTINE Georges, Pages : 15-16
- (38) MARTINE Georges, Page : 7
- (39) MARTINE Georges, Page : 7
- (40) VOLLMANN R. page : 1770

- (41) FRINSINGER Howard, page : 55
- (42) VOLLMANN R. Dr, pages : 1770-1771
- (43) SCHNEIDER-CARIUS Karl, page : 83
- (44) AUBERGER Jean Louis, Histoire de la météorologie.
- (45) DETTWILLER Jacques, Chronologie de quelques évènements... , page : 10
- (46) SCHNEIDER-CARIUS Karl, page : 90
- (47) DETTWILLER Jacques, page : 10
- (48) DETTWILLER Jacques, page : 11
- (49) PUJOULX J.B.  
Leçons de physique de l'école polytechnique.  
PARIS, 1805, Pages : 108-113
- (50) FRINSINGER Howard, page : 57
- (51) RENALDINI était membre de l'académie del Cimento, professeur de mathématiques à Padoue.
- (52) MARTINE Georges, Page : 9
- (54) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 68
- "*L'Adversaria*" est le journal de travail de ROEMER, dans lequel de nombreuses expériences sont consignées.
- (55) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 71
- (56) MIDDLETON W.E.Knowles, Pages : 73-74
- (57) COTTE Louis  
Traité de Météorologie  
PARIS, 1774, Page : 115
- (58) DETTWILLER Jacques, Chronologie de quelques évènements..., page : 13

- (59) DETTWILLER Jacques  
Errata et compléments : l'échelle celsius  
Bulletin d'information de la météorologie Nationale, N° 38, janvier  
1978, page 39.
- (60) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 89
- (61) DETTWILLER Jacques, Chronologie de quelques évènements..., page : 14
- (62) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 96
- (63) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 91
- (64) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 96
- (65) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 98
- (66) MIDDLETON W.E.Knowles, Page : 100
- (67) HILDEBRAND HILDEBRANDSSON Hugo  
Lettre d'Hildebrand hildebrandsson à Teisserenc de Bort.  
UPPSALA, 1897
- (68) BIREMBAUT Arthur, Universalis, Vol 22, pages : 537-541
- (69) AUBERGER Jean Louis, Histoire de la météorologie, page : 36
- (70) COTTE Louis, 1774, Planche : VII
- (71) VAN SWINDEN J.H.  
Dissertation sur la comparaison des thermomètres.  
Amsterdam, 1778.

## CHAPITRE 3

<p>LA CONSTRUCTION DES THERMOMETRES</p>
---

### 3.1 LES ATELIERS DE CONSTRUCTION

Les instruments météorologiques inventés au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle étaient, au début, utilisés par les savants et les physiciens qui pouvaient en comprendre les principes de fonctionnement. Leur construction, délicate, demandait des connaissances et attentions particulières. Les savants, ou des ouvriers attirés, employés par eux, ou bien encore des disciples des savants, construisaient ces instruments. Seuls les noms des savants sont restés dans la littérature. Ils publiaient les résultats de leurs expériences et recherches, et ont souvent laissé dans l'ombre ceux qui ont permis de

concrétiser leurs idées. Les Sociétés Savantes font connaître l'existence des baromètres, thermomètres et autres instruments de physique. Leur utilité est appréciée dans les cabinets de physique (Fig 3.1). Ces derniers, cherchent à s'équiper de ces nouveaux instruments. Certaines personnes, pour leur plaisir, recherchent également la possibilité d'en posséder. Les savants ne pouvaient pas répondre à leur demande, une nouvelle population fut donc concernée : celle des artistes ouvriers qui réalisaient les instruments d'astronomie ou d'optique. Ils se mirent à construire et à vendre des thermomètres, des baromètres, des hygromètres. Ces ouvriers appelés les "*faiseurs d'instruments*" n'ont pas tous le privilège d'être au contact des savants. Rares sont ceux qui ont publié quelque chose. De ce fait, retrouver leur trace est difficile. Maurice DAUMAS (1) a réalisé un excellent travail de recherche sur les ateliers de construction des instruments scientifiques en Europe pour les XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles.

Les descriptions des savants nous apportent ce qu'il faut faire pour construire de "*bons*" instruments. Ce sont des intellectuels dont les mémoires reflètent parfaitement les résultats de leurs travaux. S'ils avaient été les seuls à construire des thermomètres, ceux-ci auraient tous été de la qualité initiale. Mais ils ne pouvaient pas satisfaire la demande. Les "*faiseurs d'instruments*" se mirent alors à construire et à commercialiser ces instruments auprès d'une clientèle diversifiée.

Les "*faiseurs d'instruments*" n'ont pas tous les qualités requises pour réaliser de bons instruments. Leurs compétences en physique sont très variables. La reproduction des thermomètres donnait des résultats très différents selon l'ouvrier qui les réalisait. Certes, les ouvriers répondaient aux besoins de la demande d'un nombre croissant d'instruments, mais ils les construisaient de différentes manières, diffusant de "*bons*" et de "*mauvais*" appareils. Cet aspect de fabrication gardé dans l'ombre et qui est développé par DAUMAS apporte le secret et la connaissance sur les thermomètres construits et utilisés au XVIII<sup>e</sup> siècle.



Fig 3.1 Un cabinet de physique à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle (Illustration tirée de Massain p 19).

La construction des baromètres et des thermomètres était associée aux mêmes artistes. Les baromètres furent les premiers instruments commercialisés. Hormis le modèle classique du tube de TORRICELLI, deux variétés de baromètres étaient réalisées d'une manière courante à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle :

- Le baromètre à cadran indicateur de HOOKE. Il fut décrit dans la préface de "*Micrographia*" en 1665.
- Le baromètre à deux liquides de HUYGENS contenant de l'eau et du mercure.

A Londres, un horloger Daniel QUARE, et à Paris le Sieur HUBIN, fabriquant d'origine anglaise, sont les seuls connus pour en avoir construit et vendu (2).

Un peu plus tard, les thermomètres furent à leur tour commercialisés, mais il fallut attendre le XVIII<sup>e</sup> siècle pour que la fabrication commerciale artisanale commence. Les règles de construction sont plus délicates que pour les baromètres. Elles demandent des connaissances de physique particulières que n'ont pas les "*faiseurs d'instruments*".

A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, lorsque la diffusion des instruments météorologiques commence à se développer, l'activité de l'Italie dans ce domaine est en régression. Le commerce des instruments n'a pas pris la même ampleur que pour les pays situés au nord des Alpes. Ces derniers, moins agités, connaissent à leur tour la révolution scientifique et prennent le relais sur l'Italie. Des sociétés savantes et des cabinets



de physique voient le jour attirant d'éminents physiciens. Ils ont sous leur coupe des ateliers qu'ils font travailler pour leurs recherches. Ceux-ci se développeront et réaliseront en plusieurs exemplaires des instruments destinés à la vente.

*a) Les ateliers Anglais.*

Sous l'impulsion de HOOKE et BOYLE, durant la seconde moitié du XVII<sup>e</sup> siècle, quelques ateliers du quartier St Paul et de la Bourse de Londres fabriquaient des baromètres et des thermomètres pour la Royal Society. Richard SHORTGRAVE (1658-1681), travaillait pour HOOKE et BOYLE. Il réalisa plusieurs prototypes de baromètres et de thermomètres. Les exigences des savants anglais ont demandé à leurs artistes constructeurs, habileté et ingéniosité pour la réalisation des instruments.

Les constructeurs anglais disposaient localement et en abondance de métaux de bonne qualité. Peuple marin, les matières premières qui faisaient défaut parvenaient par le commerce. D'autre part ils furent soutenus par les autorités scientifiques ce qui facilita énormément la réalisation des instruments.

Les ouvriers anglais sont devenus les plus qualifiés et les plus compétents d'Europe. L'exportation à l'étranger d'instruments de précision fit connaître le niveau de qualité obtenu. Pour pouvoir disposer de cette maîtrise, les pays voisins sollicitaient l'installation des ouvriers anglais dans leur pays.

La réputation et la qualité des ateliers anglais du XVII<sup>e</sup> ont persisté au XVIII<sup>e</sup> siècle. Pour cela, la Royal Society joua un rôle important pour maintenir la compétence acquise (3).

*b) Les ateliers Français.*

C'est également sous l'impulsion des savants comme René DESCARTES (1596-1650), LA HIRE, DELISLE, et des sociétés savantes de la fin du XVII<sup>e</sup> siècle que naissent les ateliers français.

Les "*faiseurs d'instruments*" sont regroupés à Paris dans le quartier du quai des Morfondus (quai de l'Horloge actuellement). A l'origine tous les métiers appartenant à la même corporation, étaient regroupés géographiquement dans la ville. Les ateliers de province au XVII<sup>e</sup> siècle sont rares. Blois, Lyon, Marseille, Saint-Malo sont quelques villes de province où s'installent des ateliers de construction des instruments.

Les ateliers français les plus renommés sont d'origine anglaise (comme celui du Sieur HUBIN). Comme leurs voisins d'outre manche, les ateliers français sont en pleine expansion à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle. Ils prédominent les ateliers d'Europe.

Les gouvernements Français ont essayé, depuis Jean-Baptiste COLBERT (1619-1683) jusqu'à la Révolution, d'attirer des constructeurs d'instruments anglais. Favorisés par cet apport technologique et par des besoins de plus en plus pointilleux,

sollicités par les savants français, les "*faiseurs d'instruments*" du Royaume de France acquièrent une maîtrise de réalisation qui égala et qui même devint supérieure à celle des autres pays comme l'Angleterre et la Hollande. Les échanges directs d'informations avec les savants ont favorisé l'acquisition de ce savoir faire de haut niveau.

Au XVIII<sup>e</sup> siècle les ouvriers sont souvent attirés à un physicien. Le commerce est encore peu développé et les ouvriers ont besoin de cette attache pour avoir du travail. Guillaume FERRIER travaillait pour DESCARTES. Il possédait la théorie de sa profession, ce qui lui valut d'être accepté parmi les savants. Philippe Claude LE BAS travaillait pour l'Observatoire de Paris, CHAPOTOT fils pour DELISLE.

Le Sieur HUBIN d'origine anglaise installé à Paris est connu en France depuis 1673. "*Emailleur ordinaire du Roi*", il travaillait en 1674 chez CUSSON rue Saint-Jacques (4) avant de s'établir rue St Denis face à la rue aux ours. Bien connu des savants, il passait pour le meilleur constructeur. Il a travaillé pour LA HIRE, MARIOTTE, HOOKE. Ce dernier lui fit exécuter un baromètre différentiel à plusieurs liquides. Il réalisa à la demande de LA HIRE le grand thermomètre utilisé à l'Observatoire de Paris pendant près de quatre-vingts années (5).

En 1673 HUBIN publia une petite brochure de trois feuilles contenant la description de quatre "*machines*" qu'il avait réalisées. C'est probablement parce qu'il a été plagié par

l'horloger GRILLET qu'il les a décrites (6). Dans le journal des savants de 1674, il est précisé que le sieur HUBIN a ingénieusement inventé un thermomètre plus sensible que les nouveaux thermomètres de Florence. Cet instrument comme les trois autres décrits, ont été présentés en "*divers temps*" à l'Académie des Sciences (7). Cette note montre que le Sieur HUBIN est un ouvrier hors pair de son époque.

A côté du Sieur HUBIN, un émailleur nommé DO vendait des baromètres à bon marché. Il était installé rue du Harley sous l'enseigne "*Aux Armes de France*".

Un opticien hollandais, Nicolas HARTSOENER (1656-1725) s'installa en 1684 à Passy (dans un autre quartier de Paris). Etudiant de l'Université de Leyde ou autodidacte suivant les sources, il travaillait pour l'Observatoire de Paris. Il fournit un thermomètre et un baromètre entre 1686 et 1688 (8).

Trois quarts de siècle après l'industrie anglaise, la tradition des générations précédentes s'efface, et l'industrie française, malgré les difficultés corporatives, connaît un véritable départ. La renommée des ateliers français égale celle des ateliers anglais et hollandais. Au début du XVIII<sup>e</sup> siècle d'excellents ateliers réaliseront des instruments de qualité. Ce niveau d'excellence ne pu être conservé. Le milieu du siècle fut assez terne. Cette période coïncide avec la diffusion du mémoire précisant les règles de construction des thermomètres dont les degrés doivent être comparables par REAUMUR. La formation intellectuelle des savants contraste avec le savoir

des ouvriers. De plus, leur position sociale particulière ne favorisait pas les développements des instruments.

Après une période de faible activité au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle des efforts pour rénover l'entreprise française furent entrepris. La relance de l'atelier de Passy, de celui d'instruments astronomiques pour l'Observatoire et la création d'un corps d'ingénieurs brevetés au cours de la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, ont permis aux instrumentistes pour la météorologie de s'implanter dans le contexte délicat des corporations ouvrières (9).

En France la puissance des corporations ouvrières était très importante. Chaque corporation avait ses droits et ses limites. La communauté des fondeurs était autorisée à s'approvisionner en métaux et disposait des outils nécessaires au travail du métal. Une liste établissait les instruments qu'elle pouvait fabriquer. Elle ne pouvait pas travailler le verre, ce domaine était réservé à la communauté des opticiens.

La construction d'instruments de météorologie fait appel à plusieurs technologies appartenant à des corporations différentes : travail de fonderie et des métaux, travail du verre, travail de la mécanique de précision.

Lorsqu'un artisan dépassait ses droits, il risquait de se voir saisir ses instruments par la corporation qui se trouvait lésée. Pour éviter d'être victime de ces sévices, il était contraint d'acheter aux maîtres des communautés intéressées les

droits pour les pièces qu'il ne pouvait pas acheter lui même. Cette situation qui à un degré moindre persista jusqu'à la Révolution, a nuit au développement des métiers ouvriers et aux "*faiseurs d'instruments*" de météorologie. Les corporations des couteliers et celles des fondeurs se sont disputées le titre de fabricant d'instruments. La question fut tranchée par un arrêt du parlement en faveur des fondeurs. A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle le titre "*d'émailleur*" fut attribué aux constructeurs de thermomètres et de baromètres, parce que la division graduée était inscrite sur une plaque de métal émaillé. Formant une catégorie à part parmi les émailleurs ils prirent alors le titre de "*physicien*" car ils fabriquaient des instruments de physique (10).

Durant la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, des constructeurs d'instruments de grande renommée comme CAPPY, BOURBON, PERICAT, Nicolas FORTIN (1750-1831), Etienne LENOIR (1744-1831) furent victime des agissements des communautés et subirent des saisies. Malgré les efforts entrepris, à la veille de la révolution les communautés ouvrières sont encore très puissantes et bloquent l'expansion de l'activité artisanale.

Ce n'est que suite à la séance de l'Académie des Sciences du 27 juin 1787 au cours de laquelle un Comité des brevets fut institué, que les troubles cessèrent. La distinction entre mathématiques, physique et optique disparut.

En mars 1791, l'Assemblée Législative supprimait toutes les communautés et jurandes. LENOIR et FORTIN se mirent à

construire librement des instruments entre 1795 et 1800. Les constructeurs français appartiennent à un corps scientifique que depuis la révolution.

En dépit de toutes ces difficultés, l'industrie des instruments se transforme en France, elle révèle quelques ouvriers d'élite. MEGNIE était un mécanicien qui construisait des baromètres pour Antoine Laurent LAVOISIER (1743-1794). Il a été l'un des premiers à construire une machine à diviser en France. LENOIR et FORTIN réalisèrent également des machines à diviser. FORTIN physicien très habile a réalisé plusieurs instruments de météorologie, entre autres, il fabriquait des thermomètres pour le laboratoire de chimie de LAVOISIER.

Avant la construction de la machine à diviser, les graduations des thermomètres étaient artisanales : d'abord avec un compas puis à l'aide d'une alidade. La précision des divisions dépendait de l'habileté de l'ouvrier. La division en 60 degrés des instruments d'astronomie et de certains thermomètres tient son origine au cercle et à l'utilisation du compas. C'est un horloger de York Henry HINDLEY (1701-1771) qui construisit vers 1739 la première machine à diviser les cercles. Trois décennies plus tard, le duc de CHAULNES réalisait une machine à diviser les cercles et une autre pour les lignes droites (11). C'est cette dernière qui sera utilisée pour la graduation des thermomètres (Fig 3.2).

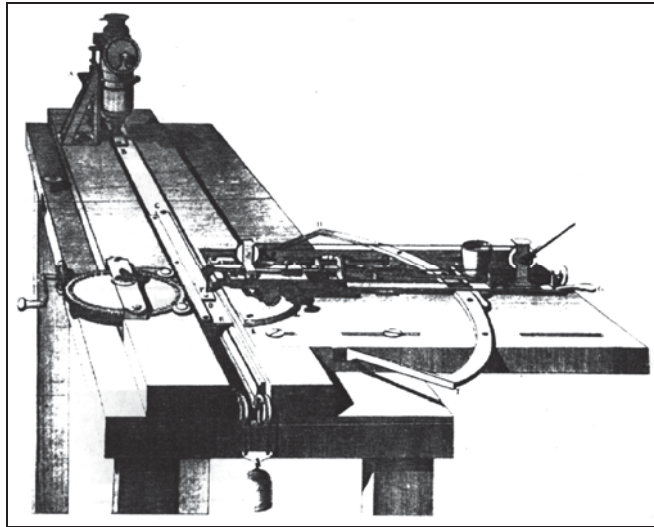


Fig 3.2 Machine à diviser les lignes droites du duc de CHAULNES  
(Illustration extraite de DAUMAS, planche 49)

RICHER se spécialisa dans la division des instruments. En 1782 il effectua la division d'un thermomètre construit par MOSSY. Il conçut également des hygromètres à boyau de vers à soie dont il perfectionna l'étalonnage.

L'entreprise la plus estimée auprès des hommes de science pour fabriquer le petit appareillage de physique fut celle de MOSSY (c1780-1821). Constructeur de l'Académie des Sciences, le thermomètre de MOSSY fut recommandé par la Société Royale des Sciences lorsqu'elle lança la grande enquête sur le climat de la France. MOSSY eut les éloges de Jean André DELUC (1727-1817) et COTTE. Il reçut en 1788, le brevet d'ingénieur du Roi. Associé quelques années avec CAPPY (c1767-1780), l'atelier de MOSSY déménagea de la place Royale au quai Pelletier-à-la-croix-d'Or.



Antoine ASSIER-PERRICAT (c1771-1806) établi rue St-Antoine, succéda à André BOURBON (c1752-1794). Fabriquant, inventeur, vendeur d'instruments, il réalisa un thermomètre pour les bains qui avait la particularité d'être enveloppé. Cette protection diminuait fortement sa sensibilité.

Quelques ateliers de Paris ont laissé leur nom. Ils ont pour la plupart été sollicités par les savants, et de ce fait leur nom est resté dans la littérature. Tels BETALLI (c1800) qui a construit surtout des thermomètres et baromètres de physicien ou de salon, TORRE qui fournit en 1778 deux thermomètres à mercure à l'Observatoire de Paris, LORICHON qui a travaillé pour CHARLES. FRECOT, ARSANDAUX et BRODARD se sont également distingués.

A côté de ces ateliers, existaient, surtout en province, des fabricants, marchands et revendeurs de seconde importance. S'approvisionnant dans les grands ateliers parisiens ou écoulant la production d'un artisan anonyme, ils avaient une clientèle variée qui achetait leurs instruments chez eux faute de ne pas pouvoir le faire à Paris. L'usage domestique favorisant l'expansion du commerce, a également favorisé le développement d'instruments de qualité très variable. La clientèle scientifique éloignée de la capitale n'a pas toujours les moyens de s'assurer de la qualité des instruments achetés. Ainsi des mesures faites avec des instruments météorologiques de qualité des plus diverses se trouvent confrontés à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle (12).

*c) Les autres ateliers d'Europe.*

Après l'Angleterre et la France, la Hollande se distingue tout au début du XVIII<sup>e</sup> siècle auprès de la famille des MUSSCHENBROEK. Fondateurs établis à Leyde, ils se succédaient de père en fils depuis le début du XVII<sup>e</sup> siècle.

Samuel Joosten MUSSCHENBROEK (1639-1681) fut le premier à construire des instruments scientifiques. C'est surtout Jan Van MUSSCHENBROEK (1687-1748) son neveu qui construisit des instruments météorologiques. Jan Van MUSSCHENBROEK était à la fois un artisan et un savant. Instruit des langues, de la philosophie et des mathématiques, il refusa d'enseigner dans les Universités pour garder son activité dans l'atelier. Constructeur, commerçant et instruit, la culture de MUSSCHENBROEK rappelle celle des constructeurs hollandais et celle de la majorité des constructeurs anglais. Pour l'Université de Leyde, il réalisa des appareils pour la démonstration. Ce type d'enseignement nouveau fut aussitôt suivi en France et en Angleterre. Les instruments fabriqués par les frères MUSSCHENBROEK possèdent une marque de fabrication en relief sur une plaque en cuivre qui représente une lampe à huile allumée. Les armoiries de la ville de Leyde, qui sont deux clés croisées, sont gravées sur ce symbole (13).

Les MUSSCHENBROEK ont donné à la Hollande une vive impulsion à la fabrication d'instruments scientifiques. La succession familiale a permis de conserver un niveau élevé à cette

industrie. Par ailleurs, la proximité de FAHRENHEIT dynamisa l'entreprise.

En Allemagne la vitalité des ateliers va s'affirmer pendant la seconde moitié du siècle. A la fin du siècle les instruments sortis des ateliers de Munich remplacèrent ceux qui avaient été fournis par les ateliers anglais. En Italie et dans le reste de l'Europe, les ateliers sont rares et épisodiques.

Au début du XVIII<sup>e</sup> siècle en Angleterre, en France, en Allemagne, en Hollande, et en Italie dans un second ordre, des ateliers de construction d'appareils météorologiques se créent et se développent. La clientèle pour ce type d'instruments apparaît auprès des laboratoires de physique, des Universités, des marins et de quelques particuliers qui désirent posséder de tels instruments.

Les ateliers vont largement se développer au cours de ce siècle pour répondre à la demande constamment croissante. Ainsi, à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, les constructeurs d'instruments assureront la quasi-totalité des réalisations instrumentales.

En France, les corporations ouvrières ont souffert de la conjoncture économique et des contraintes auxquelles étaient soumis les "*faiseurs d'instruments*". Cette situation a certes désavantagé la construction des thermomètres, mais elle fut certainement moins pénalisante que les productions de certains ateliers qui construisaient à bas prix des instruments de mauvaise qualité. Aux imperfections physiques qui subsistent

encore, quoique le thermomètre se soit très fortement amélioré durant la seconde moitié de ce siècle, s'ajoutent celles introduites par les "*faiseurs d'instruments*". Certains s'appliquent à reproduire fidèlement les instruments avec les conseils qu'ils ont reçus, d'autres fabriquent des instruments "*bon marché*" qui sont de mauvaise qualité. Ces ateliers se côtoient à Paris. En province dominant plutôt des ateliers de qualité médiocre pour les instruments de précision.

Depuis le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, coexistent des thermomètres, des baromètres, des hygromètres de "*bonne*" et de "*médiocre*" qualité. Sans l'aide d'une institution il est parfois difficile de s'équiper correctement. Le choix s'avère délicat pour le non-spécialiste. Pour la mesure thermique, il est donc primordial de connaître le constructeur du thermomètre, la qualité des mesures en dépend directement.

## 3.2 LA CONSTRUCTION DU THERMOMETRE AU DÉBUT DES ANNÉES 1780.

Jean André DELUC qui a étudié plusieurs thermomètres construits au XVIII<sup>e</sup> siècle, qui a fait de nombreux essais, et qui a fait expérimenter par "des gens en qui on peut avoir toute confiance", précise comment le thermomètre est construit dans les années 1780 au moment où des réseaux d'observations s'organisent et collectent des températures (14).

Quel que soit la méthode choisie pour la construction du thermomètre, le choix des tubes, le calcul du volume de la boule, la manière de remplir le thermomètre et sa fermeture sont identiques. Le verre utilisé était le verre ordinaire de laboratoire. Il s'achetait chez l'émailleur ou le verrier. La description ci-après est extraite de "*Recherches sur les modifications de l'atmosphère*" de DELUC (15).

### *De la boule et du tube du thermomètre.*

La boule et le tube doivent être réalisés dans des proportions bien définies. Pour que la liqueur thermométrique parcourt la longueur du tube dans l'intervalle de température souhaité, le volume de la boule est calculé en fonction des caractéristiques du tube choisies en premier. Il sera d'une longueur suffisante pour que les degrés ne correspondent pas à une échelle trop

petite. Une longueur de 9 pouces (24,4 cm) suffit dans la plupart des cas : elle contiendra les 80 degrés de l'intervalle fondamental (glace - eau bouillante), augmenté de 20 degrés au-dessous et 4 à 5 degrés au-dessus. Compte tenu de la longueur du tube, chaque degré sera espacé d'environ une ligne (2,25 mm). Le diamètre intérieur du tube le plus convenable pour les expériences ordinaires est d'environ 1/4 de ligne (0,56 mm). Son diamètre intérieur est mesuré avec une échelle graduée en 1/4 de ligne. L'appréciation doit être du 1/32ème de ligne (0,07 mm). Pour avoir une bonne mesure, le tube doit être coupé bien net.

Les inégalités intérieures du tube doivent être connues. Celui-ci doit être calibré. Cette opération consiste à introduire une goutte de mercure dans le tube, à mesurer sa longueur au compas, puis à déplacer cette goutte d'un bout à l'autre du tube en mesurant sa longueur en différentes places. La petite colonne de mercure conserve toujours la même longueur lorsque l'intérieur du tube est parfaitement cylindrique.

Le diamètre de la boule du thermomètre se calcule à partir du diamètre intérieur du tube. Les tubes capillaires seront associés à des petites boules, ils constituent des thermomètres plus sensibles. DELUC propose d'utiliser la formule de M. DURAND qui détermine le diamètre de la boule en nombre de fois le diamètre du tube (16). Pour les thermomètres à mercure le résultat de ce calcul précise que le diamètre intérieur de la boule est égal à 32 fois celui du tube. La valeur est ensuite augmentée de deux fois 1/4 de ligne pour l'épaisseur du verre.

Pour s'assurer du bon diamètre de la boule lorsqu'il travaille le verre, il découpe une carte à jouer, de plusieurs entailles à angles droits, comme moule de taille. Celle-ci brûle lorsque la boule qu'on y présente est trop grosse. A chaud, la boule doit être un peu plus grosse, car en refroidissant son diamètre diminue.

*De la manière de remplir le thermomètre.*

L'attention est portée par DELUC sur la présence de petites bulles qui s'insèrent au mercure et qui faussent les mesures. Celles-ci apparaissent notamment lorsque les tubes ne sont pas parfaitement secs et bien nets. Pour cette opération, il recommande d'avoir un mercure bien pur. S'il ne l'est pas, il conseille de le distiller ou bien de le "revivifier" avec du cinabre.

Les éléments pour faire le thermomètre sont réunis. Le remplissage et l'étalonnage sont des opérations très délicates.

Avant de procéder à l'introduction du mercure, il est nécessaire de faire sortir du tube les impuretés et l'humidité qu'il pourrait contenir. Pour cela, il chauffe le tube seul sur toute sa longueur, jusqu'à rendre sa chaleur insupportable à la main, puis il chauffe brusquement la boule en redressant le tube. L'air qui s'échappe de la boule chasse les impuretés qui étaient en suspension dans l'air chaud contenu dans le tuyau.

Au préalable, un petit réservoir de la dimension de la boule avait été soudé à l'extrémité ouverte du tuyau. La boule toujours au-dessus du feu, il remplit le réservoir de mercure, puis retire l'ensemble du feu.

La boule en se refroidissant aspire le mercure. Comme elle n'est pas pleine au premier essai, il y a lieu de remettre la boule sur le feu, afin de faire sortir l'air, puis de laisser descendre le mercure pendant le refroidissement. Au cours de cette opération, répétée autant de fois que nécessaire, il faut prendre garde que tout le mercure ne descende pas dans la boule, il entraînerait les impuretés formées à sa surface au contact de l'air.

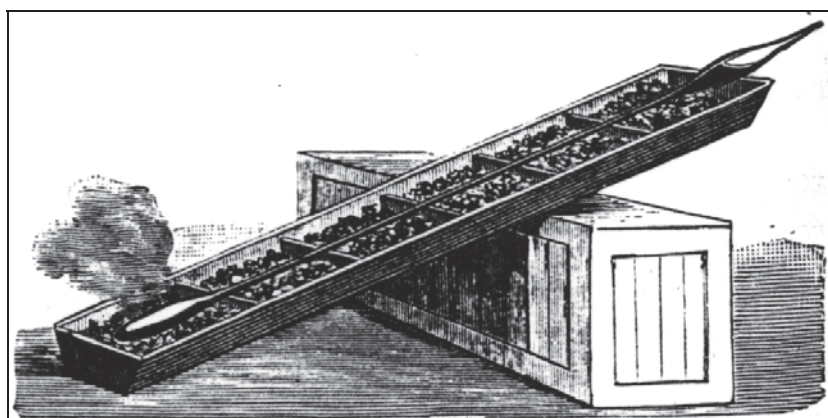


Fig 3.3 Grille à chauffer les thermomètres (Illustration tirée de CLERC Alexis, physique et chimie populaire p 404).

Lorsque la boule est à peu près remplie, il faut faire bouillir le mercure qu'elle contient en la mettant sur des charbons ardents. L'air contenu dans le mercure se rassemble entre le mercure et le verre, puis est éjecté hors du tube. La forte



ébullition du mercure qui suit chasse une partie du mercure du bulbe.

Lorsque le sixième du mercure est éjecté, la boule est retirée du feu. Alors le mercure s'y précipite rapidement. Généralement une petite bulle d'air reste coincée sous la naissance du tube, au sommet de la boule. Le tube contenant du mercure empêche la bulle d'air de s'échapper.

Les "*faiseurs d'instruments*" qui n'y prennent pas garde laissent ce peu d'air inséré dans le mercure; ils réalisent alors des thermomètres de mauvaise qualité. Pour chasser cet air, il faut vider le mercure du réservoir fixé au-dessus du thermomètre, peu de temps après avoir retiré le thermomètre du feu. En refroidissant, tout le mercure est aspiré dans la boule, et la petite bulle d'air s'échappe.

L'ensemble est chauffé de nouveau, sans faire bouillir le mercure dans la boule, jusqu'au moment où le mercure en se dilatant, atteint le réservoir au-dessus du thermomètre. C'est à ce moment qu'il faut rajouter un peu de mercure dans le réservoir, afin de le réunir avec celui du thermomètre. On laisse ensuite refroidir l'ensemble.

Pour faire sortir le surplus de mercure, car à ce stade tout le tube est rempli de mercure, il faut créer une bulle d'air à son sommet pour l'effiler. C'est à cet endroit que le tube est soudé pour la fermeture. Pour cela il suffit de faire sortir

une très faible quantité de mercure en chauffant la boule du thermomètre avec la main.

La délicate opération d'obturation du tube avec la bonne quantité de mercure s'effectue ainsi : le thermomètre est plongé dans l'eau bouillante pour que le surplus de mercure sorte du tube, puis très rapidement, après avoir retiré le thermomètre de l'eau bouillante, essuyé l'extrémité du tube, posé la boule sur un petit feu pour faire sortir une quantité de mercure équivalente à quelques degrés, l'extrémité du tube est alors scellée à la flamme. L'air ne doit pas pénétrer dans le tube au cours de cette opération.

Si l'expérience est réussie, lorsque le thermomètre est mis dans la glace, le niveau du mercure doit se stabiliser un peu en-dessous de la cinquième partie du tube. Si l'écart est trop important : la quantité de mercure est trop faible ou trop forte, alors il faut recommencer.

Les deux termes fixes sont marqués sur le tube avec des "*files déliés*" qu'on fixe avec du vernis. Le premier est celui de l'eau bouillante. La pression atmosphérique est notée pour faire des corrections si elle n'est pas à 27 pouces (974,5 hPa). Celui de la fusion de la glace est ensuite marqué sur le tube de la même manière. Ce dernier est inscrit après le terme de l'eau bouillante pour que celle-ci ne modifie pas la marque faite. Le thermomètre est donc terminé. Il sera alors fixé sur une planchette en bois.

En ce qui concerne la monture, il faut choisir un bois peu dense, pour ne pas conserver longtemps la température d'un lieu, le moins dilatable possible, et qui ne soit pas affecté par l'humidité. Le sapin pris dans le sens de la longueur remplit ces conditions. Il sera taillé afin de recevoir le thermomètre et éviter les contacts avec la boule. Le thermomètre logera dans une rainure. La boule doit être isolée de la monture, son enfoncement doit être très grand. Néanmoins elle reposera solidement sur le fond pour fixer la position du tube sur la planchette. Cette dernière reçoit les graduations. Pour éviter les erreurs de parallaxe, les graduations seront prolongées sur la rainure. Cette opération doit être faite avec le plus grand soin. Avant l'utilisation de la machine à diviser, les degrés étaient marqués avec un compas.

La difficulté de fabrication d'un thermomètre réside dans la prise de quelques précautions capitales pour les mesures de la température :

- Choix d'un tube parfaitement calibré.
- Pureté du mercure utilisé, nécessité de le faire bouillir.
- Chasser la totalité de l'air à l'intérieur du liquide.
- Ne pas hésiter à recommencer s'il survient une imperfection.
- S'assurer de la justesse des points fixes.
- Graduer le tube avec grand soin.

Pour les thermomètres à "*esprit de vin*" il faut s'assurer de la linéarité de la dilatation du liquide.

Ces recommandations sont des éléments qu'il est indispensable de vérifier avant utilisation.

### 3.3 LE THERMOMETRE DE REAUMUR

Un peu avant 1730, REAUMUR a cherché à faire un nouveau thermomètre car il avait constaté que *"la marche"* de presque tous les thermomètres qui existaient dans les années 1720 était différente. Dans son mémoire intitulé *"Règles pour construire des thermomètres dont les degrés soient comparables, et qui donnent des idées d'un chaud ou d'un froid qui puisse être rapportés à des mesures connues"*, après avoir exposé les principaux défauts des thermomètres existants, il précise la méthode pour construire des thermomètres comparables (17).

Les mêmes variations de température correspondent à un nombre de degrés différent suivant les thermomètres. La comparaison des mesures thermiques est de ce fait impossible. Par ailleurs, il est difficile de disposer de boules de grosseur et de forme identiques, de même que d'avoir des tuyaux déterminés et calibrés. Une même longueur de tuyau peut contenir près du double de *"liqueur"* d'une extrémité à l'autre du tube. Cette inégalité interne des tubes ne peut pas être jugée de l'extérieur. Enfin, *"les esprits de vin"* qui remplissent les thermomètres sont de *"force"* différente. Ainsi les rapports entre les degrés d'un thermomètre et un autre peuvent doubler (18).

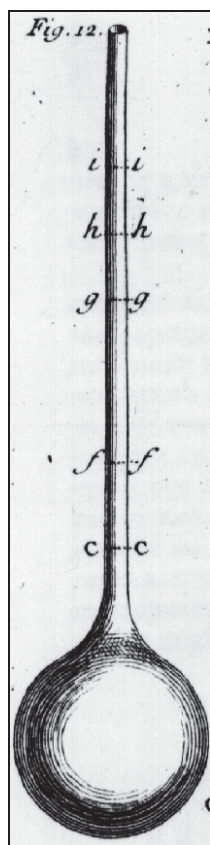
Pour mettre un terme final à tous ces défauts, REAUMUR entreprit la fabrication d'un thermomètre facilement réalisable dont les degrés sont comparables :

"Pour les thermomètres nous n'avons besoin que de la plus simple construction."

(Tiré de REAUMUR, 1730 p 454)

### *Le principe du thermomètre de REAUMUR.*

Le principe retenu par REAUMUR consiste à connaître la variation de volume du liquide thermométrique lorsqu'il est soumis à une différence de température (19). C'est un principe nouveau que REAUMUR reprit et systématisa. Plus élaboré que l'observation du déplacement du liquide dans le tuyau, il est beaucoup plus difficile à réaliser.



Les graduations du thermomètre de REAUMUR sont établies à partir d'un seul point fixe. Cela demande la connaissance exacte de la dilatation du liquide utilisé. Il choisit "l'esprit de vin" affaibli d'un cinquième d'eau. Sa dilatation entre le "terme de la glace" et celui de "l'esprit de vin" qui cesse tout juste de bouillir est de 80 parties pour un volume initial de 1000 parties au "terme de la glace". Chaque degré est égal à une partie du volume initial. Ce choix de volume initial est celui qui a semblé le plus convenable pour la réalisation des thermomètres. Pour mesurer la "force" de "l'esprit de vin", il se servait

Fig 3.4 Matras utilisé par REAUMUR pour mesurer la force de l'esprit de vin (Illustration tirée de REAUMUR 1730)

d'un matras, sorte de réservoir terminé par une tige de faible

diamètre (Fig 3.4). L'augmentation du volume, au cours d'un échauffement déterminé, était rapportée au volume initial à zéro degré en unité de volume.

Page 489 de son mémoire, il donne la qualification suivante pour "*l'esprit de vin*" qu'il recommande d'utiliser :

"Esprit de vin dont le volume condensé par la congélation de l'eau est 1000 & raréfié par l'eau bouillante est 1080."

Puis il ajoute :

"1080 sera le terme de l'eau bouillante."

Par ces termes, il entend que l'ébullition de "*l'esprit de vin*" est obtenue par la chaleur de l'eau bouillante. REAUMUR aurait pu prendre une autre source de chaleur, mais celle-ci offrait l'avantage de pouvoir immerger la boule du thermomètre.

Le volume équivalent à chaque degré est en proportion du volume initial de "*l'esprit de vin*" à la température de la congélation de l'eau :

"Chaque degré est une portion du tuyau qui contient une des parties du volume de liqueur qui a été déterminée"

(Tiré de REAUMUR, 1730 p460)

Excepté quelques maladresses dans l'expression, la définition du liquide thermométrique et celle du degré qu'il a donné, permettent de faire des thermomètres parfaitement reproductibles.

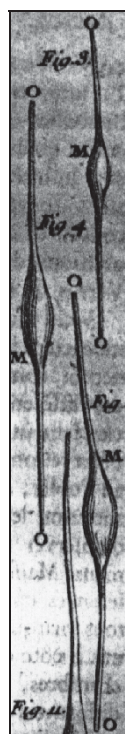
#### *La réalisation du thermomètre par REAUMUR.*

Ayant des difficultés à réaliser des petits thermomètres, REAUMUR les a conçus plus gros. Il n'y a pas d'opposition entre

les principes qu'il a admis et la taille des thermomètres. Seule la mise en équilibre thermique sera plus longue.

La verrerie de Sèvres lui fournit les tubes pour ses thermomètres. Le diamètre intérieur est de 2,5 à 3,5 lignes (5 à 8 mm). Ces tubes sont de la même grosseur que ceux utilisés pour les baromètres. Le diamètre des boules est augmenté en conséquence. Lorsque celle-ci aura un diamètre de 4,5 pouces (12,2 cm), le diamètre extérieur du tuyau sera de 3 lignes (6,8 mm).

REAUMUR travaille en unité de volume ou partie. Il admet qu'au terme de la glace, le volume du liquide dans le thermomètre est de 1000 unités. Pour ajouter ou retirer du liquide en quantité déterminée, il dispose de mesures de différent volume : de 1 à 100 unités (Fig 3.5).



La première opération consiste à graduer le tube du thermomètre. Il introduit 1000 mesures d'eau à l'intérieur. Le niveau doit se situer entre le 1/4 et le 1/3 de la hauteur du tube au-dessus de la boule (il choisit l'eau pour cette opération pour ne pas introduire d'erreur due à la dilatation du liquide pendant la graduation). Ce point marqué avec un fil sur le tuyau, sera le zéro du thermomètre. Il retire ensuite 25 ou 30 mesures pour marquer le point le plus bas, qui sera -25 ou -30 degrés. Il

Fig 3.5 Les mesures utilisées par REAUMUR pour étalonner son thermomètre (Illustration tirée de REAUMUR, 1730)

commence la graduation, degré par degré, en ajoutant une mesure de liquide à chaque fois. Chaque mesure correspond à l'accroissement en volume de "*l'esprit de vin*", ci-dessus défini pour une augmentation de 1 degré de chaleur. Cette méthode de graduation nécessite que la loi de dilatation du liquide thermométrique soit linéaire.

REAUMUR suggère de faire cette expérience avec du mercure car l'eau mouille le verre et s'écoule lentement. Mais il ne garde pas ce liquide pour le thermomètre. Cette opération est effectuée de -25 ou -30 à +80 ou un peu au-delà.

*Le zéro du thermomètre REAUMUR.*

Le thermomètre vidé puis séché est rempli "*d'esprit de vin*", jusqu'à 3 ou 4 degrés au-dessus du terme de la congélation préalablement inscrit sur le tube. Puis, il est placé dans un vase contenant de l'eau. Le niveau de "*l'esprit de vin*" doit être ajusté de façon qu'il soit exactement à zéro lorsque l'eau commence à geler. Son volume est exactement de 1000 parties ou mesures. Avec ces considérations, une augmentation de chaleur de 1 degré augmente le volume initial d'une quantité égale à une mesure. "*L'esprit de vin*" se déplace alors d'une division dans le tube. REAUMUR attire l'attention sur l'exactitude demandée par cette opération.

Pour le point zéro, REAUMUR disposait le thermomètre dans une boîte en fer blanc contenant de l'eau, il la posait dans un autre récipient plus grand rempli de glace pilée mêlée avec du



sel. Ainsi il provoquait la solidification de l'eau qui entoure le thermomètre. Dès que l'eau commençait à geler, il considérait que l'ensemble était homogène et la température égale à zéro. Ceci ne pouvait pas être réel étant donné la taille des thermomètres. REAUMUR en a convenu et a changé sa manière de procéder. Il a alors placé son zéro à la température de la glace qui fond (20).

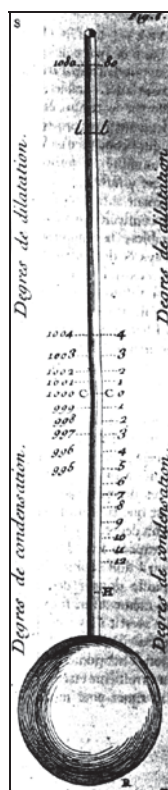


Fig 3.6 Le thermomètre de REAUMUR (Illustration tirée de REAUMUR, 1730)



DELUC a fait des essais pour vérifier l'exactitude du zéro du thermomètre de REAUMUR. Il a trouvé qu'il était trop bas de 0,8 degré. VAN SWINDEN explique ce fait en disant que REAUMUR attendait que l'eau soit gelée. Il notait ainsi la température de l'eau déjà gelée (21). Le zéro obtenu à la fusion de la glace est plus élevé de 0,8 degrés, que le zéro qu'il obtenait à la congélation de l'eau.

Fig 3.7 Dispositif pour obtenir la congélation de l'eau accompagné de mesures de grande capacité (Tirée de REAUMUR, 1730)

La détermination du zéro à la glace qui fond aurait eu lieu peu de temps après la description des thermomètres de 1730. Presque

tous les thermomètres de REAUMUR auraient leur zéro établi au point de fusion de la glace :

"En 1739, REAUMUR précise que presque tous ceux qui possèdent des thermomètres, les détiennent de l'abbé NOLLET, or ce dernier plaçait le zéro à la glace qui fond."

(Tiré de VAN SWINDEN p 89)

Le thermomètre est ensuite fermé avec la lampe à émailleur. Par la chaleur, l'air y est presque totalement chassé. Mais REAUMUR est partisan de laisser un peu d'air, car il craignait que le thermomètre ne se casse, par compression trop forte aux températures élevées, s'il y avait trop d'air (22). Le thermomètre est fini et prêt à l'usage.

#### *Du terme 1080 ou degré 80.*

Ce point retenu par REAUMUR est repéré sur le tube du thermomètre comme étant le niveau le plus haut atteint par "*l'esprit de vin*" qui cesse tout juste de bouillir. L'extrémité du tube est ouverte. Par cette méthode, il ne détermine pas le niveau de chaleur de l'eau bouillante qu'il utilise comme source de chaleur. Cette température est celle de l'ébullition de "*l'esprit de vin*", c'est à dire à peine 80°C.

Le thermomètre ouvert, rempli "*d'esprit de vin*" est plongé progressivement dans l'eau en ébullition. Dès que "*l'esprit de vin*" entre en ébullition, le thermomètre est retiré afin d'éviter les projections hors du tuyau. Aussitôt que cesse l'ébullition, la hauteur est repérée sur le tube. Remettant de nouveau le thermomètre dans l'eau bouillante, "*l'esprit de vin*" s'élève davantage dans le tuyau après avoir cessé de bouillir.

La hauteur maximale atteinte par "*l'esprit de vin*" dans le tuyau ne bouge plus après cinq ou six opérations identiques. Le point retenu est la plus grande dilatation que l'eau bouillante pouvait donner à "*l'esprit de vin*" sans le faire bouillir.

Cette méthode est celle que proposait REAUMUR en 1730 pour "*construire des thermomètres dont les degrés soient comparables pour que les mesures de chaud ou de froid puissent être rapportées à des mesures connues*". Elle demandait des compétences en physique et une habileté d'expérimentateur exceptionnel pour l'époque, que seuls les savants et physiciens pouvaient maîtriser. Cette méthode mit dans l'embarras de nombreux "*faiseurs d'instruments*" qui voulurent imiter REAUMUR, notamment lorsqu'ils remplacèrent "*l'esprit de vin*" par du mercure.

#### *L'après REAUMUR.*

Les thermomètres de REAUMUR ont été reproduits avec de "*l'esprit de vin*", et de plus en plus avec du mercure. Lorsque "*l'esprit de vin*" a été changé par du mercure, les règles de construction ont été conservées. Quand on plonge un thermomètre rempli de mercure dans l'eau bouillante, celui-ci indique réellement la chaleur de cette eau. Alors, le degré 80 affecté à cette chaleur est celui de l'eau bouillante et non celui de "*l'esprit de vin*" bouillant. La même indication numérique lue sur différents thermomètres de REAUMUR indique des chaleurs différentes. Pour la mesure de la température dans le Royaume de France, cette erreur est préjudiciable car c'est le

thermomètre de REAUMUR qui a été le plus en usage durant la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Le vocabulaire et la méthode utilisés par REAUMUR pour cette expérience ont induit en erreur ceux qui voulurent l'imiter. Le fait que la graduation 80 corresponde à la dilatation maximale de "*l'esprit de vin*", que ce dernier bout à une température d'environ 80 degrés d'une échelle centigrade, et que la source de chaleur utilisée pour le terme supérieur soit celle de l'eau bouillante, ont entraîné une grande confusion pour la construction des thermomètres de REAUMUR. Une génération de thermomètres de mauvaise qualité succéda. Le terme zéro était mal réalisé car trop délicat. Pour le terme supérieur, la température d'ébullition de l'eau variait de 80 à 110 degrés selon les "*faiseurs d'instruments*". La dilatation de l'échelle devait compenser les écarts obtenus entre les deux extrémités.

REAUMUR a proposé de réaliser des thermomètres à "*esprit de vin*" en 1730 alors que FAHRENHEIT réalisait des thermomètres à mercure depuis 1717. C'est la raison pour laquelle on a conservé ses principes en utilisant du mercure. Ainsi furent construits des thermomètres dits "*de REAUMUR*" qui n'avaient de son auteur que l'échelle. Parce que trop difficiles à réaliser pour les "*faiseurs d'instruments*", ceux-ci ont retenu de REAUMUR l'intervalle de 80 degrés entre le terme de la glace et celui de l'eau bouillante.

REAUMUR conscient de la difficulté à réaliser ainsi son thermomètre sait que la mise en pratique de ses règles "demande à l'être par des gens intelligents, et qui y sont exercés" (23).

*Le retour à la réalité.*

Trois décennies après la parution du mémoire de REAUMUR, DELUC entreprit diverses mesures avec le thermomètre REAUMUR et démontre que parce "qu'il n'était pas conçu comme son auteur l'avait décrit, il ne pouvait être bon" (24).

D'après les expériences de DELUC faites avec les thermomètres de REAUMUR, la température de l'eau bouillante se trouve à 100,4° sur l'échelle en 80 degrés du vrai thermomètre de REAUMUR, c'est à dire celui qui a son degré zéro à la congélation de l'eau et qui indique 80 à la température de "l'esprit de vin" qui cesse tout juste de bouillir. VAN SWINDEN précise à l'aide d'une table les différences entre un thermomètre "de REAUMUR" construit selon ses principes, et un thermomètre à "esprit de vin" pour lequel : le zéro est marqué à la température de la fusion de la glace, et le terme 80 à l'ébullition de l'eau (25).

Vrai Thermomètre de REAUMUR à "Esprit de vin"	Thermomètre DELUC à "Esprit de vin"	Thermomètre DELUC à Mercure	Niveau de chaleur
100,4	80	80	Ebullition de l'eau
80	63,7	66,6	"Esprit de vin" qui cesse tout juste de bouillir
32,5	25,3	29,9	Chaleur humaine
10,25	7,9	9,6	Températures des caves de l'observatoire de Paris
0	0,8	0,8	Congélation de l'eau
-0,7	0	0	Fusion de la glace
-15	-12,7	-17	Mélange glace-eau-sel

Températures de quelques points fixes obtenues par trois thermomètres différents.

Le tableau précédant montre des différences flagrantes entre la graduation du vrai thermomètre de REAUMUR (celui décrit en

1730) et le thermomètre dit "*de REAUMUR*", construit durant la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle. Par ailleurs, l'échelle du thermomètre à mercure jointe à ce tableau montre les différences qui existaient un peu après le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle suivant qu'on utilisait un thermomètre à "*esprit de vin*" ou à mercure. Cette dernière échelle se rapproche plus du thermomètre de REAUMUR que celle du thermomètre à "*esprit de vin*" construit sur les principes de REAUMUR. Ainsi on comprend que ceux qui ont réalisé des thermomètres à mercure ont, par extension de l'échelle du thermomètre à mercure indiquée par DELUC, tenté de faire correspondre les graduations des deux échelles.

VAN SWINDEN précise qu'il y a eu en usage trois thermomètres REAUMUR :

- Celui construit d'après ses principes vers 1730 (rare).
- Celui qui a son zéro à la fusion de la glace.
- Celui dont le 80<sup>e</sup> degré est celui de l'ébullition de l'eau.

Les deux premiers thermomètres sont à "*esprit de vin*", le troisième est à mercure.

Le passage au thermomètre à mercure pour la mesure thermique de l'air par les observateurs ne s'est effectué, en France, qu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Il est courant qu'un observateur des années 1780 change son thermomètre à "*esprit de vin*" par un thermomètre à mercure. L'homogénéité de la série est rompue. Il y a lieu d'en tenir compte lors d'une analyse des températures de cette époque. Plusieurs savants se sont penchés sur le

thermomètre à cette époque. Ils ont établi des tables de comparaison pour divers thermomètres d'usage courant (26).

Parmi ceux-ci, le traité de météorologie de COTTE publié en 1774, populaire dans les cercles scientifiques, fait le point de l'existant thermométrique, et attire l'attention sur les défauts de certains thermomètres. Par ailleurs, GOUBERT et VAN SWINDEN publient des tableaux de comparaison des échelles thermiques très détaillés (Fig 3.8, 3.9, 3.10).

*Tableau de Comparaison pour XXVII Thermomètres.*

Thermomètres les plus usités.											Thermomètres actuellement peu en usage.																		
De Luc	Reaumur	Fahrenheit	De Fahrenheit	Celcius	Sue de Lyon	Du Crest	Brignon	Fahrenheit	Fahrenheit	Fahrenheit	Fahrenheit	Kirch	Hanon	La Hire	Amon	Polignac	Cruveilhier	Richer	Oliva	La Cour	Nalet	Hanon	De Luc						
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV	XXV	XXVI	XXVII	I		
30	35.5	32.5	32.8	32.5	33.20	32.5	33.7	34.81	32.61	32.6																			
20	25.5	22.5	22.8	22.5	23.20	22.5	23.7	24.81	22.61	22.6																			
10	15.5	12.5	12.8	12.5	13.20	12.5	13.7	14.81	12.61	12.6																			
0	5.5	2.5	2.8	2.5	3.20	2.5	3.7	4.81	2.61	2.6																			
-10	-4.5	-7.5	-7.8	-7.5	-8.20	-7.5	-8.7	-9.81	-7.61	-7.6																			
-20	-14.5	-17.5	-17.8	-17.5	-18.20	-17.5	-18.7	-19.81	-17.61	-17.6																			
-30	-24.5	-27.5	-27.8	-27.5	-28.20	-27.5	-28.7	-29.81	-27.61	-27.6																			

Fig 3.8 Tableau de comparaison pour XXVII thermomètres (Illustration tirée de VAN SWINDEN)

*Liste  
de quelques unes des principales  
Observations.*

<i>De Luc °</i>	<i>Au des sous de la Congélation.</i>	<i>De Luc °</i>	<i>Au des sus de la Congélation.</i>
0	<i>Glace ou Neige qui fond.</i>	9 6	<i>Caves de l'Observat: Tempér.</i>
0.8	<i>Eau qui gèle.</i>	23	<i>Dans la Nouv. Angl. un Jour d'hiver en 1768. La veille à -18½</i>
2-6	<i>Mélange de Glace &amp; de Boiron ou de Chaux, ou de Sel de Glauber, ou de Sel de Sucre.</i>	27	<i>Charleston 10 Jan. 1745. le lendemain</i>
2.75	<i>Vinaigres se gèlent.</i>	28½	<i>Rome 10. Août. 1768 à minuit.</i>
4½ 9	<i>La plus part des Vins se gèlent.</i>	28½	<i>London 28. Juill. 1790. Franeker Juin 1774. 1775</i>
6.5	<i>Mélange de Sucre &amp; de Glace.</i>	26.6	<i>Leiden 4 Août 1749.</i>
8	<i>Solut de Sel Dig: de Syrius, et Huile d'Olive se gèlent.</i>	27	<i>Paris 6 Août 1705.</i>
10	<i>Mélange de Glace et de Poudre à Canon.</i>	28	<i>Paris 8 Août 1706.</i>
10.25	<i>le 9. Nov. 1770 à Franeker.</i>	28½	<i>Paris 14 Juillet 1753.</i>
11.25	<i>Huile de Noix se gèle.</i>	28½	<i>Amsterdam 2 Juin 1760.</i>
11.8	<i>Sel de Verre et Glace.</i>	28½	<i>Montpellier 30 Juillet 1705.</i>
13	<i>Montpellier 1709.</i>	29½	<i>Rome 29. Août. 1768. depuis 10-8</i>
14.75	<i>Franeker. Janv. 1775.</i>	30	<i>Pondichery 7. Juin 1737.</i>
15.	<i>Sel Annon: &amp; Glace selon Reau:</i>	31	<i>Salem (Nouv. Angl.) 1760. Charles Town 1752.</i>
15.5	<i>Amsterdam. 1740.</i>	32	<i>Bengale 1765. Cap de Bon Espérance 22. Fév. 1752.</i>
16	<i>Amsterdam. 1776.</i>	36½	<i>Senegal.</i>
16½	<i>Paris. 1776.</i>	37	<i>Chaleur de la partie la plus froide d'une cuisine fort accrue à Charles Town. en 1752.</i>
17	<i>Paris 1708. Sel marin et Glace.</i>	41.3	<i>La Cère se fond.</i>
17½	<i>Solution de Sel commun se gèle</i>	62.9	<i>Esprit de Vin très rectifié bout.</i>
17.4	<i>Paris. 1716.</i>	69.3	<i>Esprit de Vin de France bout.</i>
17½	<i>Franeker. 1776.</i>	72-74½	<i>La plus part des Vins bouillent.</i>
18½	<i>Berlin 1706.</i>	78½	<i>Vin rouge commun bout.</i>
19½	<i>Mélange de Potasse et de Glace</i>	80	<i>Le Vinaigre et l'eau bouillent. Baromètre 28 2</i>
21½	<i>Mélange de Glace et d'Esprit de Nitre refroidis au point de congélation.</i>	96	<i>Soudure de 4 parties d'Etain, 3 de Bismuth et une de plomb. se fond.</i>
23½	<i>Esprit de Vin de France se gèle</i>	113.8	<i>Soudure de parties égales de Bismuth et d'Etain fond.</i>
24½	<i>Mélange de Glace et de Esprit de Vin refroidis à 22½ degrés.</i>	135.1	<i>Soudures de 2 parties d'Etain et une de Bismuth; ou 3 d'Etain et deux de Plomb se fondent.</i>
25½	<i>Huile de Lin et huile de charrre se gèlent.</i>	161.1	<i>Mélange d'une partie de Bismuth et 8 parties d'Etain se fond.</i>
26½	<i>Esprit de Nitre et Glace refroidis.</i>	170½	<i>Etain pur se fond.</i>
27½	<i>Solkamskaj. 1751.</i>	205.3	<i>Bismuth se fond: ainsi qu'un mélange de 4 parties de plomb et deux parties d'Etain.</i>
30	<i>Rudolfstatt. 1776.</i>	230	<i>Le Plomb. se fond.</i>
32	<i>Esprit de Nitre fumant et Glace selon Fahrenheit.</i>	252.6	<i>Le Mercure bout selon Fahrenheit.</i>
33-	<i>Petersbourg. 6 Janv. 1760. N. St.</i>	301	<i>Le. Mercure bout suivant</i>
33	<i>Esprit de Vin du Th de Reauv: gèle.</i>	312	<i>Braun.</i>
53½	<i>Froid souvent observé en Sibérie.</i>		
56	<i>Leger commencement de Congélation du Mercure opérée à Rotterdam 1776.</i>		
60½	<i>Yoniseik 10. Janv. 1735. N. St.</i>		
71½	<i>Tornea 5. Janv. 1760.</i>		
223	<i>Commencement de Congélation du Mercure opérée à Petersbourg</i>		
303	<i>Degré moyen au quel le. Mercure se gèle en exact.</i>		
592	<i>Froid artf: produit à Petersb: en 1760.</i>		
720	<i>Froid artf: peut être prod. à Petersb.</i>		

Fig 3.9 Tableau de quelques observations thermiques principales  
(Illustration tirée de VAN SWINDEN)



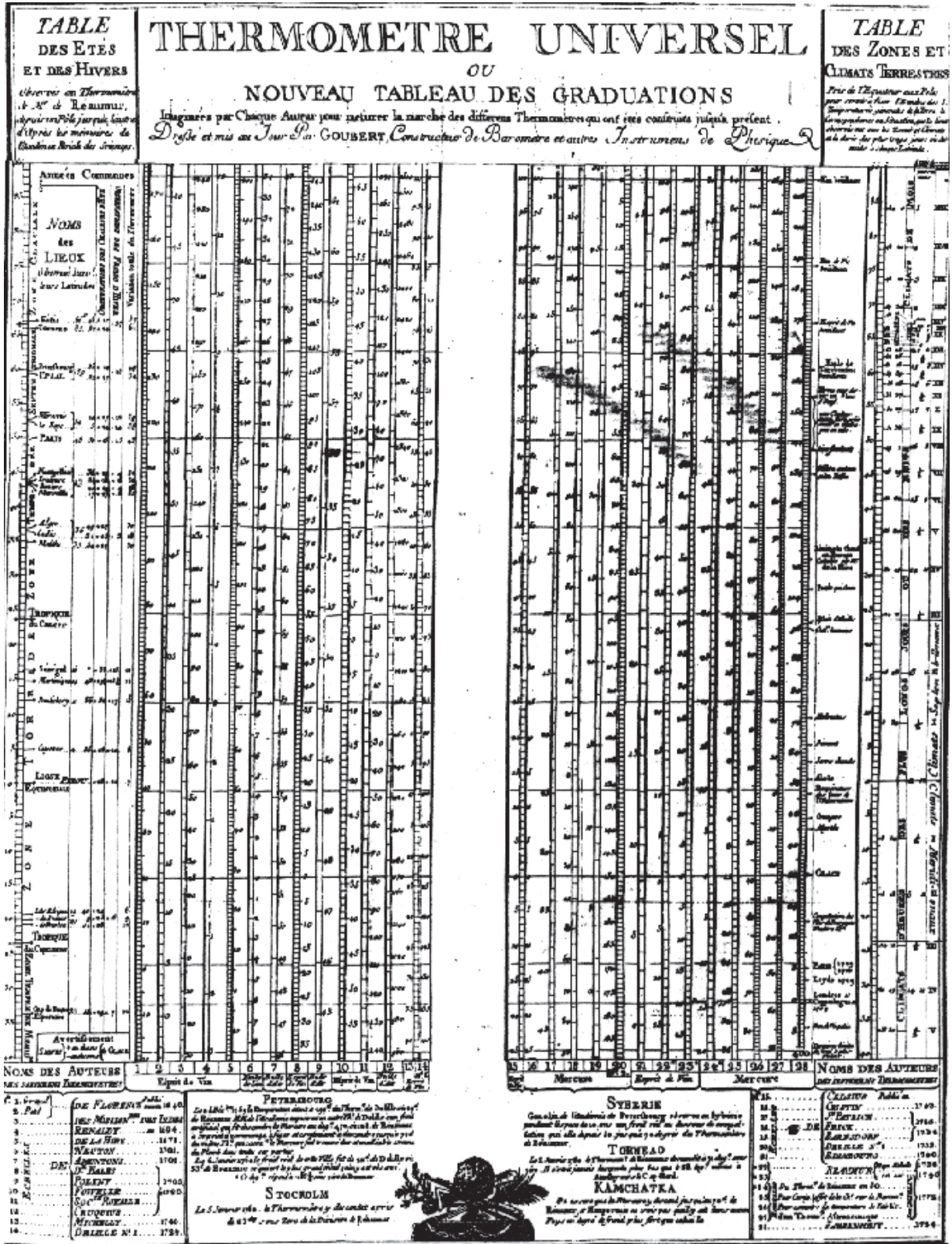


Fig 3.10 Tableau de comparaison pour quelques thermomètres (Illustration tirée de GOUBERT)

DELUC, GAUSSEN, MIDDLETON, RENO, VAN SWINDEN (27) ont étudié le thermomètre REAUMUR. Ils sont unanimes pour dire qu'il a perturbé la mesure thermique de précision. Parce que trop difficile à réaliser, parce que c'est un retour à "*l'esprit de vin*" alors que l'utilisation du mercure commençait à se généraliser, parce que la chaleur de "*l'esprit de vin*" qui cesse tout juste de bouillir chauffé par la chaleur de l'eau bouillante est noté 80, et que ce nombre est la température de "*l'esprit de vin bouillant*" dans l'échelle centigrade, d'importantes erreurs de construction ont été commises et mettent en défaut la mesure de la température des années 1730 à 1770. Les critiques apportées par les physiciens dans la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle ont amélioré le thermomètre au point de le rendre "*bon*" à quelques défauts près qui n'étaient pas encore connus. Les savants, les physiciens étaient capables de rejeter les thermomètres de mauvaise qualité du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant, mais des observateurs se sont fait "*piéger*" et ont utilisé des instruments qu'ils croyaient "*bons*" alors que la température indiquée n'était pas exacte. Pour ces raisons, la qualité de l'observation thermique est très variable d'un lieu à un autre. Elle est médiocre surtout en province là où il est difficile d'obtenir de bons instruments. Les constructeurs habiles se trouvaient pour la quasi-totalité à Paris. Le voyage vers la capitale pour les observateurs de province n'était pas évident. De plus, l'expédition des thermomètres comportait des risques de casse. Plusieurs lettres en témoignent. Les observations de province sont pour ces raisons de qualité plus douteuses, et doivent être étudiées plus attentivement.

## 3.4 LA MISE AU POINT DEFINITIVE DU THERMOMETRE

A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, les plus habiles constructeurs de thermomètres ont une expérience qui permet de réaliser de "bons" thermomètres. Mais la science ne leur a pas tout appris, il subsiste quelques défauts qui seront rapidement décelés car le thermomètre devient plus précis.

Ces défauts concernent d'une part le zéro du thermomètre qui se déplace dans le temps et décale d'autant l'échelle de l'instrument, et d'autre part le point d'ébullition qui n'est pas réalisé dans les conditions optimales et pour lequel la mesure de la pression atmosphérique n'est pas correcte. Si le premier défaut (zéro) est nuisible aux mesures thermiques, le second, du fait qu'il est éloigné des températures de l'air, ne les affectera que très peu. Toutefois, les températures les plus élevées observées seront les plus sujettes à cette erreur.

### *Le point zéro.*

C'est en utilisant les thermomètres à mercure qu'on s'est aperçu qu'après plusieurs années d'utilisation, celui-ci indique une valeur plus élevée qu'au moment où il a été construit. Ce déplacement fut observé en premier avec le point zéro. Il concerne toute l'étendue de l'échelle. Le même décalage s'observe à tous les niveaux.

FLAUGERGUES observateur à Viviers de 1778 à 1830 a toujours corrigé ses chiffres de l'erreur du zéro constatée chaque année. Il est certainement le premier à avoir constaté ce fait (28).

BELLANI a parlé de ce phénomène en 1808. Il affirme en 1818 que cette élévation est due au rétrécissement du verre, qu'elle n'est pas visible dans le thermomètre à alcool, car celui-ci est 5 à 6 fois plus dilatable que le mercure. La variation est divisée d'autant. François ARAGO (1786-1853) signale ce fait aux physiciens et constructeurs d'instruments en 1817 (29).

Le premier janvier 1822, lors d'un déplacement des instruments avec lesquels on observait à Genève depuis 1787, PICTET trouva un écart de 0,5 degré, d'abord sur la température de la glace fondante, puis sur toute l'échelle (30). Plusieurs observateurs s'étaient aperçus de cette anomalie. PICTET a appelé l'attention sur ce fait et a vulgarisé cette information.

Le verre fondu et refroidi brusquement se contracte, augmente de densité et diminue de volume. Cet effet ne s'arrête pas sitôt le verre revenu à la température ambiante. Il se poursuit dans le temps avec une importance qui s'atténue également dans le temps. Il est diminué de moitié au bout de 8 jours, et quasi insensible au bout de 3 ou 4 ans. Les thermomètres sujets à ce décalage du zéro, parfois proche du degré, sont ceux qui ont été gradués dès que le verre a été soufflé.

Le remède, pour éviter cet inconvénient, consiste à recuire le verre. Au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, PERSON a imaginé de faire recuire les thermomètres dans un bain d'huile à 350 degrés pendant 8 jours. L'effet du déplacement du zéro est ainsi considérablement atténué. Emilien RENOU (1815-1902) a observé en un an un déplacement de 3 centièmes de degré pour l'un et 4 centièmes pour l'autre dans le sens inverse sur de tels thermomètres.

*Le point 100 du thermomètre.*

Le point 100 degrés du thermomètre avant d'être mesuré dans la vapeur d'eau bouillante l'était dans la température de l'eau en ébullition. Sur ce point des disparités existaient entre ceux qui le prenaient lorsque l'eau commence à bouillir, et ceux qui attendaient que l'eau boue avec "*impétuosité*" (31).

Lord Charles CAVENDISH (1703-1783) fut le premier à proposer en 1777 de placer le thermomètre dans la vapeur d'eau bouillante pour déterminer le point d'ébullition. Il signale des écarts de 2,5 degrés FAHRENHEIT (1,4°C) pour le point d'ébullition des thermomètres des meilleurs artistes (32). La commission des poids et mesures laissa le choix aux constructeurs d'utiliser soit l'une, soit l'autre des deux méthodes pour déterminer le point d'ébullition.

Henri Victor REGNAULT (1810-1878) mit un terme à la détermination du point d'ébullition de l'eau. Suite à ses

travaux sur la force élastique de la vapeur d'eau entre 1840 et 1845, il a fixé définitivement l'emploi de la vapeur d'eau pour la détermination du point d'ébullition des thermomètres. Pour cela, il a constamment ramené la pression atmosphérique à 1013,25 hPa sous une température de 0°C (33). En 1842, il a fait connaître l'appareil spécial en fer blanc à double enveloppe. Son utilisation s'est généralisée vers 1856 (Fig 3.11).

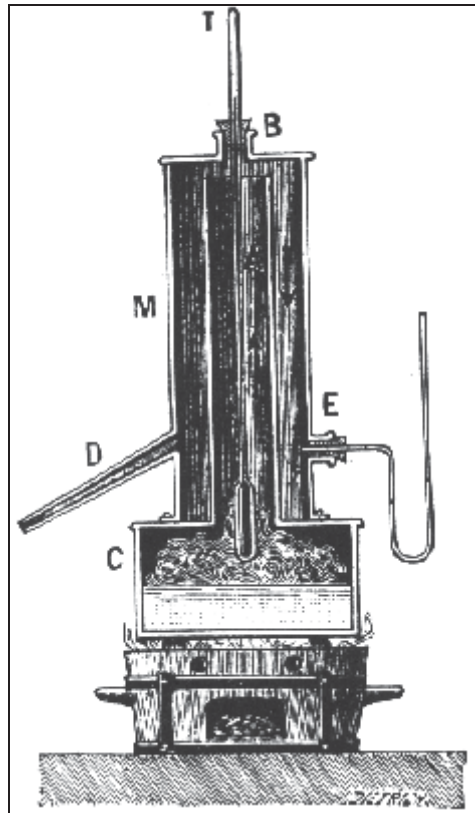


Fig 3.11 Appareil de REGNAULT pour la détermination du point d'ébullition dans la vapeur d'eau bouillante, 1842 (Illustration tirée de MIDDLETON p 128)

Le point 100 degrés du thermomètre, même s'il était pris dans la vapeur d'eau bouillante n'avait pas encore, au début du XIX<sup>e</sup> siècle, l'uniformité internationale. D'autre part il a souffert

durant le siècle précédent de l'absence de correction de la température de la colonne de mercure.

Au siècle précédent, DELUC réglait ses thermomètres à une pression de 27 pouces (soit 972,59 hPa), et à la température de 10 degrés. La France réglait ses thermomètres à 1013,25 hpa, alors que les anglais les réglaient à 28 pouces (1009,4 hPa). C'est en 1855 que les anglais ont adopté de régler le point 100 de leur thermomètre dans les "*conditions normales*" (pression atmosphérique 1013,25 hPa, température 0°C), (34). La correction du baromètre n'est pas pour autant terminée car à cette correction s'ajoute celle relative à la gravité qui varie à la surface de la terre, quoique très faible.

Pour les températures observées à l'air libre, les différences sont très faibles. Les mesures météorologiques qui utilisent surtout la partie inférieure de l'échelle du thermomètre seront que faiblement perturbées. Mais, une autre utilisation, largement développée au XVIII<sup>e</sup> siècle finissant, concernait les mesures hypsométriques pour lesquelles il est nécessaire de connaître la température d'ébullition de l'eau avec une très grande précision. Les erreurs occasionnées par le point "100" mal défini concernaient surtout ces mesures.

#### *La division des thermomètres.*

REGNAULT est le premier à avoir utilisé le thermomètre à échelle arbitraire gradué sur la machine à diviser (35). La théorie de la division des thermomètres était connue au XVII<sup>e</sup> siècle, mais la précision dépendait des possibilités techniques

des graveurs. Avec l'amélioration de l'outillage, et des tours de main, la division des instruments de mesure, bien que plus précise, fût toujours faite à la main au XVIII<sup>e</sup> siècle. Les recherches actives aboutirent vers 1775 à la création de la machine à diviser (36). A Paris, RICHER a été réputé depuis 1775 pour la façon dont il exécutait ses échelles. Il utilisait la machine à diviser de sa conception qui lui permettait de tracer le 1/10<sup>e</sup> de degré sur des thermomètres de 1 mètre de longueur (37).

Satisfaisant dans le dernier quart du XVIII<sup>e</sup> siècle, c'est seulement à partir du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle que la construction des thermomètres est correcte, soit deux siècles après l'invention des premiers thermomètres de l'Académie Del Cimento. L'utilisation des instruments de précision s'est progressivement généralisée à Paris puis en province de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle au début du XIX<sup>e</sup> siècle. DAUMAS précise que :

**"Les premiers thermomètres de précision satisfaisant semblent bien être ceux qui ont été construits par MOSSY et FORTIN pour LAVOISIER"**

(Extrait de DAUMAS, les instruments scientifiques aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, p 281).

*Le thermomètre actuellement.*

A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le bureau international des poids et mesures chercha à améliorer la précision des thermomètres. Ses efforts portèrent sur la qualité du verre utilisé. Après des études de comparaison, il proposa de prendre pour les thermomètres, des verres très durs. La comparaison de thermomètres en verre dur entre 0 et 35 degrés donne une erreur



probable moyenne de  $15 \cdot 10^{-4}$  degré. Cette comparaison fut effectuée en 1884 (38).

Pour la construction des thermomètres le volume du réservoir est calculé à partir du volume d'un degré. Ce dernier est en général imposé. Compte tenu du coefficient de dilatation du mercure, le volume du réservoir est égal à 6300 fois le volume d'un degré. Par aspiration, le thermomètre est totalement rempli de mercure. L'ébullition du mercure permet de chasser totalement l'air du réservoir. Le thermomètre est ensuite chauffé à sa plus haute température, le mercure en excès est rejeté, puis l'extrémité de la tige est soudée.

Le volume à zéro degré est choisi arbitrairement, celui à 100 degrés est fixé par l'expérience. Les élévations de température étant proportionnelles aux accroissements de volume, la tige est divisée en 100 parties avec la machine à diviser (39).

Le mercure peut être utilisé jusqu'à  $-35^{\circ}\text{C}$  (point de congélation  $-39$ ). Pour les basses températures, les thermomètres sont soit à alcool, soit au toluène. Certains mélanges organiques permettent de mesurer des températures jusqu'à  $-200^{\circ}\text{C}$ .

Les recherches actuelles visent à réaliser un thermomètre international : International Practical Temperature Scale (ITPS) pour lequel son échelle est définie par la thermodynamique. Les points fixes sont basés sur des invariants thermodynamiques. Pour les thermomètres météorologiques, les points invariants sont le point triple de l'eau :  $0^{\circ},01\text{C}$ , et le

point d'ébullition :  $100^{\circ}\text{C}$ . Des normes précisent aux constructeurs les qualités que doivent posséder les thermomètres (40).

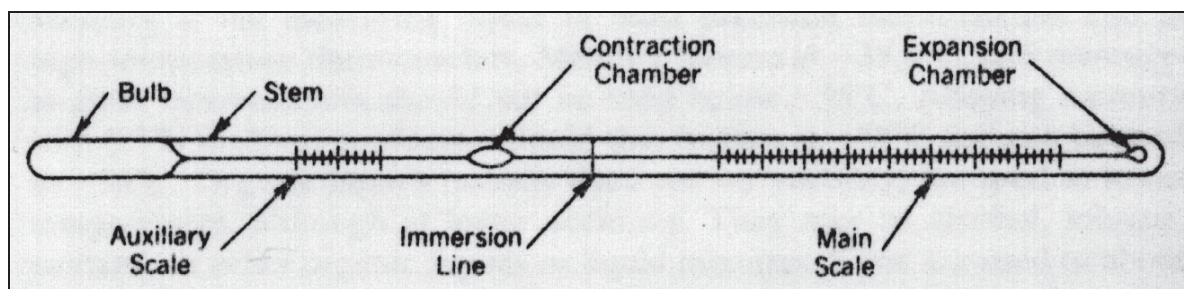


Fig 3.12 Thermomètre d'usage courant dans les années 1980  
(Illustration tirée de McGEE p 112).

Les thermomètres utilisés par Météo-France pour l'observation de l'air sont construits suivant des critères très précis. L'échelle graduée en demi-degré s'étend de  $-31^{\circ}\text{C}$  à  $+51^{\circ}\text{C}$ . Un Cahier de Recette Technique (CRT) précise les opérations de contrôle direct et indirect de la qualité de l'instrument. Il fait appel aux recommandations définies par des Normes AFNOR. Le thermomètre est jugé défectueux s'il ne répond pas aux normes établies, s'il présente un écart supérieur à  $0,25$  degré par rapport à la référence du laboratoire aux points de contrôle effectués à  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $+10^{\circ}\text{C}$  et  $+30^{\circ}\text{C}$ .

Les facteurs de qualité retenus par Météo-France sont les suivants :

- ➔ La qualité métrologique
- ➔ La lisibilité

→ La fiabilité (norme NFX 50-120), (41)

La qualité des thermomètres météorologiques est définie par :

→ Les éléments constitutifs :

anneau de suspension

ampoule de sécurité

dimensions du thermomètre et de la tige

marquage de l'échelle

identification

→ La qualité des mesures

→ La stabilité des caractéristiques par contrôle complémentaire du déplacement du zéro pendant la garantie d'une année.

→ L'emballage

→ Le volume du réservoir

Le thermomètre doit être gradué tous les demi-degré, la longueur de la graduation de chaque degré ne doit pas dépasser 2,6 mm. La longueur du thermomètre est de 300 mm à 2 mm près (42).

## NOTES DE RENVOI

- (1) DAUMAS Maurice  
Les instruments scientifiques aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles.  
PARIS, PUF, 1953
- (2) DAUMAS Maurice, pages : 80-81
- (3) DAUMAS Maurice, pages : 92-97
- (4) HUBIN  
Machines nouvellement inventées par le sieur HUBIN.  
Journal des savants, PARIS, 1674, page : 11
- (5) LA HIRE de le fils  
Dissertation sur les baromètres et thermomètres.  
Mémoires de l'académie Royale des Sciences, Paris 1706, page : 439
- LEGRAND Jean Pierre, LEGOFF Maxime  
Les observations météorologiques de Louis MORIN  
Monographie N°6 de la météorologie nationale, Paris 1986, page : 12
- (6) DAUMAS Maurice, page : 111
- (7) HUBIN, pages : 11-13
- (8) DAUMAS Maurice, pages : 97-113
- (9) DAUMAS Maurice, pages : 354-355
- (10) DAUMAS Maurice, pages : 123-143
- (11) DAUMAS Maurice, pages : 260-261
- (12) DAUMAS Maurice, pages : 360-371
- (13) DAUMAS Maurice, pages : 326-333
- (14) DELUC Jean André  
Recherches sur les modifications de l'atmosphère.  
GENEVE, 1784, 2 tomes
- (15) DELUC Jean André, tome 2, pages : 296-336
- (16) DELUC Jean André, tome 2, pages : 304-309

- (17) REAUMUR  
Règles pour construire des thermomètres dont les degrés soient comparables, et qui donnent des idées d'un chaud ou d'un froid qui puisse être rapportés à des mesures connues.  
Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pages : 452-507  
PARIS, 1730
- (18) REAUMUR page : 455
- (19) REAUMUR page : 460
- (20) DELUC J. A. Page : 276
- (21) SWINDEN VAN J. H.  
Dissertation sur la comparaison des thermomètres.  
AMSTERDAM, Marc michel REY, 1778, Page : 79
- (22) REAUMUR  
Second mémoire sur la construction des thermomètres dont les degrés sont comparables.  
Compte rendus de l'Académie Royale des Sciences, Paris, 1731, pages : 250-296
- (23) REAUMUR page : 486
- (24) D'après DELUC
- (25) SWINDEN VAN J. H. Page : 86
- (26) COTE, GOUBERT, VAN SWINDEN principalement
- (27) GAUSSEN  
Dissertation sur le thermomètre de REAUMUR.  
BEZIER, 1789
- MIDDLETON W.E.Knowles  
A history of the thermometer and its use in meteorology  
BALTIMORE (USA), 1966
- RENOUEMILIEU  
Histoire du thermomètre.  
Annuaire de la Société Météorologique de France, 1876, pages : 19-72
- (28) RENOUEMILIEU page : 31
- (29) ARAGO François  
Oeuvre de François ARAGO, Notices scientifiques.  
PARIS, Gide, sous la direction J.A. Barral, 1858, Tome V, page 612
- (30) RENOUEMILIEU page : 29

- (31) DELUC J. A., p : 243
- (32) RENOUE Emilien page : 25
- (33) RENOUE Emilien page : 32
- (34) RENOUE Emilien page : 33
- (35) RENOUE Emilien page : 32
- (36) DAUMAS Maurice Page : 250
- (37) DAUMAS Maurice Page : 281
- (38) GUILLAUME Ch. Ed.  
La convention du mètre et le bureau international des poids et  
mesures, PARIS, Gautier Villars, 1902, Pages : 26-56
- (39) LEMOINE J., GUYOT J.  
Cours de physique à l'usage des élèves de mathématiques supérieures  
et de mathématiques spéciales.  
PARIS, Vuibert, 1944.
- (40) MCGEE Thomas  
Principles and methods of temperature measurement.  
NEW-YORK, John Wiley & Sons, 1988,
- (41) Norme AFNOR NFX 50-120  
Fiabilité :  
Aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise, dans des  
conditions données, pendant une durée donnée.
- Le terme fiabilité est aussi utilisé comme caractéristique de  
fiabilité désignant une probabilité de succès ou un pourcentage de  
succès.
- (42) Météorologie nationale  
Thermomètre exactitude 0,25°C  
Cahier de Recette Technique M N T 03 1210 P 0000  
TRAPPES, Météorologie nationale, 1993

**CHAPITRE 4****MESURES ANCIENNES ET MESURES RECENTES****4.1 OBSERVER COMME AU XVIII<sup>e</sup> SIECLE  
AVANT L'EXISTENCE DE L'ABRI**

L'abri météorologique, enceinte contenant une particule d'air censée être représentative de l'air avoisinant, n'existe que depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Il est essentiellement conçu pour assurer la ventilation des instruments et leur protection contre les rayonnements directs, réfléchis ou diffus, et contre les intempéries (1). Il assure par ailleurs une homogénéité des conditions de mesures pour différents lieux d'observation. (Fig 4.1)

L'observation de la température de l'air avant d'être effectuée dans un tel abri était sujette, malgré les conseils décrits, à l'imagination des observateurs. Chacun respectant plus ou moins les consignes ou informations qu'il avait reçues, lues ou entendues. La plupart des observateurs accrochaient leur thermomètre le long d'un mur à proximité d'une fenêtre orientée au nord (Fig 4.5).

Les échanges thermiques dans l'air s'effectuent surtout par rayonnement et convection, très peu par conduction. La position du thermomètre, sa nature, son environnement immédiat et même plus éloigné, sont des éléments qui modifient l'indication numérique de l'instrument. Les influences extérieures agissent différemment sur les thermomètres suivant leur installation.

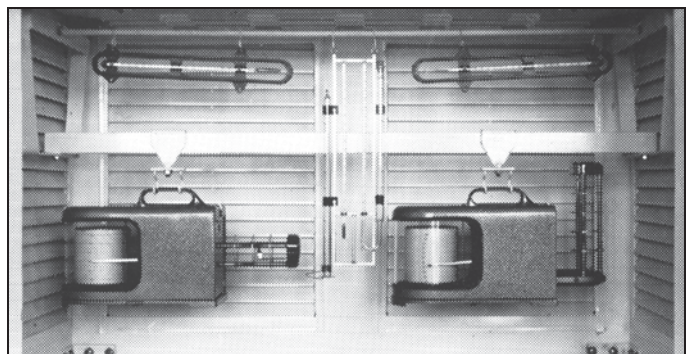


Fig 4.1 Abri météorologique utilisé actuellement en France  
(Photos Météo-France N° 11833, 8436)



La comparaison des deux modes d'observation de la température mérite une étude particulière. Cette étude révèle les limites de la crédibilité des séries thermiques, avec les conditions d'observation de l'époque antérieure à celle de l'abri météorologique.

Pour être en mesure d'effectuer une observation correcte de la température il est nécessaire de réunir deux conditions essentielles :

1) Avoir un instrument de qualité.

2) Etre dans des conditions assurant une adéquation parfaite entre le milieu dans lequel l'instrument est installé et l'instrument lui même.

De nos jours ces conditions sont réalisées, ou tout au moins l'approche à cet idéal théorique est quasi réalisée. Il y a deux siècles, les conditions d'observation étaient différentes de celles qui sont en vigueur actuellement. Il est utile de nos jours de reproduire ces conditions antérieures, et de comparer ces deux modes d'observation. Dans cette étude toutes les conclusions énoncées supposeront a priori que la première condition (avoir un instrument de qualité) est réalisée. Il est indispensable de traiter séparément chacune des deux conditions afin d'obtenir une conclusion constructive.

*L'UNIFORMISATION DE L'OBSERVATION THERMIQUE :  
UN SIECLE DE TATONNEMENTS*

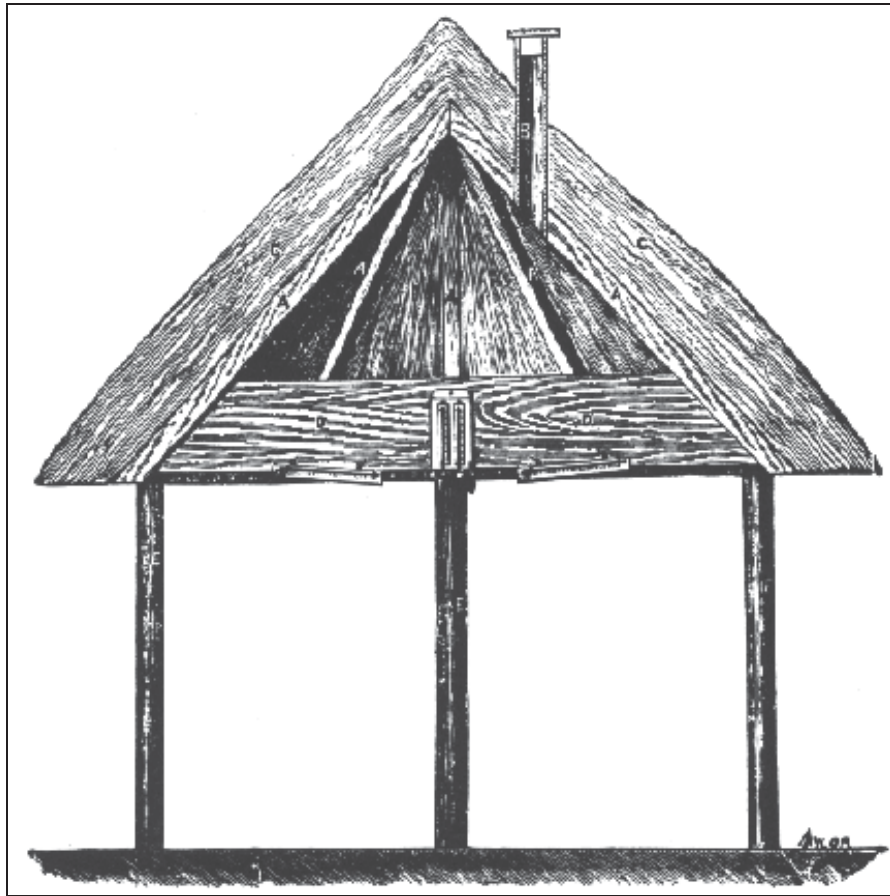


Fig 4.2 Illustration de l'écran pour thermomètre, de MARTIN a VENTOR (1838) reproduit par GASTER (D'après MIDDLETON p214)

L'effet des radiations sur les mesures thermiques préoccupa les savants dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle. En 1817 FOURIER donna une explication détaillée de l'effet des radiations environnantes sur le thermomètre, montrant qu'il peut être soit plus chaud soit plus froid selon la température de son environnement (2). Peu de temps après, les premières protections en bois abritant les thermomètres des précipitations et du soleil direct, furent réalisées. Appelés "écrans", car ces supports n'avaient pas de plancher, ils n'assuraient pas la protection du rayonnement

issu du sol. Le premier support ainsi conçu pour lequel MIDDLETON ait trouvé une description fut réalisé par Dr Georges MARTIN a VENTOR sur l'île de Wight vers 1838 (3) (Fig 4.2).

A la même époque les abris avec plancher, largement ouverts au nord sont apparus lorsque les parois en persienne vénitienne furent développées. Les premières réalisations de SNOW-HARRIS dateraient de 1835 (4) Fig 4.3.

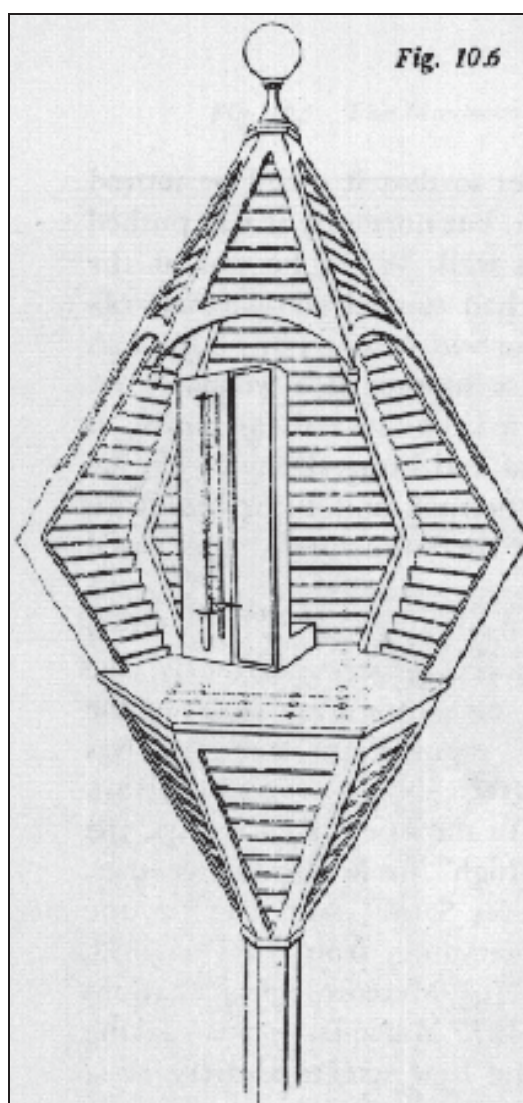


Fig 4.3 Premier abri fermé avec des parois en persienne vénitienne de SNOW-HARRIS (1835) (D'après MIDDLETON p220).

A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle deux types d'abri sont en vigueur : l'abri fermé de l'anglais STEVENSON, et l'abri ouvert modèle Montsouris (Fig 4.4).

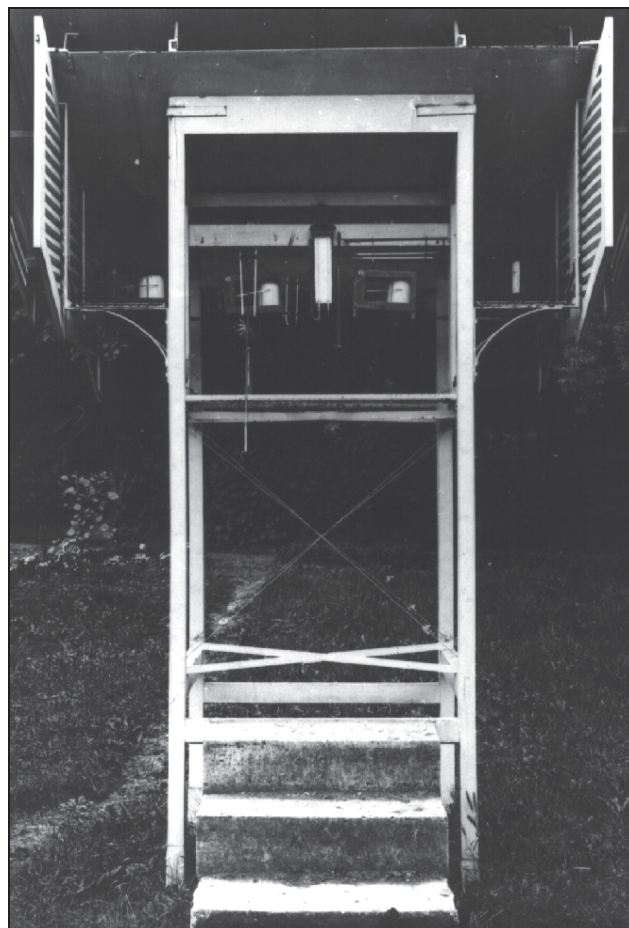
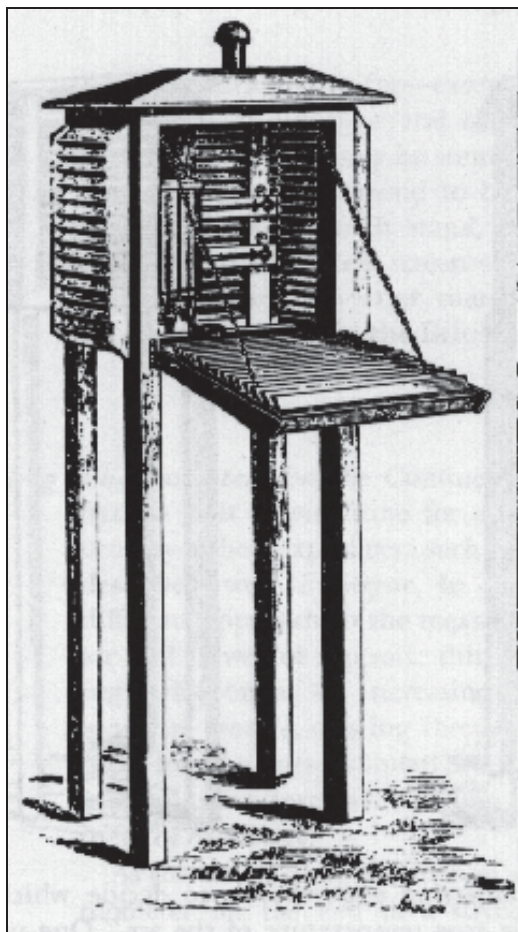


Fig 4.4 Les deux modèles d'abri en utilisation à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle : l'abri anglais à gauche, (D'après MIDDLETON p223), l'abri français à droite. (Photo METEO-FRANCE.N° 13042)

L'observation de la température de l'air se divise en trois périodes très distinctes :

→ Celle pour laquelle il n'y avait aucune protection, du XVII<sup>e</sup> au début du XIX<sup>e</sup> siècle.

→ Durant la majeure partie du XIX<sup>e</sup> siècle où des protections différentes furent conçues.

→ Enfin la période actuelle, depuis la fin du siècle précédent où l'abri météorologique est utilisé. Il met fin à la disparité des méthodes d'observation les plus diverses en vigueur depuis la réalisation des premiers thermomètres.

### *LA MESURE DE LA TEMPERATURE DE L'AIR AUTREFOIS*

La pratique d'accrocher le thermomètre sur un mur orienté au nord, était suivie par ceux qui avaient connaissance des recommandations de COTTE. Mais il y avait aussi des thermomètres exposés à l'est ou à l'ouest voire même au sud. La protection des rayons directs du soleil n'était pas toujours assurée. Le signalement de la nature de l'espace dégagé devant le thermomètre est très rarement précisé dans les manuscrits. Cette indication est pourtant fondamentale, car l'influence du rayonnement sur le thermomètre peut être modifiée de manière sensible par l'environnement. D'autre part, si on souhaite que la température soit représentative du lieu, celui-ci ne doit pas être sujet à des influences locales, directement liées à des facteurs proches, comme des constructions, des arbres ou la nature du sol à proximité.

Après avoir indiqué le meilleur emplacement du thermomètre, COTTE précise que le thermomètre doit être fixé sur un mur orienté au nord, que le support doit être une planche en bois

évidée au niveau du réservoir afin d'éviter les contacts et la propagation de la chaleur par conduction (5). C'était pour l'époque la meilleure condition d'observation de la température de l'air.



Fig 4.5 Thermomètre fixé sur un mur orienté au nord  
(Illustration tirée de D'ALANCE p77)

"Des précautions à prendre dans l'Observation des Instruments Météorologiques.

Je vais faire passer en revue dans autant d'articles ces différents instruments, & indiquer les petites précautions que l'usage m'a appris être nécessaires pour l'exactitude des Observations.

1°) On aura soins de placer les thermomètres à l'air libre, c'est à dire, en dehors des appartements; & s'il est appuyé contre un mur, on doit prendre garde que ce mur ne contienne dans son épaisseur quelque tuyau de cheminée, ou qu'il ne soit adossé à quelque four où l'on fasse du feu en certains temps. Il serait mieux que le thermomètre fût isolé sans être appuyé contre un mur, & que la planche même sur laquelle il est fixé, fût percée d'une rainure à jour, de manière que le tube n'y touchât que par les deux extrémités, & que l'air circulât ainsi librement autour du tube; car le mur & la planche peuvent conserver pendant quelque temps une certaine chaleur qui ne sera pas dans l'atmosphère, ce qui rendra fautive les Observations du thermomètre. M. de REAUMUR dit qu'ayant suspendu un thermomètre dans son jardin, il le vit descendre à  $2 \frac{1}{2}$  degrés plus bas qu'un pareil thermomètre appuyé contre un mur. Ceux que l'on place dans les chambres ne peuvent indiquer que la température du lieu où ils sont; cela n'est pas inutile dans bien des occasions, mais on n'en doit rien conclure pour le temps qu'il fait dehors.

2°) L'exposition du thermomètre doit être au nord ou à peu près, dans quelque place qui ne reçoive jamais ni les rayons directs, ni même les rayons réfléchis du soleil; & à cet égard il est bon que l'on sache que la proximité d'un grand arbre, d'un édifice, fût-il passablement éloigné, d'une montagne voisine, &c. peut causer des reflets de lumière très efficaces; le pavé même des rues renvoie au premier étage & aux appartements des rez-de-chaussée, une chaleur qui diffère notablement de celle qui agit plus haut.

3°) Le temps le plus froid des vingt-quatre heures qui composent dans nos climats la nuit et le jour, étant pour l'ordinaire celui qui précède de peu le lever du soleil, & le temps le plus chaud, celui qui arrive deux ou trois heures après le passage de cet astre au méridien, il est à propos qu'un observateur exact visite le thermomètre deux fois par jour, le matin & l'après midi dans les temps dont je viens de parler, indépendamment des autres observations qu'il lui plairait de faire dans les autres heures du jour & de la nuit.

4°) Quand on regarde la liqueur pour savoir au juste à quel degré d'élévation elle est, il est nécessaire de placer l'oeil à la même hauteur; car s'il est plus haut, on jugera la liqueur moins élevée qu'elle l'est en effet; & s'il est plus bas, cette même liqueur paraîtra trop haute.

5°) On doit faire attention que si l'on approche fort près & et longtemps, surtout avec un flambeau ou une bougie allumée pour observer le degré de froid ou de chaud qui est désigné par la liqueur du tube, il peut arriver que celle de la boule reçoive quelque chaleur qui ne vient pas de l'air & qui rende l'observation moins exacte.

6°) On remarquera que les observations faites en été, surtout après midi, sont bien moins certaines que celles que l'on fait en hiver, parce que la réflexion du soleil, que l'on ne peut entièrement éviter en été, produit de grands effets sur la liqueur.

7°) Enfin, si l'on veut faire part de ses remarques sur les degrés de température de l'air, & leur mériter la confiance des physiciens, on aura le soin d'avertir de quelle espèce de thermomètre on s'est servi, comment il était exposé, à quelles heures & avec quelles attentions on l'a observé. Si l'on se sert de thermomètres différents de celui de M. de REAUMUR, on réduira les observations qu'on en a fait à l'échelle de ce dernier, & on pourra se servir de la table que j'en ai donné à la fin du second livre de cet ouvrage.

(Tiré de COTTE Traité de météorologie, 1774 p 522-523)

Les conditions d'observation décrites par COTTE sont demeurées quasiment identiques durant la période qui précéda l'apparition de l'abri météorologique; c'est à dire depuis le début des mesures thermiques au XVII<sup>e</sup> siècle, jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Après quelques tâtonnements effectués avec les thermoscopes, dès l'invention des thermomètres scellés, les savants savaient que la mesure de la température de l'air la mieux représentée s'obtient si on accroche le thermomètre à l'extérieur afin qu'il soit abrité du soleil direct et des réflexions. Ils avaient remarqué les faibles variations diurnes de la température à l'intérieur d'une pièce, et ses fortes valeurs lorsque le thermomètre est exposé au soleil. Ces faits furent confirmés avec les thermomètres scellés. Ils continuèrent cependant à effectuer ce type de mesure, mais savaient qu'elle n'était pas représentative du climat.

L'exposition du thermomètre "*vers le nord ou à peu près*" recommandé par COTTE souffre d'un manque de précision. COTTE ne précise pas que l'instrument doit être accroché le long d'une paroi qui regarde le nord. Bon nombre d'observateurs accrochaient leur thermomètre au jambage d'une fenêtre orienté à l'est ou à l'ouest. Le jambage permet d'accrocher l'instrument de façon qu'il soit face au nord mais le mur de



l'édifice regarde l'est ou l'ouest, de ce fait il n'a pas le même échauffement qu'un mur face au nord qui ne reçoit que très peu les rayons du soleil en été.

Aussi bien les savants, qui conseillent les modes d'installation des instruments, que les observateurs ne sont pas assez précis : les uns pour expliquer comment doit être faite l'installation, les autres pour préciser ce qu'ils ont fait. En l'absence d'informations une analyse de l'observation thermique du matin ou du soir peut être envisagée pour déceler ces anomalies. COTTE, qui était très attentif aux observations qu'il recevait, peut être d'un très grand apport par les qualificatifs qu'il donnait aux observations (série bonne ou mauvaise).

L'observation du soir souvent tardive (vers 21 ou 22 heures) a lieu presque toujours après le coucher du soleil. Excepté pour les mois proches du solstice d'été, la perturbation par cet astre serait négligeable. Par contre l'observation du matin avait souvent lieu au moment du lever du soleil ou peu après. Son influence risque d'être significative si des précautions suffisantes ne sont pas prises.

La hauteur du thermomètre au-dessus du sol est un point qui est absent dans les directives adressées aux observateurs. De même ces derniers indiquent rarement la hauteur de leur thermomètre. A cette époque on connaissait mal la variation de la température dans les basses couches de l'atmosphère. Le sol fortement échauffé par le soleil transmet sa chaleur par

conduction dans les premiers mètres d'air au-dessus. Ce transfert de chaleur s'effectue très mal et de ce fait, l'écart entre la température de l'air au voisinage du sol et celle observée à 1 m 50 au-dessus peut dépasser 10 °C. La nuit le phénomène est inversé, le sol se refroidit par rayonnement. L'air à son voisinage est plus froid que celui des couches plus élevées.

La consultation des manuscrits d'observations météorologiques permet de constater que le thermomètre est principalement fixé à l'extérieur d'une fenêtre qui regarde le nord. Celui-ci était parfois installé de manière à être visible de l'intérieur. La fenêtre est souvent celle d'une des pièces de la maison occupée par l'observateur qui peut être sa chambre ou une salle de travail, dans laquelle se trouvent les autres instruments météorologiques, comme le baromètre. La plupart du temps ce local n'est pas chauffé l'hiver.

L'étage est rarement signalé. Du rez-de-chaussée au deuxième étage la température peut différer de plusieurs degrés. Même en suivant scrupuleusement les consignes de COTTE, quelques erreurs essentielles pouvaient être commises par les observateurs.

## 4.2 L'EXPERIENCE REALISEE A TRAPPES

Pour comparer les mesures thermiques de l'air telles qu'elles sont effectuées de nos jours avec celles qui étaient effectuées il y a deux siècles, dans les conditions de l'époque, j'ai fait disposer deux thermomètres sur un mur orienté au nord à proximité d'une fenêtre (Fig 4.6). Ils sont à l'air libre, tous les deux écartés du mur d'une dizaine de centimètres. Le support qui les maintient dégage le bulbe de tout contact. Pour simuler les conditions de l'époque et éviter les transferts de chaleur provenant de l'intérieur du bâtiment, notamment en hiver, j'ai fixé sur le mur une planche de bois carrée de 80 cm de côté, épaisse de 15 mm. Le mur et la planche sont de couleur blanche. Ce détail doit être signalé, car le rayonnement dépend de la couleur des bâtiments.

Les thermomètres sont situés à une hauteur de 1,60 mètre au-dessus du sol. L'espace devant ces thermomètres au-delà du chemin goudronné qui longe le bâtiment est un champ d'expérimentation météorologique gazonné, donc bien dégagé. Le bâtiment est sans étage long d'une vingtaine de mètres. Un petit rebord du toit les abrite le plus souvent des précipitations.

Au début de l'expérience, j'ai installé un thermomètre à minima (au toluène) et un à maxima (à mercure). Ces thermomètres sont identiques à ceux utilisés actuellement dans les stations météorologiques. Quelque temps plus tard le thermomètre à

maxima a été remplacé par un thermomètre à lecture directe (à mercure). Les deux thermomètres sont observés du lundi au vendredi : minima, maxima, et température observée à différents moments de la journée. L'état du ciel et les météores sont notés au moment de l'observation. Toutes les heures sont indiquées en T.U. (Temps Universel, heure du méridien de Greenwich). Les observations proviennent de mesures faites entre le 23 janvier 1991 et le 4 juin 1993. Durant cette période, une interruption de près d'une année est due à des travaux d'installation technique dans ce bâtiment. Du fait qu'il s'agit de mesures ponctuelles à des fins de comparaison, les arrêts de mesure n'ont aucune incidence pour l'étude.



Fig 4.6 Fixation des thermomètres sur le mur d'un bâtiment orienté au NORD afin de reproduire les conditions d'observation du XVIII<sup>e</sup> siècle. (Photo Météo-France N° 13129)

A quelques pas, à une cinquantaine de mètres au sud-ouest, se trouve la station météorologique (l'abri météorologique) de Trappes (Fig 4.7). Le terrain est plat, non boisé ni bâti, seul le bâtiment en question sépare les deux points de mesure. Il n'y a pas de raison majeure qui puisse modifier la température, excepté les conditions imposées par le bâtiment qui supporte les thermomètres. L'absence quasi permanente du soleil, l'obstacle au vent dû au bâtiment suivant son origine peuvent être des éléments perturbateurs. Le fait que le bâtiment soit chauffé peut laisser un doute sur la représentativité des mesures. L'examen des données mois par mois le lèvera.

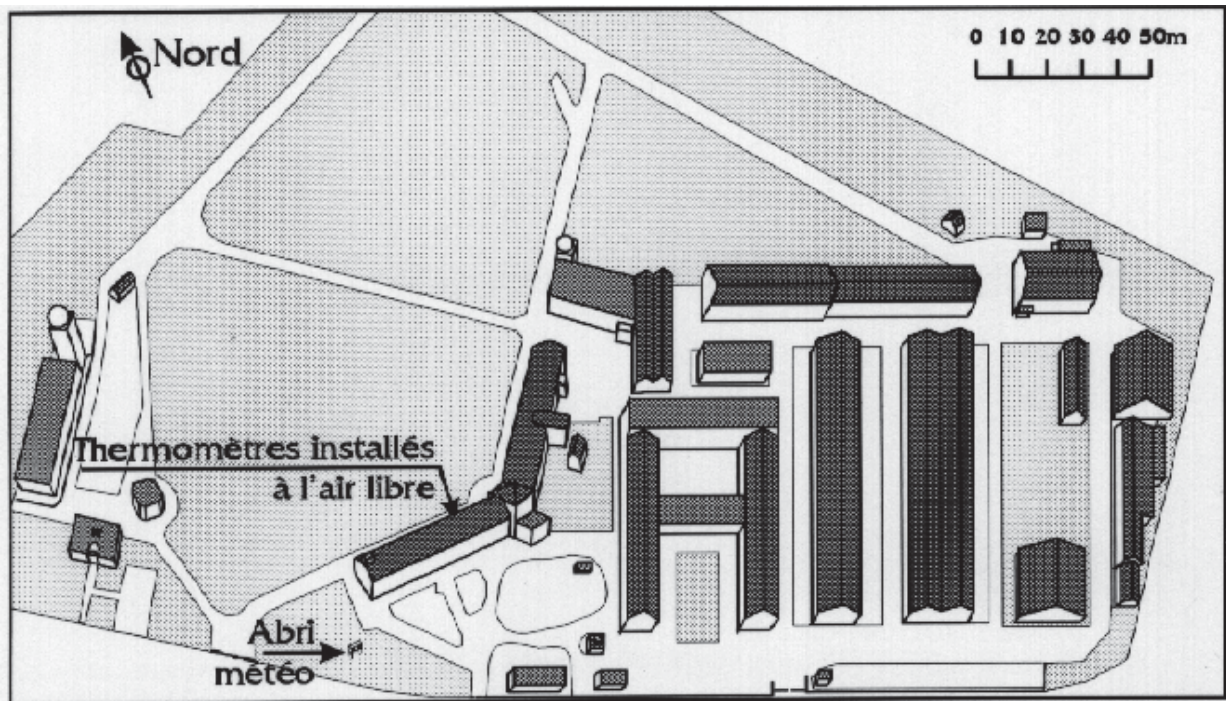


Fig. 4.7 Plan de l'Observatoire de Trappes

Je dispose ainsi de deux séries de mesures thermiques d'un même lieu : l'une d'elle est constituée de mesures effectuées dans les mêmes conditions que celles qui étaient pratiquées au XVIII<sup>e</sup> siècle, la seconde dans les conditions contemporaines définies par l'Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.).

Pour effectuer les comparaisons thermiques, les observations disponibles auprès de la station météorologique de Trappes ont été utilisées. Le développement des stations automatiques par Météo-France permet de connaître non seulement les extrêmes quotidiens, mais également la valeur des paramètres observés toutes les 6 minutes (température, pression atmosphérique, humidité, vent, rayonnement, précipitations). Ces informations en mémoire sur le serveur informatique du réseau interne au SETIM (Service des Equipements et Techniques Instrumentales de la Météorologie) sont consultables à tout moment à partir des micro-ordinateurs du site.

Quelle que soit l'heure de l'observation des instruments, une valeur de comparaison est fournie par la station météorologique distante de quelques dizaines de mètres. L'intervalle de temps qui sépare une observation de celle de la station est au plus de 3 minutes. Cet espace de temps autorise des interpolations linéaires de la température de la station dans le cas de variations de celle-ci. L'expérience montre que ces écarts sont le plus souvent inférieurs à un ou deux dixièmes de degrés durant trois minutes. L'interpolation est alors admise. Toutefois, il se trouve des situations où la température varie de plusieurs dixièmes de degrés en très peu de temps.

L'interpolation est parfois difficile, mais ces cas, extrêmement rares, s'il en existe seront laissés de côté.

La base de mon travail est la constitution d'un fichier de 12 colonnes (p 184 ci-après) comprenant pour chaque relevé de température les informations suivantes :

- La date : Année, mois et jour pour la première colonne.
- L'heure de l'observation en T.U. pour la deuxième colonne.
- La nature de l'observation : "N" (de 1 à 4)

1 : Pour les températures minimales **Tn** (thermomètre au toluène).

2 : Pour les températures maximales **Tx** (thermomètre à mercure).

3 : Pour les températures observées sur un thermomètre au toluène **T** (observation dans la journée).

4 : Pour les températures observées sur un thermomètre à mercure **T<sub>hg</sub>**.

- La température observée (**T**) : colonne "OBS".

- La température de la station (**Ts**) : colonne "STATIO".

C'est la température vraie sous abri, température de référence.

- La correction à effectuer (**t**) : colonne "CORR".

La différence (**t**) des deux températures, prises dans le sens de la correction à effectuer à la température observée, pour obtenir la température de la station, est :  $t = T_s - T$

La correction est négative lorsque la température réelle est plus froide que celle mesurée au nord. Elle est positive lorsque la température réelle est plus chaude que celle mesurée au nord.

Toutes les températures sont mesurées en degrés Celsius.

→ L'état du thermomètre : colonne "E"

Sec "S", ou mouillé "M"

→ L'observation du temps (état du ciel et météores) au moment de l'observation thermique

Un critère de nébulosité partage les observations en ciel clair ou peu nuageux "B", et en ciel nuageux ou couvert "N". Le ciel est qualifié de nuageux lorsque les nuages occultent au moins la moitié de la voûte céleste. Pour ce partage il n'est pas tenu compte de la hauteur des nuages. La détermination s'apprécie au moment de l'observation.

Certains jours le nom des nuages est indiqué selon le langage professionnel. Voici la signification des abréviations utilisées :

ST : Stratus  
 CU : Cumulus  
 SC : Strato-cumulus  
 AC : Altocumulus  
 AS : Altostratus  
 CI : Cirrus

→ Le vent : Sa direction en degrés "DIR", et sa vitesse en m/s "FF". Un critère N/S (Nord ou Sud) détermine si le vent souffle du secteur est à ouest en comprenant le Sud (S), ou



s'il provient du secteur Nord (**N**) compris entre l'ouest et l'est. Ce critère est établi suivant que le bâtiment constitue un obstacle ou non au vent.

→ Le rayonnement global mesuré à la station en  $\text{J/cm}^2$  "**R GLO**".

Les observations, effectuées dans l'ordre chronologique, sont présentées dans le tableau de la page suivante. Celui-ci comprend 457 observations dont 86 pour le cas 1 (températures minimales), 58 pour le cas 2 (températures maximales), 256 pour le cas 3 (températures observées avec un thermomètre au toluène) et 57 pour le cas 4 (températures observées avec le thermomètre à mercure). Le nombre de cas où le thermomètre était mouillé s'élève à 31.

## TEMPERATURES OBSERVEES A

## TRAPPES

Toutes observations

Code . 1: Tn, 2: Tx, 3: T, 4 : Thg  
 S : Sec, M : Mouillé, H : Humide

							VENT					
DATE		HEURE	N	OBS	STATIO	CORR	E	OBSERVATION ET METEORES	DD	FF	N/S	R GLO
A	M, J	TU		T	Ts	t			m/s			
91	1,23	700	1	2,4	2,4	0,0	S	N COUVERT	80	2	N	
91	1,23	748	3	3,1	2,4	-0,7	S	N COUVERT	90	1	N	
91	1,24	336	1	0,4	0,5	0,1	S	N COUVERT	10	3	N	
91	1,24	742	3	1,6	1,2	-0,4	S	N COUVERT	80	3	N	
91	1,24	924	2	3,0	1,4	-1,6	S	N COUVERT	70	4	N	
91	1,25	742	1	-0,8	-1,0	-0,2	S	N COUVERT	90	3	N	2
91	1,25	744	3	-0,5	-1,0	-0,5	S	N COUVERT	90	2	N	2
91	1,28	744	3	-0,3	-0,6	-0,3	S	N COUVERT	100	2	S	2
91	1,29	742	1	-2,4	-2,3	0,1	S	CLAIR BRUME	120	1	S	4
91	1,29	744	3	-2,1	-2,3	-0,2	S	CLAIR BRUME	120	1	S	4
91	1,29	1430	2	2,7	2,6	-0,1	S	CLAIR	130	3	S	85
91	1,30	730	1	-5,6	-5,3	0,3	S	CLAIR	0	0		1
91	1,30	818	2	-3,9	-4,6	-0,7	S	CLAIR	0	0		14
91	2,03	724	1	-8,6	-8,6	0,0	S		230	1	S	1
91	2,04	1442	3	0,6	0,2	-0,4	S	C BRUMEUX	40	3	N	71
91	2,05	606	1	-6,5	-6,4	0,1	S	CLAIR	20	2	N	0
91	2,05	1224	2	0,4	-0,2	-0,6	S	CLAIR BRUME COUVERT NEIGE	40	5	N	137
91	2,06	742	3	-3,4	-3,3	0,1	S	TRES FAIBLE	10	4	N	3
91	2,07	612	1	-12,7	-12,4	0,3	S	C BRUME	40	5	N	0
91	2,07	800	3	-12,3	-12,1	0,2	S	C BRUME	40	5	N	13
91	2,11	812	3	-0,9	-0,9	0,0	S	NUAGEUX	260	4	S	19
91	2,11	1418	2	3,2	1,0	-2,2	S	CLAIR	270	4	S	108
91	2,11	2036	1	-2,3	-2,0	0,3	S	CLAIR NEIGE AU SOL	280	3	N	0
91	2,12	748	3	0,4	0,4	0,0	S	NEIGE FAIBLE	310	4	N	4
91	2,12	1454	2	4,0	3,6	-0,4	S	CLAIR	330	4	N	125
91	2,13	1500	2	4,5	2,6	-1,9	S	CLAIR	10	2	N	101
91	2,14	630	1	-4,3	-4,3	0,0	S	NEIGE AU SOL	300	2	N	1
91	2,14	848	3	-3,5	-3,6	-0,1	S	NEIGE AU SOL	270	2	S	32
91	2,18	800	3	-2,6	-2,7	-0,1	S	C BRUMEUX	20	6	N	18
91	2,18	1536	2	3,4	2,6	-0,8	S	N COUVERT	30	2	N	32
91	2,19	748	3	0,5	0,3	-0,2	S	CLAIR	50	2	N	18
91	2,19	1400	2	10,2	10,8	0,6	S	CLAIR	150	2	S	146
91	2,20	548	1	-1,7	-1,6	0,1	S	BROUILLARD	0	0		1
91	2,20	754	3	0,2	-0,3	-0,5	S	BROUILLARD	320	1	N	7
91	2,20	1536	2	10,0	9,1	-0,9	S	C BRUMEUX	210	2	S	74
91	2,21	454	1	-0,3	-0,6	-0,3		BROUILLARD	150	2	S	1
91	2,21	745	3	1,9	0,7	-1,2	V	BROUILLARD	160	3	S	19
91	2,21	1848	2	8,8	7,4	-1,4	S	N COUVERT	200	4	S	0
91	2,22	612	1	0,3	0,8	0,5	S	C TRES CLAIR	200	3	S	0
91	2,22	744	3	2,0	1,8	-0,2	S	C TRES CLAIR	200	3	S	36
91	2,22	1454	2	11,1	10,8	-0,3	S	N 5/8 AC + CI N 7/8 SC PLUIE LA	210	7	S	143
91	2,28	744	3	5,9	4,8	-1,1	S	NUIT	220	1	S	15
91	2,28	1236	2	9,6	7,8	-1,8	S	N 4/8 AC 3/8 SC	140	2	S	212
91	3,01	348	1	3,0	3,7	0,7	S	N COUVERT	20	3	N	1
91	3,01	742	3	4,2	4,2	0,0	S	N 8/8 SC DEBUT DE PLUIE	40	5	N	4

							VENT					
DATE	HEURE	N	OBS	STATIO	CORR	E	OBSERVATION ET METEORES	DD	FF	N/S	R GLO	
91	3,04	742	3	6,3	5,9	-0,4	S	N 8/8 AC	140	4	S	12
91	3,04	1700	2	13,3	12,2	-1,1	S		140	4	S	7
91	3,05	742	3	10,4	9,9	-0,5	S	N 8/8 AC 4/8 SC PLUIE TRES FAIBLE	160	4	S	12
91	3,05	1612	2	15,8	15,2	-0,6	S	N COUVERT	140	3	S	41
91	3,06	148	1	9,9	10,0	0,1	S	N COUVERT	160	5	S	1
91	3,06	742	3	11,0	10,3	-0,7	S	N 7/8 AC AVERSE RECENTE	120	4	S	21
91	3,06	1400	2	18,8	18,0	-0,8	S	NUAGEUX AC	140	4	S	173
91	3,07	606	1	6,9	7,4	0,5	S	CLAIR	160	2	S	0
91	3,07	742	3	8,7	8,7	0,0	S	C TRES BEAU FORTE ROSEE	150	3	S	59
91	3,07	1548	2	18,2	17,4	-0,8	S	BEAU	110	4	S	87
91	3,08	730	3	10,2	10,1	-0,1	S		130	2	S	19
91	3,11	1612	2	15,0	14,1	-0,9	S	N COUVERT	220	4	S	99
91	3,12	548	1	9,4	9,3	-0,1	S	N COUVERT	140	2	S	2
91	3,12	745	3	10,6	9,7	-0,9	S	N COUVERT	150	3	S	27
91	3,12	1242	3	15,2	15,5	0,3	S	C BEAU	110	3	S	165
91	3,12	1536	2	16,5	16,8	0,3	S	C BEAU	120	5	S	121
91	3,13	530	1	5,6	6,0	0,4	S	CLAIR	120	2	S	1
91	3,13	748	3	7,9	8,3	0,4	S	C BEAU	120	4	S	67
91	3,20	754	3	12,4	11,7	-0,7	S	N COUVERT	210	5	S	22
91	3,21	742	3	10,9	10,5	-0,4	S	N COUVERT PLUIE	200	2	S	6
91	3,22	548	1	6,6	6,8	0,2	M	NUAGEUX	330	2	N	1
91	3,22	742	3	7,8	7,7	-0,1	M	NUAGEUX	350	2	N	33
91	3,22	1554	3	10,2	10,0	-0,2	S	NUAGEUX	260	2	S	114
91	3,25	742	3	5,8	5,8	0,0	S	N COUVERT	20	6	N	21
91	3,25	1206	2	8,5	8,4	-0,1	S	N COUVERT	30	8	N	42
91	3,26	112	1	4,4	4,9	0,5	S	N COUVERT	30	4	N	0
91	3,26	742	3	7,5	7,2	-0,3	S	N COUVERT	30	2	N	19
91	3,26	1142	2	13,1	11,3	-1,8	S	N COUVERT	120	4	S	177
91	3,27	536	1	5,4	5,6	0,2	S	N COUVERT	50	4	N	2
91	3,27	742	3	5,8	5,8	0,0	S	N COUVERT	40	5	N	31
91	3,27	1330	2	12,0	11,2	-0,8	S	C PEU NUAGEUX	40	5	N	237
91	3,28	612	1	2,8	2,8	0,0	S	CLAIR	20	2	N	11
91	3,28	742	3	4,6	5,2	0,6	S	CLAIR	20	3	N	94
91	4,01	1518	2	16,1	15,6	-0,5	S	C 5/8 CI N COUVERT PLUIE	30	3	N	137
91	4,03	642	3	9,0	6,7	-2,3	S	RECENTE	240	1	S	49
91	4,03	1406	3	11,8	13,6	1,8	S	N 5/8 CU	210	8	S	231
91	4,03	1500	2	14,2	14,2	0,0	S	N 5/8 CU	210	7	S	168
91	4,04	218	1	7,1	7,1	0,0	S	C CLAIR	200	4	S	1
91	4,04	642	3	4,9	7,9	3,0	S	N 6/8 SC BAS	200	3	S	23
91	4,05	424	1	1,9	2,6	0,7	S	CLAIR	180	4	S	0
91	4,05	642	3	3,4	4,1	0,7	S	CLAIR	180	4	S	28
91	4,07	1148	2	14,4	12,2	-2,2	S	NUAGEUX	210	4	S	284
91	4,08	642	3	8,5	7,5	-1,0	S	C 3/8 SC	220	5	S	44
91	4,08	1430	2	15,9	13,5	-2,4	S	N TRES NUAGEUX	250	6	S	246
91	4,09	1436	2	16,7	14,4	-2,3	S	CLAIR BRUME	250	4	S	215
91	4,10	506	1	4,8	6,2	1,4	S	CLAIR BRUME	300	3	N	2
91	4,10	648	3	7,7	6,4	-1,3	S	CLAIR BRUME	180	1	S	19
91	4,11	512	1	6,3	5,6	-0,7	S	CLAIR	120	2	S	2
91	4,11	642	3	10,0	7,7	-2,3	S	CLAIR	120	2	S	64
91	4,11	1436	2	23,6	20,7	-2,9	S	C 2/8 CI	150	3	S	223
91	4,12	642	1	9,3	10,0	0,7	S	CLAIR	150	2	S	67
91	4,12	1418	3	23,9	24,5	0,6	S	CLAIR	220	3	S	229
91	4,16	912	3	10,7	11,5	0,8	S	CLAIR BRUME	20	6	N	208
91	4,16	1600	3	12,1	12,6	0,5	S	CLAIR	10	7	N	150

											VENT	
DATE	HEURE	N	OBS	STATIO	CORR	E	OBSERVATION ET METEORES	DD	FF	N/S	R GLO	
91	4,16	1430	2	14,0	14,2	0,2	S	CLAIR	20	7	N	228
91	4,19	306	1	0,0	2,7	2,7	M	N 7/9 CU SC PLUIE RECENTE	10	4	N	2
91	4,19	654	3	2,8	3,0	0,2	M	RECENTE	350	5	N	34
91	4,22	642	3	6,3	5,8	-0,5	S	N COUVERT N COUVERT PLUIE	240	4	S	36
91	4,22	1730	2	9,8	8,0	-1,8		DS JOURNEE	350	4	N	67
91	4,23	42	1	1,4	1,6	0,2	S	N 7/8 SC+CU	270	1	S	1
91	4,23	642	3	5,0	3,7	-1,3	S	N 7/8 SC+CU	250	2	S	50
91	5,03	642	3	5,4	5,2	-0,2	S	N 7/8 SC+CU N COUVERT PLUIE	360	6	N	69
91	5,06	642	3	5,2	5,3	0,1	M	RECENTE	310	3	N	9
91	5,06	1254	2	8,0	7,9	-0,1	M	N PLUIE	360	3	N	63
91	5,07	254	1	5,1	5,3	0,2	M	N PLUIE	270	2	S	1
91	5,07	642	3	6,3	5,8	-0,5	M	N COUVERT	250	1	S	26
91	5,13	642	3	10,5	10,5	0,0	S	CLAIR	0	0		113
91	5,13	1506	2	21,0	19,7	-1,3	S	N 5/8 CU	310	2	N	267
91	5,14	206	1	10,5	10,4	-0,1	S	N COUVERT	310	3	N	2
91	5,14	642	3	10,9	10,6	-0,3	S	N COUVERT	320	3	N	23
91	5,14	1000	2	14,7	12,3	-2,4		N COUVERT PLUIE	330	2	N	56
91	5,15	348	1	3,1	3,5	0,4	S	CLAIR BRUME	330	2	N	0
91	5,15	648	3	6,4	6,5	0,1	S	CLAIR BRUME	20	3	N	119
91	5,15	1330	2	14,9	14,0	-0,9	S	NUAGEUX	360	3	N	228
91	5,16	612	1	5,4	6,4	1,0	M	N COUVERT PLUIE N COUVERT PLUIE	350	5	N	38
91	5,16	642	3	6,1	6,7	0,6	M	RECENTE	350	4	N	40
91	5,16	1242	2	13,4	12,3	-1,1		NUAGEUX AVERSES CLAIR PLUIE	350	7	N	333
91	5,17	400	1	5,4	5,7	0,3		RECENTE	320	1	N	1
91	5,17	642	3	6,7	7,7	1,0	M	N 4/8 CU PLUIE RECENTE	20	2	N	139
91	5,27	700	3	10,1	10,0	-0,1	S	CLAIR	290	5	N	10
91	5,28	642	3	11,1	8,3	-2,8	S	N 4/8 ST SC	260	3	S	51
91	5,28	1512	1	18,6	17,7	-0,9	S	CLAIR	20	5	N	247
91	6,05	400	1	3,8	3,6	-0,2	S	C 3/8 CI	340	2	N	3
91	6,05	642	3	9,6	9,6	0,0	S	C 3/8 CI	100	1	S	112
91	6,07	430	1	10,8	10,7	-0,1	S	N 8/8 SC	190	2	S	3
91	6,07	642	3	12,2	11,4	-0,8	S	N 8/8 SC	190	2	S	36
91	6,05	2318	1	9,4	10,7	1,3	S	N 8/8 SC N 7/8 SC PLUIE	160	2	S	1
91	6,06	712	3	14,7	11,9	-2,8	S	RECENTE	260	4	S	108
91	6,10	642	3	13,8	13,0	-0,8	S	N 7/8 SC	210	6	S	56
91	6,10	1542	2	19,7	18,2	-1,5	S	N 6/8 CU AVERSES	260	6	S	207
91	6,11	354	1	8,4	8,6	0,2	S	CLAIR	270	2	S	2
91	6,11	642	3	12,0	11,3	-0,7	S	CLAIR	250	3	S	131
91	6,11	1636	2	22,0	19,2	-2,8	S	C 4/8 CI 2/8 AC	210	4	S	190
91	6,12	224	1	11,5	11,7	0,2	S	N 7/8 AC	210	3	S	1
91	6,12	642	3	14,2	13,1	-1,1	S	N 7/8 AC	200	4	S	46
91	6,12	1500	2	22,0	19,6	-2,4	S	NUAGEUX	210	6	S	264
91	6,13	436	1	10,7	10,4	-0,3	S	N COUVERT AC	200	4	S	11
91	6,13	642	3	12,8	11,6	-1,2	S	N COUVERT AC	210	5	S	48
91	6,13	1424	2	17,3	14,8	-2,5	S	N COUVERT PLUIE	230	3	S	141
91	6,14	300	1	10,2	10,3	0,1	M	N COUVERT BRUINE	300	2	N	1
91	6,14	642	3	10,7	10,5	-0,2	M	N COUVERT BRUINE	340	2	N	34
91	6,17	648	3	10,5	10,4	-0,1	S	CLAIR	310	2	N	145
91	6,17	348	1	7,4	7,6	0,2	S	CLAIR	280	2	N	1
91	6,17	1548	2	18,9	16,9	-2,0	S	C 3/8 CU	270	4	S	255
91	6,18	400	1	8,4	8,2	-0,2	S	C 3/8 AC N 8/8 CU PLUIE	250	3	S	2
91	6,18	642	3	9,6	9,2	-0,4	S	FAIBLE	270	2	S	31

											VENT	
DATE	HEURE	N	OBS	STATIO	CORR	E	OBSERVATION ET METEORES	DD	FF	N/S	R GLO	
91	6,18	1318	2	18,4	16,3	-2,1	S	N 5/8 CU AVERSES	260	4	S	370
91	6,19	354	1	8,4	8,4	0,0	S	N 7/8 AC	220	3	S	2
91	6,19	642	3	10,5	9,6	-0,9	S	N 7/8 AC	220	3	S	42
91	6,20	336	1	10,4	10,1	-0,3	S	N COUVERT PLUIE	180	4	S	0
91	6,20	642	3	11,0	10,3	-0,7	S	N COUVERT PLUIE	160	4	S	22
91	6,21	436	1	11,0	11,3	0,3	S	C 3/8 SC	200	3	S	16
91	6,21	642	3	13,5	12,5	-1,0	S	N 7/8 SC	170	2	S	26
91	6,24	642	1	17,4	16,5	-0,9	S	N 8/8 AC	230	4	S	33
91	7,09	448	1	14,9	14,8	-0,1	S	CLAIR	290	3	N	12
91	7,09	642	3	16,4	16,0	-0,4	S	C 2/8 CU	310	3	N	121
91	7,09	1718	2	24,0	23,2	-0,8	S	C 3/8 SC	360	3	N	122
91	7,10	424	1	13,0	13,2	0,2	S	CLAIR	50	2	N	6
91	7,10	642	3	17,0	16,8	-0,2	S	CLAIR	70	4	N	127
91	7,11	348	1	17,0	18,9	1,9	S	CLAIR	150	2	S	2
91	7,11	642	3	23,0	22,5	-0,5	S	CLAIR	170	2	S	118
91	7,11	1536	2	35,2	33,6	-1,6	S	C BEAU	200	4	S	205
91	7,12	518	1	15,7	15,7	0,0	S	N 6/8 SC	290	4	N	27
91	7,12	642	3	16,2	16,1	-0,1	S	CLAIR C 2/8 AC SOLIEL RECENT	320	3	N	132
91	7,15	642	3	16,7	15,0	-1,7	S	RECENT	190	2	S	90
91	7,16	248	1	11,4	10,8	-0,6	S	C PEU NUAGEUX N AVERSE SOLIEL RECENTS	250	1	S	1
91	7,16	642	3	15,1	13,5	-1,6	S	RECENTS	300	1	N	84
91	7,17	312	1	13,0	12,8	-0,2	S	CLAIR	250	1	S	1
91	7,17	1442	2	22,9	22,2	-0,7	S	C 3/8 CU	300	4	N	244
91	7,18	142	1	14,9	14,9	0,0	S	NUAGEUX N 7/8 AC SOLEIL RECENT	140	1	S	1
91	7,18	712	3	18,2	17,0	-1,2	S	RECENT	180	2	S	34
91	7,19	336	1	14,1	13,9	-0,2	S	N 7/8 AC N 7/8 AC SOLEIL RECENT	290	3	N	2
91	7,19	642	3	15,6	14,5	-1,1	S	RECENT N 4/8 SC SOLEIL RECENT	290	5	N	71
91	7,22	642	3	18,2	17,8	-0,4	S	RECENT	60	3	N	109
91	7,22	1158	3	24,1	24,1	0,0	S	N 4/8 SC OK	60	2	N	174
91	7,23	1530	2	33,0	32,0	-1,0	S	C 3/8 AC CAS SOLEIL	230	4	S	235
91	7,24	536	1	14,0	14,4	0,4	M	N 8/8 SC N 4/8 SC PLUIE RECENT	260	3	S	17
91	7,24	642	3	15,5	15,2	-0,3	M	RECENT	260	5	S	84
91	8,05	612	3	19,9	18,6	-1,3	S	N 5/8 CI AC HAUTS	160	2	S	44
91	8,05	1448	2	31,9	30,1	-1,8	S	N 4/8 CU SC SOLEIL	190	2	S	209
91	8,06	242	1	17,3	16,8	-0,5	S	B 2/8 CI	150	1	S	1
91	8,06	612	3	20,4	19,8	-0,6	S	B 1/8 CI	180	2	S	59
91	8,06	1618	3	32,6	32,4	-0,2	S	B 1/8 CI	220	4	S	157
91	8,06	1436	2	33,9	33,0	-0,9	S	B 1/8 CI	200	3	S	242
91	8,07	448	1	17,3	17,2	-0,1	S	B 3/8 SC	360	2	N	4
91	8,07	612	3	18,2	17,8	-0,4	S	B 3/8 SC	10	3	N	54
91	8,07	1518	3	24,4	24,2	-0,2	S	N 7/8 SC	360	2	N	68
91	8,07	1318	2	27,7	25,5	-2,2	S	N 6/8 SC	20	1	N	185
91	8,08	400	1	14,6	15,4	0,8	M	N PLUIE	300	3	N	1
91	8,08	642	3	15,7	15,8	0,1	M	N PLUIE	340	4	N	17
91	8,09	642	3	13,2	13,1	-0,1	S	CLAIR	350	3	N	96
91	8,11	1542	2	29,6	29,3	-0,3	S	CLAIR	260	3	S	192
91	8,12	612	3	17,8	17,5	-0,3	S	N COUVERT	350	2	N	18
91	8,12	1618	3	23,7	22,8	-0,9	S	N 5/8 CU SC	270	1	S	116
91	8,12	1406	2	24,6	22,2	-2,4	S	N 5/8 CU SC	360	3	N	191
91	8,12	1654	2	25,3	23,3	-2,0	S	C 3/8 SC	260	2	S	107
91	8,13	442	1	13,1	13,1	0,0	S	CLAIR	260	1	S	2
91	8,13	612	3	15,0	14,5	-0,5	S	C 1/8 SC	330	2	N	50
91	8,13	1542	3	25,7	26,2	0,5	S	C 2/8 SC 3/8 CI	320	2	N	123

											VENT	
DATE	HEURE	N	OBS	STATIO	CORR	E	OBSERVATION ET METEORES	DD	FF	N/S	R GLO	
91	8,13	1530	2	27,0	26,6	-0,4	S C 2/8 SC 3/8 CI	30	3	N	214	
91	8,14	612	3	17,2	16,7	-0,5	S C 3/8 SC	10	1	N	36	
91	8,14	506	1	15,3	15,6	0,3	S C 3/8 SC	30	2	N	6	
91	8,14	1618	3	27,4	27,5	0,1	S C 3/8 CU	240	1	S	68	
91	8,14	1548	2	29,7	28,8	-0,9	S C 3/8 CU	200	2	S	163	
91	8,15	1348	2	30,3	30,5	0,2	S CLAIR	230	3	S	273	
91	8,16	218	1	13,9	14,1	0,2	S N 8/8 SC COUVERT	310	1	N	1	
91	8,16	606	3	16,1	15,3	-0,8	S N 8/8 SC COUVERT	260	2	S	12	
91	9,02	642	3	17,5	17,1	-0,4	M N 8 BROUILLARD	200	1	S	15	
91	9,02	1348	2	24,3	22,6	-1,7	S N 4/8 SC BRUME	180	3	S	254	
91	9,03	642	3	17,0	16,4	-0,6	M CLAIR BRUME	60	1	N	56	
91	9,03	454	1	13,7	14,3	0,6	S CLAIR BRUME	10	1	N	1	
91	9,03	1530	2	28,0	27,6	-0,4	S C 2/8 CU	60	3	N	170	
91	9,04	642	3	18,4	18,0	-0,4	S CLAIR	60	1	N	53	
91	9,04	1318	2	29,4	29,5	0,1	S CLAIR	40	5	N	227	
91	9,05	436	1	15,0	15,2	0,2	S CLAIR BRUME	10	2	N	1	
91	9,05	642	3	16,0	16,0	0,0	S CLAIR BRUME	10	3	N	46	
91	9,05	1454	2	26,5	27,0	0,5	S CLAIR BRUME	20	4	N	164	
91	9,06	518	1	14,1	14,2	0,1	S C BRUME	10	3	N	2	
91	9,06	642	3	14,8	14,6	-0,2	S N 5/8 SC BRUME	10	4	N	29	
91	9,09	642	3	13,1	13,6	0,5	S C 1/8 CI	80	3	N	57	
92	8,12	642	3	15,6	14,9	-0,7	S C 2/8 CI	220	5	S	83	
92	8,12	736	3	17,6	16,8	-0,8	S C 1/8 CU 2/8 CI	210	4	S	141	
92	8,14	642	3	15,5	15,4	-0,1	M N COUVERT PLUIE N COUVERT PLUIE	310	4	N	12	
92	8,17	642	3	15,3	15,1	-0,2	S RECENTE	360	1	N	29	
92	8,20	348	1	20,0	19,8	-0,2	S N 7/8 AC 2/8 CU N 7/8 AC 3/8 SC	190	2	S	2	
92	8,20	648	3	21,0	20,5	-0,5	S GOUTTES N 7/8 AC 3/8 CB	270	3	S	19	
92	8,20	1342	3	21,0	20,8	-0,2	M ORAGE C 1/8 CU 1/8 AC 1/8	210	3	S	35	
92	8,20	1542	3	22,4	22,1	-0,3	S CI N COUVERT PLUIE	270	5	S	155	
92	8,21	530	1	16,7	16,5	-0,2	S AVANT N COUVERT PLUIE	360	1	N	4	
92	8,21	642	3	17,4	16,8	-0,6	S AVANT	360	1	N	24	
92	8,24	612	3	17,7	17,4	-0,3	S N COUVERT BRUINE	220	4	S	4	
92	8,24	1530	3	25,3	24,3	-1,0	S N 5/8 SC	230	6	S	91	
92	8,25	330	1	14,8	14,6	-0,2	S C 1/8 SC	220	2	S	0	
92	8,25	642	3	16,7	16,0	-0,7	S C 3/8 SC	220	3	S	49	
92	8,26	306	1	15,5	15,5	0,0	S C 2/8 AC	230	1	S	1	
92	8,26	642	3	18,0	17,1	-0,9	S N 7/8 AC COUVERT	240	1	S	18	
92	8,26	1348	3	23,7	23,0	-0,7	S N COUVERT N COUVERT AC ET	230	4	S	48	
92	8,26	1548	3	23,5	23,1	-0,4	S SC	220	6	S	67	
92	8,27	454	1	16,7	16,7	0,0	S N 3/8 AC 4/8 SC	200	3	S	1	
92	8,27	642	3	18,6	18,2	-0,4	S NUAGEUX AC ET SC NUAGEUX CU	200	4	S	28	
92	8,27	1548	3	21,8	21,3	-0,5	S AVERSE RECENTE	240	3	S	62	
92	8,28	500	1	17,5	17,4	-0,1	S NUAGEUX CU ET SC NUAGEUX CU ET SC	200	2	S	1	
92	8,28	642	3	18,4	17,6	-0,8	S AVERSE RECENTE N COUVERT PAR AC	180	3	S	46	
92	8,28	1436	3	19,3	18,7	-0,6	S QQ SC N COUVERT AC ET	340	2	N	37	
92	8,31	624	3	13,8	13,1	-0,7	S SC GOUTTES	180	2	S	8	
92	9,01	636	3	9,8	9,6	-0,2	S NUAGEUX PAR AC	220	4	S	67	
92	9,01	436	1	8,4	8,4	0,0	S CLAIR	230	2	S	0	
92	9,01	1257	3	15,5	15,5	0,0	S NUAGEUX AC ET CU	240	5	S	180	
92	9,02	500	1	11,2	10,9	-0,3	S CLAIR	190	3	S	1	
92	9,03	642	3	14,7	14,3	-0,4	S NUAGEUX PAR AC ET	260	3	S	34	

DATE	HEURE	N	OBS	STATIO	CORR	E	OBSERVATION ET METEORES SC	VENT				
								DD	FF	N/S	R GLO	
92	9,04	436	1	9,8	9,8	0,0	S	C 3/8 SC	260	4	S	0
92	9,04	648	3	10,5	10,2	-0,3	S	C 3/8 SC	270	6	S	64
92	9,06	500	1	6,4	6,2	-0,2	S	CLAIR	160	1	S	0
92	9,07	642	3	12,6	12,2	-0,4	S	C 3/8 AC	210	2	S	35
92	9,08	112	1	7,6	6,8	-0,8	S	N 4/8 AC	220	1	S	0
92	9,08	642	3	10,5	10,1	-0,4	S	C 3/8 AC	220	2	S	51
92	9,08	1130	3	17,4	17,6	0,2	S	C 3/8 CU	230	3	S	282
92	9,09	454	1	6,2	5,7	-0,5	S	CLAIR	230	1	S	0
92	9,09	642	3	9,4	8,3	-1,1	S	CLAIR	0	0		44
92	9,10	248	1	7,5	7,3	-0,2	S	CLAIR	140	1	S	0
92	9,10	648	3	10,2	9,7	-0,5	S	CLAIR	130	1	S	40
92	9,11	648	3	14,5	13,9	-0,6	S	NUAGEUX PAR AC N COUVERT PLUIE	180	3	S	34
92	9,14	648	3	13,2	12,9	-0,3	S	RECENTE N COUVERT RECENT	220	3	S	5
92	9,18	642	3	14,1	13,5	-0,6	S	PAR SC N COUVERT FBLE	200	2	S	17
92	9,18	1612	3	16,2	16,2	0,0	S	PLUIE RECENTE	210	3	S	71
92	9,25	1130	3	20,0	20,6	0,6	S	C 3/8 CI	150	4	S	227
92	9,28	742	3	14,2	14,4	0,2	M	N COUVERT PLUIE	80	3	N	7
92	9,29	512	1	9,6	9,3	-0,3	S	NUAGEUX PAR SC N BROUILLARD	230	1	S	1
92	9,29	736	3	12,1	11,2	-0,9	S	STRATUS N TRES NUAGEUX	210	2	S	28
92	9,30	742	3	14,5	13,9	-0,6	S	PAR SC	220	2	S	52
92	10,05	736	3	9,1	9,0	-0,1	S	N COUVERT PAR SC	10	4	N	5
92	10,05	2200	1	7,4	7,7	0,3	S	N COUVERT PAR ST N COUVERT PLUIE	360	4	N	0
92	10,06	736	3	9,0	9,0	0,0	M	FAIBLE N COUVERT ST PLUIE	350	3	N	3
92	10,07	742	3	10,3	10,4	0,1	M	FAIBLE	50	4	N	7
92	11,25	742	3	9,5	9,4	-0,1	S	C 1/8 AC	200	4	S	7
92	11,26	736	3	9,3	9,3	0,0	S	N 6/8 AC HAUTS	240	4	S	3
92	11,27	736	3	2,8	3,0	0,2	S	CLAIR	190	2	S	5
92	12,01	736	3	4,4	4,1	-0,3	S	CLAIR	190	2	S	3
92	12,02	736	3	9,5	9,4	-0,1	S	N COUVERT PLUIE	180	7	S	0
92	12,08	736	3	1,0	0,7	-0,3	M	N BROUILLARD	360	2	N	1
92	12,28	736	3	-2,2	-1,8	0,4	S	CLAIR	60	4	N	0
92	12,29	736	3	-4,3	-3,5	0,8	S	CLAIR	70	3	N	1
92	12,30	730	3	-6,0	-6,2	-0,2	S	CLAIR	130	1	S	0
93	1,05	742	3	0,7	0,4	-0,3	S	N COUVERT N COUVERT	170	4	S	2
93	1,06	742	3	5,6	5,6	0,0	M	BROUILLARD N COUVERT PLUIE	200	5	S	1
93	1,12	742	3	6,5	6,7	0,2	M	RECENTE N COUVERT AC	260	3	S	2
93	1,13	742	3	4,5	3,7	-0,8	S	PLUIE FAIBLE	160	3	S	1
93	1,14	742	3	6,9	6,9	0,0	S	NUAGEUX AC SC	220	4	S	1
93	1,15	742	3	7,5	7,5	0,0	S	N COUVERT AC N COUVERT AC	170	2	S	0
93	1,18	800	3	5,8	5,7	-0,1	M	PLUIE RECENTE	220	2	S	2
93	1,19	736	3	5,5	5,3	-0,2	S	N COUVERT SC	210	4	S	1
93	1,20	736	3	9,0	8,9	-0,1	S	N COUVERT	190	3	S	1
93	1,25	736	3	4,7	4,8	0,1	S	C 2/8 SC	310	4	N	2
93	1,26	736	3	0,4	-0,3	-0,7	S	C 3/8 SC	280	2	N	2
93	1,27	736	3	8,5	8,6	0,1	M	N COUVERT BRUME	270	5	S	2
93	1,28	736	3	6,4	6,4	0,0	M	C 2/8 SC 3/8 CI	220	3	S	3
93	1,29	736	3	6,2	6,4	0,2	S	C BRUME 2/8 AC	230	2	S	3
93	2,02	736	3	2,3	1,6	-0,7	S	N BROUILLARD	0	0		4
93	2,03	736	3	1,5	1,2	-0,3	M	N BROUILLARD	30	2	N	2
93	2,03	1118	3	2,2	1,8	-0,4	M	N BROUILLARD	10	2	N	42

DATE	HEURE	N	OBS	STATIO	CORR	E	OBSERVATION ET METEORES N COUVERT	VENT			
								DD	FF	N/S	R GLO
93	2,04	736	3	1,0	0,2	-0,8	S STRATUS	130	2	S	3
93	2,05	736	3	-1,7	-2,5	-0,8	S N BROUILLARD	160	1	S	6
93	2,08	736	3	5,5	5,0	-0,5	M N BROUILLARD N COUVERT	70	3	N	3
93	2,09	742	3	3,0	2,6	-0,4	S STRATUS N COUVERT	90	2	S	3
93	2,10	742	3	1,8	1,1	-0,7	S STRATUS LEGER BROUILLARD N COUVERT	110	2	S	5
93	2,11	736	3	2,2	1,6	-0,6	S STRATUS BROUILLARD	120	3	S	5
93	2,12	736	3	2,3	1,7	-0,6	M N BROUILLARD CLAIR BANC	100	2	S	6
93	2,15	736	3	-1,5	-2,0	-0,5	M BROUILLARD GELEE BLANCHE N COUVERT	340	1	N	11
93	2,17	736	3	5,0	4,8	-0,2	M STRATUS BRUINE BROUILLARD	270	3	S	2
93	2,18	736	3	4,6	4,2	-0,4	S N COUVERT	330	1	N	6
93	3,03	736	3	0,3	-0,1	-0,4	S N 5/8 SC BRUME	350	2	N	22
93	3,05	736	3	0,6	-0,1	-0,7	S N 7/8 SC	320	1	N	26
93	3,08	736	3	3,6	3,7	0,1	S CLAIR	80	3	N	55
93	3,09	812	3	0,6	0,7	0,1	S CLAIR	110	4	S	97
93	3,12	736	3	5,6	6,6	1,0	S CLAIR	200	1	S	54
93	3,15	736	3	7,0	7,3	0,3	S CLAIR	160	1	S	62
93	3,16	736	3	9,6	9,5	-0,1	S CLAIR	250	3	S	62
93	3,23	736	3	6,0	5,8	-0,2	S CLAIR	280	2	N	69
93	3,23	618	1	4,8	4,3	-0,5	S CLAIR	290	1	N	10
93	3,24	554	1	2,5	2,8	0,3	S CLAIR	340	2	N	2
93	3,24	736	3	4,5	3,8	-0,7	S CLAIR	340	2	N	86
93	3,24	1148	3	9,7	9,4	-0,3	S N 4/8 CU	350	5	N	107
93	3,24	1500	3	10,0	10,4	0,4	S N 6/8 CU SC	340	5	N	200
93	3,24	1648	3	8,5	9,1	0,6	S C 2/8 SC	350	6	N	74
93	3,25	536	1	1,0	1,0	0,0	S C CLAIR	300	1	N	0
93	3,25	736	3	3,8	3,1	-0,7	S C 1/8 CU BRUME	360	4	N	83
93	3,25	1506	3	9,2	9,7	0,5	S N 4/8 CU	10	5	N	235
93	3,29	642	3	1,6	0,4	-1,2	S N 7/8 SC	160	2	S	23
93	3,30	642	3	7,6	7,1	-0,5	S N COUVERT ST LEGER BROUILLARD	200	2	S	23
93	3,30	1406	3	14,8	14,7	-0,1	S C 3/8 CI	190	3	S	245
93	3,30	1548	3	14,1	14,9	0,8	S C 2/8 CI	210	4	S	153
93	3,31	536	3	5,5	6,2	0,7	S C 4/8 CI BRUME	190	2	S	1
93	3,31	642	3	7,2	7,0	-0,2	S C 4/8 CI BRUME	180	2	S	42
93	3,31	1548	3	20,6	20,8	0,2	S N 3/8 CU 3/8 AS 5/8 CI	220	6	S	109
93	4,01	606	1	7,3	7,4	0,1	S N COUVERT SC N COUVERT SC	190	2	S	6
93	4,01	700	3	8,4	7,5	-0,9	S PLUIE RECENTE	180	3	S	12
93	4,02	554	1	1,7	1,3	-0,4	S CLAIR	220	2	S	9
93	4,02	642	3	3,6	2,0	-1,6	S CLAIR	210	1	S	43
93	4,02	754	3	5,5	5,2	-0,3	S C 1/8 CU 2/8 CI	260	2	S	135
93	4,07	1124	3	10,6	10,3	-0,3	S N COUVERT SC	230	3	S	46
93	4,07	1124	4	11,0	10,3	-0,7	S N COUVERT SC	230	3	S	46
93	4,14	642	3	8,3	7,7	-0,6	S N COUVERT BRUINE	100	3	S	24
93	4,19	642	3	11,6	10,9	-0,7	S N 6/8 SC	220	2	S	55
93	4,19	642	4	11,8	10,9	-0,9	S N 6/8 SC	220	2	S	55
93	4,19	1548	3	18,7	18,1	-0,6	S B 3/8 CI, 2/8 SC	170	3	S	171
93	4,19	1548	4	19,4	18,1	-1,3	S B 3/8 CI, 2/8 SC	170	3	S	171
93	1,29	1530	3	10,7	11,0	0,3	S B 4/8 SC	270	1	S	48
93	4,20	824	3	15,5	16,0	0,5	S B CLAIR	220	2	S	209
93	4,20	1548	3	23,0	23,9	0,9	S B 3/8 CI	230	3	S	118



											VENT	
DATE	HEURE	N	OBS	STATIO	CORR	E	OBSERVATION ET METEORES	DD	FF	N/S	R GLO	
93	4,21	636	3	13,6	13,2	-0,4	S B 3/8 AC 2/8 CI N 7/8 AS	210	2	S	86	
93	4,21	1130	3	20,5	19,9	-0,6	S TRANSLUCIDES	210	4	S	285	
93	4,21	1548	3	21,3	21,0	-0,3	S B 2/8 SC	190	3	S	183	
93	4,22	642	3	12,0	11,5	-0,5	S N COUVERT ST SC	200	2	S	19	
93	4,22	1548	3	15,3	14,8	-0,5	S N 6/8 CU	210	4	S	57	
93	4,23	654	3	11,0	9,9	-1,1	S B 4/8 CI BRUME	170	2	S	86	
93	4,23	1436	3	20,9	19,7	-1,2	S N 4/8 CU	150	3	S	202	
93	4,26	636	3	10,0	9,4	-0,6	S N 7/8 SC	130	2	S	43	
93	4,26	1548	3	18,7	17,6	-1,1	S N 4/8 CU 6/8 CI	140	5	S	168	
93	4,27	630	3	12,8	12,5	-0,3	S N 7/8 AS AC	280	1	N	28	
93	4,28	636	3	13,8	13,5	-0,3	S B CLAIR BRUME	20	3	N	80	
93	4,28	1548	3	24,6	24,5	-0,1	S B 2/8 CU	80	5	N	175	
93	4,29	636	3	15,0	14,5	-0,5	S B 2/8 CU BRUME	200	2	S	84	
93	4,29	1548	3	21,5	21,5	0,0	S B 3/8 CU	340	2	N	213	
93	4,30	1321	3	20,5	19,6	-0,9	S N 7/8 CU	310	4	N	260	
93	4,20	824	4	16,1	16,0	-0,1	S B CLAIR	220	2	S	209	
93	4,20	1548	4	23,5	23,9	0,4	S B 3/8 CI	230	3	S	118	
93	4,21	636	4	14,0	13,2	-0,8	S B 3/8 AC 2/8 CI N 7/8 AS	210	2	S	86	
93	4,21	1130	4	20,9	19,9	-1,0	S TRANSLUCIDES	210	4	S	285	
93	4,21	1548	4	21,8	21,0	-0,8	S B 2/8 SC	190	3	S	183	
93	4,22	642	4	12,1	11,5	-0,6	S N COUVERT ST SC	200	2	S	19	
93	4,22	1548	4	15,7	14,8	-0,9	S N 6/8 CU	210	4	S	57	
93	4,23	654	4	11,4	9,9	-1,5	S B 4/8 CI BRUME	170	2	S	86	
93	4,23	1436	4	21,4	19,7	-1,7	S N 4/8 CU	150	3	S	202	
93	4,26	636	4	10,4	9,4	-1,0	S N 7/8 SC	130	2	S	43	
93	4,26	1548	4	19,3	17,6	-1,7	S N 4/8 CU 6/8 CI	140	5	S	168	
93	4,27	630	4	13,1	12,5	-0,6	S N 7/8 AS AC	280	1	N	28	
93	4,28	636	4	14,2	13,5	-0,7	S B CLAIR BRUME	20	3	N	80	
93	4,28	1548	4	25,2	24,5	-0,7	S B 2/8 CU	80	5	N	175	
93	4,29	636	4	15,4	14,5	-0,9	S B 2/8 CU BRUME	200	2	S	84	
93	4,29	1548	4	22,2	21,5	-0,7	S B 3/8 CU	340	2	N	213	
93	4,30	1321	4	20,9	19,6	-1,3	S N 7/8 CU	310	4	N	260	
93	5,03	636	3	9,5	9,1	-0,4	S N 7/8 SC	30	3	N	55	
93	5,03	636	4	9,6	9,1	-0,5	S N 7/8 SC	30	3	N	55	
93	5,04	624	3	8,5	8,1	-0,4	S B CLAIR BRUME	20	3	N	71	
93	5,04	624	4	8,9	8,1	-0,8	S B CLAIR BRUME	20	3	N	71	
93	5,04	1548	3	15,7	15,5	-0,2	S N 6/8 CU SC	30	4	N	129	
93	5,04	1548	4	16,3	15,5	-0,8	S N 6/8 CU SC	30	4	N	129	
93	5,05	636	3	7,7	7,4	-0,3	S B CLAIR	30	3	N	100	
93	5,05	636	3	8,1	7,4	-0,7	S B CLAIR	30	3	N	100	
93	5,05	1548	3	16,8	16,9	0,1	S B 2/8 CI 1/8 CU	70	5	N	221	
93	5,05	1548	4	17,3	16,9	-0,4	S B 2/8 CI 1/8 CU	70	5	N	221	
93	5,06	636	3	7,3	7,2	-0,1	S B CLAIR	30	4	N	104	
93	5,06	636	4	7,7	7,2	-0,5	S B CLAIR	30	4	N	104	
93	5,06	1548	3	16,0	16,5	0,5	S N 5/8 CU	20	4	N	211	
93	5,06	1548	4	16,5	16,5	0,0	S N 5/8 CU	20	4	N	211	
93	5,07	636	3	9,0	8,7	-0,3	S N COUVERT SC	30	4	N	26	
93	5,07	636	4	9,2	8,7	-0,5	S N COUVERT SC	30	4	N	26	
93	5,10	636	3	11,8	11,1	-0,7	S B CLAIR	50	2	N	108	
93	5,10	636	4	12,5	11,1	-1,4	S B CLAIR	50	2	N	108	
93	5,10	1548	3	23,7	23,2	-0,5	S B 1/8 AC 1/8 CU	100	3	S	220	
93	5,10	1548	4	24,4	23,2	-1,2	S B 1/8 AC 1/8 CU	100	3	S	220	
93	5,11	642	3	15,6	14,9	-0,7	S N 7/8 AC 4/8 SC	40	2	N	58	
93	5,11	642	4	16,0	14,9	-1,1	S N 7/8 AC 4/8 SC	40	2	N	58	
93	5,12	636	3	13,5	12,9	-0,6	S N 3/8 AC 2/8 ST	300	3	N	66	

											VENT	
DATE	HEURE	N	OBS	STATIO	CORR	E	OBSERVATION ET METEORES	DD	FF	N/S	R GLO	
93	5,12	636	4	14,0	12,9	-1,1	S N 3/8 AC 2/8 ST	300	3	N	66	
93	5,13	636	3	11,0	10,5	-0,5	S N COUVERT SC	340	3	N	41	
93	5,13	636	4	11,2	10,5	-0,7	S N COUVERT SC	340	3	N	41	
93	5,13	1548	3	13,6	13,2	-0,4	S N COUVERT SC	330	3	N	66	
93	5,13	1548	4	13,9	13,2	-0,7	S N COUVERT SC	330	3	N	66	
93	5,14	636	3	12,6	11,9	-0,7	S N 4/8 SC BRUME	250	3	S	71	
93	5,14	636	4	12,9	11,9	-1,0	S N 4/8 SC BRUME	250	3	S	71	
93	5,17	642	3	15,1	14,5	-0,6	S B 1/8 CI	170	3	S	138	
93	5,17	642	4	15,7	14,5	-1,2	S B 1/8 CI	170	3	S	138	
93	5,17	1548	3	24,4	23,0	-1,4	S N 6/8 AC	160	5	S	127	
93	5,17	1548	4	25,0	23,0	-2,0	S N 6/8 AC	160	5	S	127	
93	5,18	636	3	15,2	14,6	-0,6	S N COUVERT AC PLUIE RECENTE	200	2	S	42	
93	5,18	636	4	15,5	14,6	-0,9	S N COUVERT AC PLUIE RECENTE	200	2	S	42	
93	5,18	1548	3	18,2	17,1	-1,1	S N 7/8 CU SC	170	2	S	50	
93	5,18	1548	4	18,6	17,1	-1,5	S N 7/8 CU SC	170	2	S	50	
93	5,19	642	3	12,7	12,3	-0,4	S B 1/8 CU 3/8 CS	280	3	N	150	
93	5,19	642	4	13,3	12,3	-1,0	S B 1/8 CU 3/8 CS	280	3	N	150	
93	5,25	642	3	20,4	19,6	-0,8	S N 6/8 AC	90	2	N	76	
93	5,25	642	4	20,8	19,6	-1,2	S N 6/8 AC	90	2	N	76	
93	5,26	642	3	19,7	19,1	-0,6	S N 6/8 AC	200	3	S	58	
93	5,26	642	4	20,2	19,1	-1,1	S N 6/8 AC	200	3	S	58	
93	5,27	712	3	15,7	14,5	-1,2	S N 6/8 CU SC	230	1	S	125	
93	5,27	712	4	16,2	14,5	-1,7	S N 6/8 CU SC	230	1	S	125	
93	5,27	1518	3	19,6	18,9	-0,7	S N 7/8 CU SC	210	2	S	37	
93	5,27	1518	4	20,0	18,9	-1,1	S N 7/8 CU SC	210	2	S	37	
93	5,28	636	3	12,7	12,1	-0,6	S N COUVERT SC	290	3	N	47	
93	5,28	636	4	12,9	12,1	-0,8	S N COUVERT SC	290	3	N	47	
93	6,01	700	3	17,1	15,6	-1,5	S B 2/8 CI	160	2	S	157	
93	6,01	700	4	17,8	15,6	-2,2	S B 2/8 CI	160	2	S	157	
93	6,01	900	3	19,4	18,9	-0,5	S B 3/8 CI	220	6	S	296	
93	6,01	900	4	20,0	18,9	-1,1	S B 3/8 CI	220	6	S	296	
93	6,01	1518	3	23,7	22,3	-1,4	S B 1/8 CI 2/8 CU	130	1	S	239	
93	6,01	1518	4	24,4	22,3	-2,1	S B 1/8 CI 2/8 CU	130	1	S	239	
93	6,02	639	3	14,5	13,7	-0,8	S N 7/8 SC	230	4	S	32	
93	6,02	639	4	14,6	13,7	-0,9	S N 7/8 SC	230	4	S	32	
93	6,02	1548	3	15,3	14,9	-0,4	S N 7/8 CU PLUIE FAIBLE	270	5	S	48	
93	6,02	1548	4	15,7	14,9	-0,8	S N 7/8 CU PLUIE FAIBLE	270	5	S	48	
93	6,03	642	3	13,8	12,9	-0,9	S N COUVERT SC	280	3	N	39	
93	6,03	642	4	14,0	12,9	-1,1	S N COUVERT SC	280	3	N	39	
93	6,03	1548	3	16,4	15,5	-0,9	S N 7/8 SC	330	4	N	105	
93	6,03	1548	4	16,9	15,5	-1,4	S N 7/8 SC	330	4	N	105	
93	6,04	636	3	15,0	14,0	-1,0	S N 7/8 SC	30	2	N	42	
93	6,04	636	4	15,3	14,0	-1,3	S N 7/8 SC	30	2	N	42	
93	3,24	1148	4	10,0	9,4	-0,6	S N 4/8 CU	350	5	N	107	
93	3,25	1506	4	9,5	9,7	0,2	S N 4/8 CU	10	5	N	235	
93	3,30	1406	4	15,0	14,7	-0,3	S B 3/8 CI	190	3	S	245	
93	3,30	1548	4	14,3	14,9	0,6	S B 2/8 CI	210	4	S	153	
93	3,31	1548	4	21,0	20,8	-0,2	S N 3/8 CU 3/8 AS 5/8 CI	220	6	S	109	

Nombre d'observations

457

## 4.2 ETUDE STATISTIQUE

La température observée au nord d'un édifice à l'air libre subit directement les influences du climat. Nous allons rechercher quels en sont les facteurs, à quel moment ils sont sensibles et quelle est l'importance de leurs effets afin d'essayer de répondre aux questions qui reviennent à chaque fois que le problème des observations anciennes est posé. Est-il possible de comparer les observations anciennes avec d'autres observations, quelles soient anciennes ou récentes? Peut-on corriger les données mensuelles brutes, ou doit-on ajuster chaque observation afin de rendre les deux modes d'observation comparables? Quelles sont les limites que l'on peut atteindre? Quelle série doit être corrigée?

Au terme de cette étude, un principe de base pour l'étude de la comparaison des séries thermiques sera énoncé. Il définit l'attitude à adopter face au délicat problème de la comparaison des températures observées avant l'existence de l'abri météorologique.

Cette étude nécessite l'utilisation des paramètres statistiques suivants :

La moyenne ( $m$ ) d'une série qui comprend  $N$  valeurs  $x_i$  :

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i}{N}$$

L'écart type ( $\sigma$ ), racine carrée de la moyenne des carrés des écarts, est calculé ainsi :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - m)^2}{N - 1}}$$

Dans une distribution normale ou distribution gaussienne, 95% des valeurs sont comprises entre  $m-2\sigma$  et  $m+2\sigma$ .

### *ANALYSE GLOBALE DES DONNEES*

Les températures mesurées avec un thermomètre accroché à un mur exposé au nord sont plus élevées de  $0,44^{\circ}\text{C}$  en moyenne que celles mesurées dans un abri météorologique (457 observations). Cette affirmation contraire aux effets perçus par le corps humain qui fait croire l'inverse est bien réelle. Les sensations de chaud, de froid que nous ressentons sont activées par le vent, notamment sa vitesse, l'humidité de l'air, le rayonnement, et enfin notre état pathologique. Notre corps capte tous ces effets, et la sensation ressentie est une synthèse intégrée à notre métabolisme. Cela n'a rien de comparable avec un instrument qui a sa propre loi de rayonnement. A l'air libre le thermomètre n'est pas protégé des rayonnements qu'il reçoit. Celui qu'il absorbe se transforme en chaleur. Il est normal qu'il indique une température plus élevée que celle de l'air sous abri.

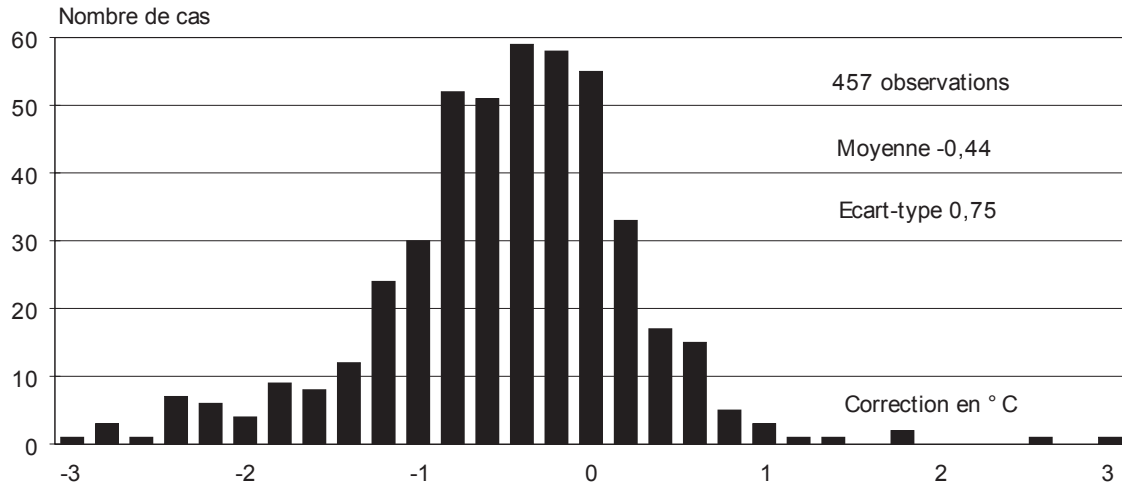


Fig 4.8 Histogramme des corrections à effectuer pour obtenir les températures sous abri. Toutes observations (457).

L'écart type ( $\sigma$ )  $0,8^{\circ}\text{C}$ , élevé, est signe d'une dispersion notable. Celle-ci est voisine de  $5^{\circ}\text{C}$ . Les corrections vont de  $-3^{\circ}\text{C}$  à  $+2^{\circ}\text{C}$ , excepté quelques cas isolés vers  $3^{\circ}\text{C}$ .

L'allure générale de l'histogramme des corrections ( $t$ ) proche d'une distribution normale présente une dissymétrie à gauche. Pour 21 observations, la correction est inférieure à  $-1,9^{\circ}\text{C}$  (inférieure à  $m-2\sigma$ ), soit pour 4,6% de la population de l'échantillon. Les corrections positives qui dépassent  $1,3^{\circ}\text{C}$  ( $m+2\sigma$ ) sont au nombre de 6 soit 1,3% dans ce cas, c'est ce qui est attendu dans une distribution gaussienne (Fig 4.8).

L'intervalle de chaque classe de l'histogramme est de  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Comme les températures sont lues au dixième de degré, les écarts de température, entre l'observation sous abri et celle contre un mur orienté au nord, sont calculés au dixième de degré. La population de chaque classe est constituée du nombre de cas observés pour un écart thermique pair augmenté du nombre

de cas pour l'écart thermique immédiatement supérieur. A titre d'exemple, la classe  $0^{\circ}\text{C}$  correspond aux observations pour lesquelles la différence entre les deux températures observées est, de  $0,0^{\circ}\text{C}$  et de  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

ANGOT (6) a été amené à effectuer un travail de comparaison analogue lorsqu'il a entrepris d'établir les moyennes des températures pour une période de 50 années de 1851 à 1900. Pour Bruxelles, il a déterminé une correction moyenne mensuelle obtenue entre les observations effectuées avec un thermomètre exposé à une fenêtre de l'Observatoire de Bruxelles, et les mesures effectuées dans un abri STEVENSON à partir des températures minimales et maximales. L'écart moyen annuel de  $0,26^{\circ}\text{C}$  confirme les résultats trouvés à Trappes. Les températures lues sur un thermomètre exposé contre un mur orienté au nord sont plus élevées que celles observées sous abri. Pour ANGOT, les différences mensuelles entre les deux séries thermiques sont comprises entre  $- 0,63^{\circ}\text{C}$  et  $+ 0,04^{\circ}\text{C}$ . Les corrections les plus élevées doivent s'effectuer au printemps, les plus faibles en été et en automne.

Des résultats analogues sont obtenus à Trappes. Le graphique (Fig 4.9) des corrections mensuelles à effectuer pour obtenir la température réelle, (auquel est joint l'écart type correspondant), confirme la variation saisonnière. Les corrections à apporter aux mesures effectuées et la dispersion sont les plus élevées au printemps et au début de l'été. Au printemps, l'atmosphère, dans notre hémisphère, se réchauffe,

et le soleil aux mois de juin et juillet principalement, éclaire le mur nord de l'édifice (Fig 4.9).

L'analogie des résultats avec ceux d'ANGOT, confirme d'une part que les conditions d'observation de la température à Trappes sont très proches de celles du XVIII<sup>e</sup> siècle, et d'autre part valide la série des mesures.

Le chauffage du bâtiment ne se perçoit pas. S'il en était ainsi, la plus forte différence avec les températures sous abri aurait lieu en hiver. Le fait que celles observées contre un mur orienté au nord soient plus élevées que celles sous abri s'ajouterait à l'effet thermique du bâtiment; or l'effet inverse est observé.

Les moyens actuels d'observation de l'atmosphère permettent d'approfondir cette étude, de rechercher si l'explication peut être trouvée dans le détail. La variation saisonnière doit avoir ses causes. L'idée de correction globale mensuelle est abandonnée.

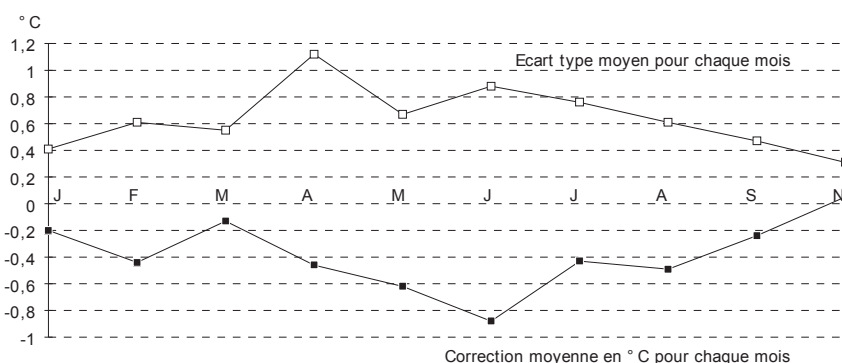


Fig 4.9 Moyennes, pour chaque mois, des corrections à effectuer à la température observée au nord pour obtenir celle sous abri.

## ANALYSE DETAILLEE

L'échantillon des 457 observations présente une anomalie, du côté des corrections négatives, de valeur élevée. En effet, pour près de 5% des mesures, les écarts s'écartent de la moyenne diminuée du double de l'écart type ( $t < m - 2\sigma$ ). Ces 21 observations, pour lesquelles la correction est inférieure à  $-2^{\circ}\text{C}$  ( $t \leq -2.0^{\circ}\text{C}$ ), proviennent essentiellement des températures maximales (14 cas). Les 7 autres valeurs sont obtenues pour des observations à des moments donnés de la journée. Il n'y a pas d'observation de températures minimales. Enfin, 17 observations furent effectuées avec un thermomètre à mercure, 4 avec un thermomètre au toluène.

Le tableau suivant (Tab 4.1) indique, pour chacun des différents types d'observation, la moyenne des corrections à effectuer et la dispersion ( $\sigma$ ). Les observations instantanées faites avec un thermomètre à mercure sont séparées de celles provenant d'un thermomètre au toluène.

Observations	Nombre d'observations	Correction moyenne en $^{\circ}\text{C}$	Dispersion en $^{\circ}\text{C}$
Toutes observations	457	-0,44	0,75
Températures minimales (cas 1) Thermomètre au toluène	86	+0,11	0,53
Températures maximales (cas 2) Thermomètre à mercure	58	-1,14	0,90
Observations instantannées (cas 3) Thermomètre au toluène	256	-0,36	0,62
Observations instantannées (cas 4) Thermomètre à mercure	57	-0,91	0,56

Tab 4.1 Corrections et dispersions observées sur les mesures effectuées, pour obtenir la température réelle suivant le type d'observation.



Les corrections à effectuer sur les températures observées contre un mur orienté au nord ainsi que la dispersion, varient suivant le thermomètre et le type d'observation. Les corrections sont les plus importantes pour les observations faites avec un thermomètre à mercure (Supérieures à 1°C pour les températures maximales). Elles sont de sens opposé pour les températures minimales, mais la valeur est très faible.

Les histogrammes des corrections à effectuer sur les températures observées pour obtenir celles sous abri, sont proches d'une distribution normale pour les températures minimales (Fig 4.10) et pour les observations instantanées (Fig 4.11). Elles sont toutes les deux effectuées avec un thermomètre au toluène.

Une dissymétrie à gauche apparaît dans les histogrammes obtenus à partir des mesures faites avec le thermomètre à mercure (Fig 4.12, observations instantanées). L'histogramme des corrections à effectuer sur les températures maximales pour obtenir les températures sous abri est très plat (Fig 4.13). Il se présente comme la superposition de deux populations distinctes.

Ces résultats dénotent l'influence du rayonnement de l'atmosphère sur les thermomètres. A l'air libre, ils ne sont pas protégés des différentes sources de rayonnements : atmosphérique, des nuages, du support, de l'édifice, du sol et de l'environnement. Le thermomètre utilisé absorbera de manière différente le rayonnement qu'il reçoit selon sa nature (toluène ou mercure). Le pouvoir d'absorption du mercure est plus élevé

que celui du toluène. L'opacité et la conductabilité du mercure, propriétés que ne possède pas le toluène, sont à l'origine des principales différences de comportement.

Le thermomètre à maxima est à mercure, celui à minima est au toluène. Ceci explique l'importante différence des corrections à effectuer selon l'origine des mesures.

Les observations comparées faites à Trappes avec deux thermomètres à lecture directe ont montré que la température lue sur un thermomètre à mercure est toujours supérieure ou égale à celle indiquée par un thermomètre au toluène lorsqu'ils sont à l'air libre. La différence entre les deux thermomètres distants de 4cm peut atteindre jusqu'à 1°C aussi bien le matin que l'après midi. L'inversion des deux thermomètres sur leur support est sans influence.

Ces premiers résultats sont fondamentaux pour l'étude des séries anciennes. Les mesures faites à l'air libre avec deux thermomètres différents (l'un au toluène, l'autre à mercure) sans qu'il y ait modification des conditions d'observation ne peuvent directement être comparées entre elles. Un traitement de l'une des séries s'impose. L'importance du rayonnement sur le thermomètre nécessite de connaître avec une grande précision les conditions d'installation du capteur.

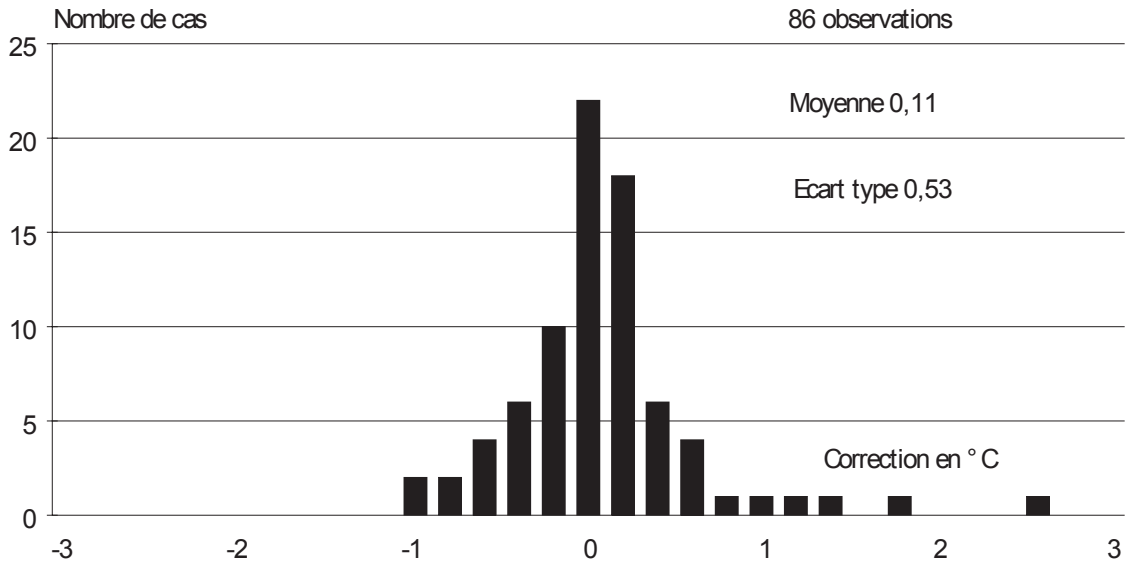


Fig 4.10 Histogramme des corrections à effectuer sur les températures mesurées contre un mur orienté au nord pour obtenir les températures sous abri. Températures minimales, cas 1, thermomètre au toluène.

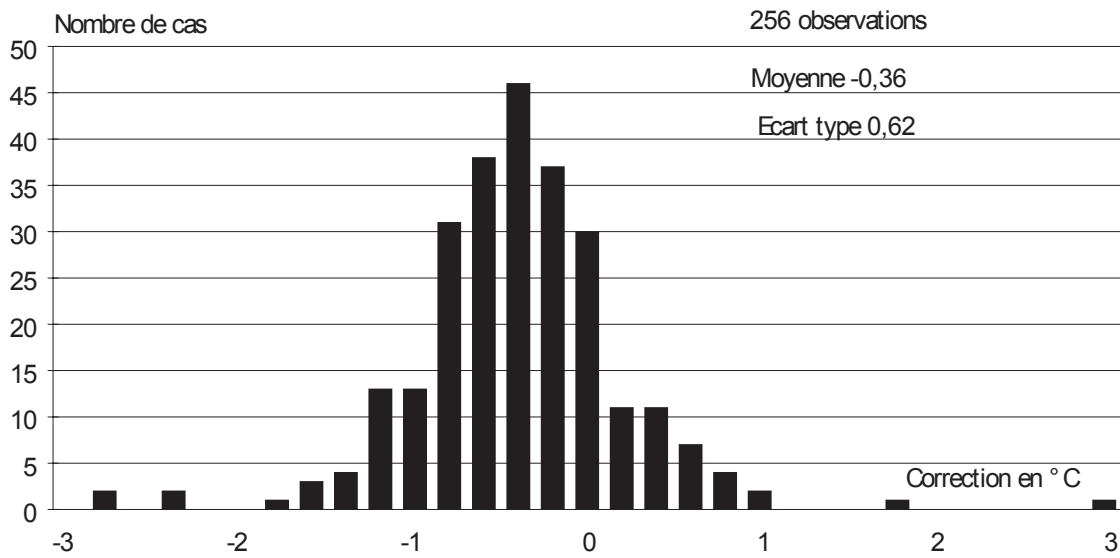


Fig 4.11 Histogramme des corrections à effectuer sur les températures mesurées contre un mur orienté au nord pour obtenir les températures sous abri. Observations instantanées, cas 3, thermomètre au toluène.

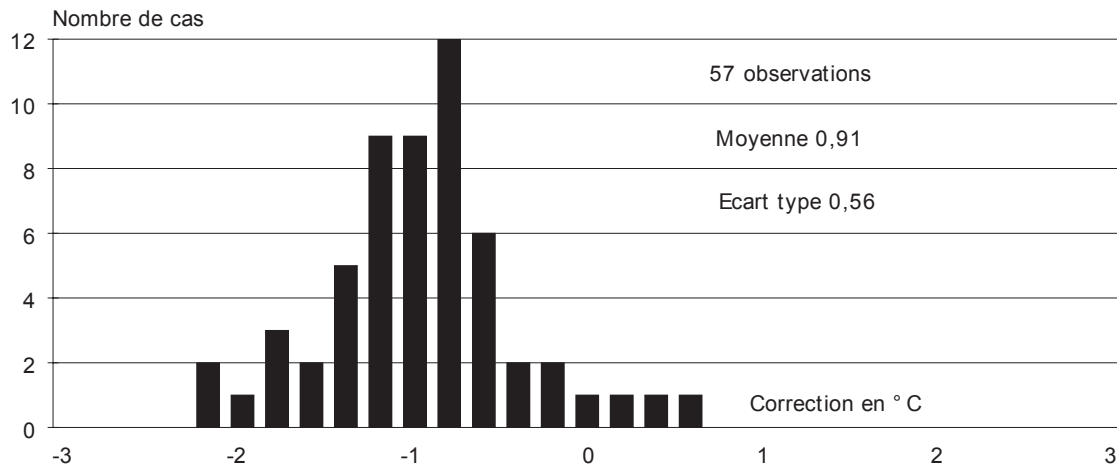


Fig 4.12 Histogramme des corrections à effectuer sur les températures mesurées contre un mur orienté au nord pour obtenir les températures sous abri. Températures instantanées, cas 4, thermomètre à mercure.

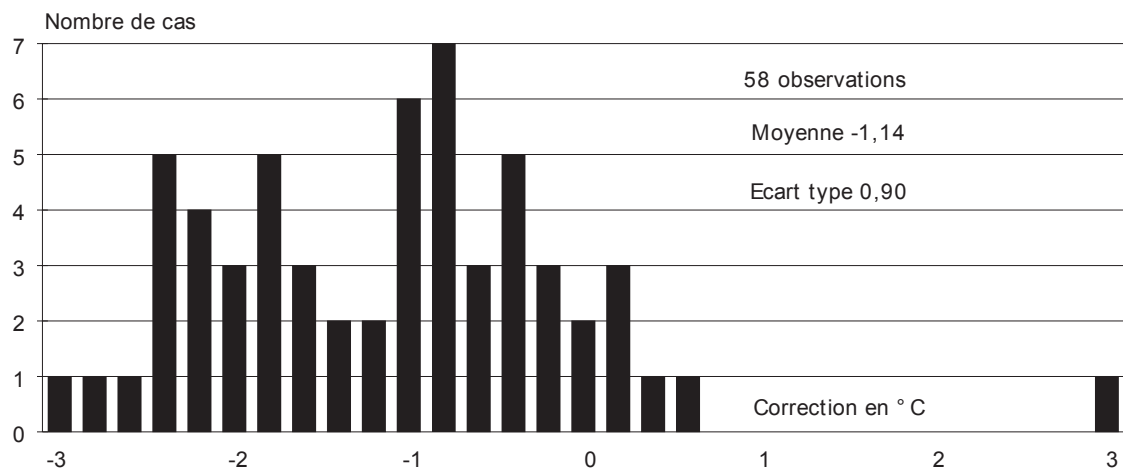


Fig 4.13 Histogramme des corrections à effectuer sur les températures mesurées contre un mur orienté au nord pour obtenir les températures sous abri. Températures maximales, cas 2, thermomètre à mercure.

L'étude de la comparative de l'observation thermique effectuée par deux méthodes différentes doit préalablement séparer les mesures faites avec un thermomètre au toluène de celles faites avec un thermomètre à mercure.

### **La comparaison des deux modes d'observation sera effectuée :**

→ D'une part avec les données obtenues à partir du thermomètre au toluène (températures minimales et températures de l'observation directe, cas 1 et 3) :

342 observations, écart moyen :  $-0.24^{\circ}\text{C}$ , écart type :  $0.63^{\circ}\text{C}$ .

→ D'autre part avec les mesures faites à partir des thermomètres à mercure (températures maximales et observations directe, cas 2 et 4) :

115 observations, écart moyen :  $-1.03^{\circ}\text{C}$ , écart type :  $0.76^{\circ}\text{C}$ .

## *LES FACTEURS QUI INFLUENT SUR LA TEMPERATURE*

Nous venons de voir que la température dépend de la nature du thermomètre; de plus, celui-ci étant placé à l'air libre, des facteurs comme le rayonnement atmosphérique, la nébulosité, la direction et la force du vent ont des effets perceptibles sur les mesures.

Pour la nébulosité, l'échantillon a été divisé en deux suivant que les nuages cachent moins de la moitié ou plus, de la voûte céleste. Le ciel est qualifié de clair dans le premier cas, nuageux dans le second (il peut être couvert). Ce critère est retenu car la nébulosité modifie les effets du rayonnement. Par ailleurs, la réflexion influe sur la température de manière sensible. Elle est souvent liée à l'insolation donc à la nébulosité.

Le bâtiment est un obstacle à l'écoulement de l'air. Suivant que le vent est originaire du secteur Sud ( $180^\circ$  de l'est à l'ouest) ou du secteur Nord ( $180^\circ$  de l'ouest à l'est) le thermomètre est abrité ou non du vent.

Dans un premier temps, l'effet individuel de chaque paramètre comme le rayonnement, la nébulosité, le vent, sur les thermomètres devait être étudié. Ce travail n'aurait un sens, que s'il était possible d'isoler la variation d'un paramètre de celle des autres facteurs influents. Cela n'étant pas possible, une étude globale avec un classement établi sur quelques paramètres fournit des indications intéressantes.

Les observations ont été répertoriées dans les tableaux 4.2 (thermomètre au toluène) et 4.3 (thermomètre à mercure) en fonction des paramètres suivants :

Direction du vent ("Nord" ou "Sud")

Force du vent : 0 à 2 m/s, 3 m/s, et supérieur à 3 m/s

Nébulosité : Clair ou Nuageux

Observation Vent (N/S), Force, Ciel (C/N)	Nombre d'observations	Correction moyenne en °C	Ecart type $\sigma$ en °C
Nord 0 à 2 m/s clair	29	-0,12	0,39
Nord 3 m/s clair	20	+0,02	0,50
Nord > 3 m/s clair	15	+0,05	0,45
Nord 0 à 2 m/s nuageux	29	-0,32	0,46
Nord 3 m/s nuageux	19	-0,19	0,43
Nord > 3 m/s nuageux	28	+0,10	0,68
Sud 0 à 2 m/s clair	50	-0,26	0,73
Sud 3 m/s clair	20	-0,14	0,51
Sud > 3 m/s clair	16	-0,04	0,56
Sud 0 à 2 m/s nuageux	49	-0,57	0,54
Sud 3 m/s nuageux	26	-0,50	0,62
Sud > 3 m/s nuageux	38	-0,46	0,66

Tab 4.2 Corrections et dispersions observées sur les mesures effectuées pour obtenir les températures réelles. Thermomètre au toluène, série des observations à des moments donnés et des températures minimales (cas 1 et 3).

Ainsi, pour 29 observations, le vent de force 0 à 2 m/s provient du secteur "Nord" et le ciel est clair ou peu nuageux (Tab 4.2). Compte tenu de ce découpage on obtient 12 cas

distincts. On admettra que pour chaque classe, on se trouve dans des conditions météorologiques qui ont suffisamment de points communs malgré les variations du rayonnement atmosphérique, pour satisfaire à la condition de reproductibilité.

Observation Vent (N/S), Force, Ciel (C/N)	Nombre d'observations	Correction moyenne en °C	Ecart type $\sigma$ en °C
Nord 0 à 2 m/s clair	3	-1,30	0,49
Nord 3 m/s clair	7	-0,66	0,21
Nord > 3 m/s clair	10	-0,33	0,44
Nord 0 à 2 m/s nuageux	8	-1,36	0,59
Nord 3 m/s nuageux	9	-0,92	0,60
Nord > 3 m/s nuageux	11	-0,82	0,68
Sud 0 à 2 m/s clair	11	-1,05	0,82
Sud 3 m/s clair	11	-0,76	0,87
Sud > 3 m/s clair	10	-1,29	1,11
Sud 0 à 2 m/s nuageux	9	-1,26	0,42
Sud 3 m/s nuageux	7	-1,33	0,62
Sud > 3 m/s nuageux	19	-1,28	0,74

Tab 4.3 Corrections et dispersions observées sur les mesures effectuées pour obtenir la température réelle. Thermomètre à mercure série des observations à des moments donnés et des températures maximales (cas 2 et 4).

Ce découpage montre que les conditions météorologiques influent fortement sur les thermomètres exposés à l'air libre, surtout lorsqu'un obstacle perturbe la circulation du vent. La différence entre la température observée contre un mur orienté au nord et celle sous abri varie en moyenne d'un demi-degré



pour le thermomètre au toluène, et d'un degré pour le thermomètre à mercure suivant les conditions météorologiques. Même avec le thermomètre au toluène où les écarts sont faibles (0,24°C), ceux-ci sont supérieurs au demi-degré pour des conditions météorologiques particulières.

Le faible nombre d'observations dans chaque classe n'a pas permis de déceler l'influence du rayonnement direct. Le fait que les thermomètres soient à l'ombre en diminue ses effets.

Excepté la valeur de la différence qui est plus élevée pour un thermomètre à mercure que pour un thermomètre au toluène, les effets des conditions météorologiques sont semblables sur les deux types de thermomètres :

→ La différence et la dispersion sont plus élevée lorsque le bâtiment fait obstacle au vent (vent de secteur "Sud").

→ L'augmentation de la vitesse du vent rapproche les deux modes d'observation de la température. Mais la dispersion ( $\sigma$ ) reste de même niveau. Cet effet est le plus important.

→ La présence de nuages occasionne un rayonnement complémentaire vers la terre. Elle augmente la différence entre les deux modes d'observation de la température.

Une exception est notée dans le tableau relatif au thermomètre à mercure (Tab 4.3). Par vent de "sud", ciel clair lorsque la vitesse du vent est supérieure à 3 m/s : la différence des

températures suivant les deux modes d'observation devient très élevée. Après examen, il ressort que ces mesures proviennent pour la moitié de températures maximales proches du solstice d'été observé au milieu de l'après midi, moment où, même si le soleil n'éclaire pas directement les thermomètres, le rayonnement est important.

Ces résultats soulignent l'importance de la prise en compte de la situation météorologique au moment de l'observation thermique lorsque le thermomètre est à l'air libre. La négliger dans le cadre d'étude thermique serait une lacune pouvant modifier les résultats dont l'ordre de grandeur est le degré Celsius. Les corrections mensuelles ne sont que des palliatifs, l'ajustement doit être effectué au niveau de chaque observation.

## *L'HEURE DES OBSERVATIONS*

L'heure à laquelle est effectuée une observation thermique est une information indispensable. Un calcul de moyenne de température sans connaître l'heure des observations est d'aucune utilité. Il ne signifie rien en météorologie, il ne permet pas d'appréhender le climat du lieu d'observation.

D'autre part, il est totalement impossible de comparer les observations d'une station avec celles d'une autre, quelle que soit l'époque, si l'heure des mesures pour chacune d'elles n'est pas précisée.

La moyenne quotidienne idéale demanderait à prendre en compte toutes les températures à tous les instants de la journée. Elle serait définie à partir de l'aire délimitée par la courbe  $T = f(t)$  où  $t$  est le temps. Des études ont montré que des calculs plus simples permettent d'approcher cette valeur. C'est par exemple la moyenne des 25 observations horaires couvrant les 24 heures de 0 à 24, ou la combinaison de trois observations faites à des instants différents de la journée (7). Dans ce dernier cas, le choix des horaires pour le calcul de la moyenne diurne est important. Avec trois observations quotidiennes dont une le matin, une vers midi, et une le soir, des différences supérieures à 1°C peuvent apparaître suivant les heures des observations choisies.

Alfred ANGOT, en 1902, en étudiant la variation diurne de la température dans différentes stations, a dressé des tableaux

qui indiquent les corrections à apporter aux données de différentes combinaisons d'heures d'observation, pour les ramener à la moyenne des 24 heures. Il a répertorié dans 23 tableaux des combinaisons portant sur 2, 3, et 4 observations. Celles-ci sont choisies d'une part parce qu'elles correspondent aux heures d'observations dans différents pays à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, d'autre part parce que leur résultat est voisin de la moyenne des 24 heures (7).

Un résultat très proche de la moyenne des 25 observations horaires de la journée est obtenu en calculant la demi-somme des températures extrêmes quotidiennes. De nos jours ce mode de calcul retenu par l'O.M.M. est recommandé en météorologie pour les calculs des moyennes journalières des températures (8).

En l'absence des valeurs extrêmes, la connaissance des heures d'observation de la température permet de calculer la correction à apporter à celle-ci pour la ramener à la moyenne des 25 observations horaires de la journée (Tab 4.4). Cette correction est variable suivant les différents mois de l'année, et bien sûr suivant la combinaison retenue. Ci-après sont reproduites les corrections extrêmes à apporter à la moyenne calculée suivant différentes combinaisons de trois observations quotidiennes, pour la ramener à la moyenne des 24 heures. Ces calculs ont été établis pour la station du Parc Saint Maur pour la période 1876-1900 (9). Le mois concerné, entre parenthèses, fait suite à chaque correction. Ces moyennes ainsi calculées sont en général plus élevées, jusqu'à 1,5°C, que la moyenne des 24 heures du fait que la correction est négative (Tab 4.4).

Combinaisons horaires d'observation	Correction la plus basse	Correction la plus élevée
1/3 (6+12+21)	-0.04 (12)	+0.41 (08)
1/3 (6+13+21)	-0.19 (11)	+0.22 (08)
1/3 (6+14+22)	-0.16 (12-01)	+0.34 (08)
1/3 (7+13+19)	-1.36 (06)	-0.27 (01)
1/3 (7+13+22)	-0.21 (06)	+0.13 (03)
1/3 (7+14+21)	-0.54 (06)	-0.21 (01)
1/3 (8+14+20)	-1.40 (06)	-0.27 (01)
1/3 (8+14+22)	-0.81 (05)	-0.15 (12-01)
1/3 (9+15+21)	-1.50 (05)	-0.29 (12)
1/2 (Mini + Maxi)	-0.73 (09)	-0.23 (01)

Tab 4.4 Corrections à apporter à la moyenne mensuelle calculée suivant différentes combinaisons horaires de trois observations quotidiennes, pour la ramener à la moyenne des 25 observations horaires de la journée. Station du parc Saint Maur, 1876-1900. Le mois concerné est entre parenthèses. (D'après ANGOT) (7).

Le tableau 4.4 montre que le calcul des moyennes quotidiennes à partir des températures extrêmes présente des divergences par rapport au calcul de cette moyenne obtenu à partir des 25 observations journalières. A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, le calcul de la demi-somme des températures extrêmes n'était pas universellement reconnu, c'était la moyenne des 25 observations quotidiennes des 24 heures qui était la base du calcul de la moyenne journalière. Ainsi, tous les calculs d'ANGOT ramènent les observations à cette base.

Selon que l'observation matinale a lieu à 6 heures ou après, la correction à effectuer est temporellement différente. La moyenne est plus élevée vers le solstice d'hiver et plus faible au milieu de l'été, lorsque dans la combinaison des trois observations, celle du matin est faite à 6 heures (les trois premières combinaisons horaires du tableau). Les résultats sont inversés lorsque la température matinale est observée à 7 ou à 8 heures du matin, c'est à dire le plus souvent après le lever du soleil. D'autre part, la moyenne est plus faible lorsque dans la combinaison horaire se trouve l'observation de 6 heures du matin. Par exemple la moyenne obtenue avec la combinaison  $1/3(6+14+22)$  est plus froide de  $0.4^{\circ}\text{C}$  que celle calculée par  $1/3(8+14+22)$ .

De même pour le soir, l'heure tardive de l'observation abaisse la moyenne. Celle résultant de la combinaison  $1/3(7+13+19)$  est plus élevée de  $0.7^{\circ}\text{C}$  que celle obtenue par la combinaison  $1/3(7+13+22)$ . La combinaison  $1/3(8+14+20)$  est plus chaude que  $1/3(8+14+22)$  de  $0.4^{\circ}\text{C}$ .

Ces quelques exemples soulignent l'importance de l'heure des observations. Les combinaisons qui se rapprochent le plus du calcul de la moyenne obtenue par demi-somme des températures extrêmes sont  $1/3(7+14+21)$  et  $1/3(8+14+22)$ . L'écart entre les moyennes annuelle des deux combinaisons est de  $0.2^{\circ}\text{C}$ . La moyenne annuelle la plus élevée est la seconde combinaison. Ceci montre qu'approximativement la quantité de chaleur acquise le matin entre 7 et 8 heures du matin est perdue le soir entre 21 et 22 heures. Les heures des observations du matin et du

soir doivent être connues avec précision. Une incertitude trop élevée, le non-respect de ces heures a des conséquences fâcheuses sur la température moyenne.

L'étude d'ANGOT révèle la possibilité de corriger les moyennes quotidiennes obtenues par trois observations journalières pour les ramener à la moyenne des 24 heures. Il est évident que ces résultats ne peuvent pas être utilisés pour corriger les données anciennes sans aménagement : ceci d'une part parce qu'à cette époque l'abri météorologique différait d'une station à une autre, d'autre part parce que l'heure des observations des données anciennes du XVIII<sup>e</sup> siècle ne correspondait pas forcément à celles retenues par ANGOT. La correction d'ANGOT est valable pour un type d'observation, si celui-ci vient à changer, les effets du rayonnement peuvent contrarier les résultats.

LEROY LADURIE s'est heurté à ce problème lorsqu'il a tenté de reconstituer le climat du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant (10). Une tentative de raisonnement pour corriger les observations thermiques à partir des indications d'ANGOT a contraint l'auteur à abandonner à cause de sa complexité. Dans cette voie LEROY LADURIE ne pouvait pas aboutir, car c'est à partir des heures d'observation des stations qu'il faut raisonner et non à partir des éléments d'ANGOT. D'autre part, les corrections thermiques d'ANGOT concernent des mesures effectuées sous abri. Or, au XVIII<sup>e</sup> siècle les abris n'existaient pas.

L'étude faite à Trappes a montré que la correction des températures observées contre un mur au nord pour obtenir les températures sous abri, est variable au cours de la journée (Fig 4.14). Elle est la plus élevée au moment des observations matinales qui suivent le lever du soleil, quel que soit le thermomètre. Ces observations sont pour la plupart effectuées entre 6 et 7 heures du matin au printemps ou au début de l'été pour le thermomètre au toluène. Il semble apparaître un léger décalage dans le temps entre les deux types de thermomètres, la correction maximale serait un peu plus tardive pour le thermomètre à mercure.

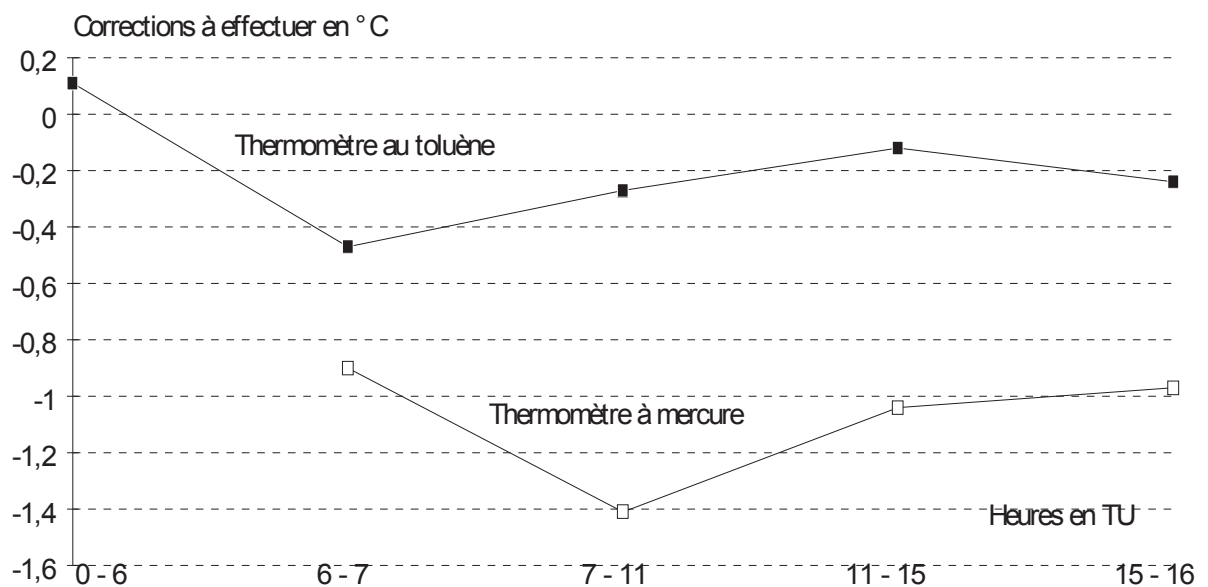


Fig 4.14 Corrections sur les mesures effectuées pour obtenir la température réelle suivant l'heure des observations pour le thermomètre au toluène (■), et pour le thermomètre à mercure (□).

Avec le thermomètre à mercure la correction est plus élevée pour les observations de (7h-11h) que pour celles de (6h-7h).



L'échantillon des températures observées entre 6h et 7h du matin se caractérise par une variabilité très faible de sa population ( $\sigma = 0.25$ ).

Les observations instantanées effectuées entre 11 heures et 15 heures TU ne présentent pas le même caractère que celles du matin, l'écart avec la température sous abri est plus faible, mais la dispersion plus importante. La correction à effectuer aux données du thermomètre au toluène est au plus égale à  $-1.2^{\circ}\text{C}$  (échantillon de 18 observations, moyenne  $-0,12^{\circ}\text{C}$ , écart type  $0,68^{\circ}\text{C}$ )

De même pour les observations faites avec le thermomètre à mercure, les corrections du début de l'après midi sont moins importantes que celles du matin (7h - 11h).

Les heures qui suivent le lever du soleil sont des instants où l'atmosphère, surtout dans les basses couches, s'échauffe rapidement. A une certaine époque de l'année, des conditions météorologiques particulières, augmentant la difficulté de la mesure de la température, sont réunies. Le gradient thermique vertical (différence de température entre deux points de mesure distants d'une certaine hauteur) entre le sol et le niveau où sont installés les thermomètres, et le rayonnement du sol et du bâtiment sont des causes de perturbation de la température de l'air. Celui-ci mauvais conducteur ne rétablit pas l'équilibre rapidement. Il favorise la mise en place de micro-cellules de circulation pour lesquelles la branche ascendante est plus chaude que la branche descendante. L'échauffement est très

inégal et la température varie considérablement d'un lieu à un autre. Cette inégalité est accrue en fin d'hiver lorsque le sol est encore froid et l'échauffement de l'air important.

L'écart entre la température mesurée contre un mur orienté au nord et celle mesurée sous abri est variable dans la journée. Très faible ou nul avant le lever du soleil, faible au début de l'après midi, il est maximal au cours des premières heures qui suivent l'ascension de cet astre.

#### *Etat du thermomètre*

Dans la série d'observations, l'état du thermomètre (sec ou mouillé) ne présente pas d'intérêt particulier.

## *CONCLUSIONS DE L'ETUDE STATISTIQUE*

Les températures observées avec un thermomètre accroché à un mur orienté au nord sont proches de celles observées sous abri, mais les écarts sont suffisants pour interdire la comparaison des deux séries thermiques sans ajustement de l'une d'elle.

L'étude statistique de la comparaison des deux modes d'observation de la température de l'atmosphère faite à Trappes permet de préciser :

→ Que l'indication fournie par le thermomètre placé au nord d'un bâtiment est en moyenne plus élevée que la température réelle de l'air et ce d'autant plus que le thermomètre est sensible au rayonnement.

→ Que l'indication du thermomètre à mercure présente des différences notables avec celles du thermomètre au toluène, qu'elle dépend de l'instrument et des facteurs météorologiques.

→ Que la correction à effectuer pour ramener la température observée contre un mur orienté au nord à la température réelle est comprise entre  $-3^{\circ}\text{C}$  et  $2^{\circ}\text{C}$ . La moyenne de toutes les observations faites à Trappes se situe vers  $-0,2^{\circ}\text{C}$  pour le thermomètre au toluène, et vers  $-1,0^{\circ}\text{C}$  pour le thermomètre à mercure.

→ Que les corrections faites, lorsque les observations proviennent d'un thermomètre à mercure ou d'un thermomètre au

toluène, afin d'accorder les deux séries, ne doivent pas être identiques.

→ Que la correction à effectuer au thermomètre à l'air libre pour obtenir la température sous abri dépend des conditions météorologiques du moment de l'observation.

→ Que les corrections globales sont exclues pour effectuer un travail sérieux. Chaque observation doit être corrigée séparément.

→ Que l'heure de l'observation est indispensable, son importance égale celle de la donnée thermique.

→ Qu'une correction peut ramener la moyenne quotidienne obtenue à l'aide de 3 observations diurnes, à la moyenne des 24 heures résultant de la moyenne des 25 observations horaires, ou de la demi-somme des extrêmes.

→ Que la correction est plus élevée à certains instants de la journée. Elle est maximale durant les heures qui suivent le lever du soleil.

Pour les mesures thermiques anciennes, le traitement doit être effectué au niveau de la mesure, chacune d'elle nécessitant un ajustement particulier.

## *AJUSTEMENT DE LA SERIE DE TEMPERATURE OBTENUE AVEC LES THERMOMETRES A MERCURE*

L'exemple qui suit a pour objet de montrer l'amélioration apportée à une série thermique lorsqu'un ajustement qui tient compte du thermomètre et des paramètres météorologiques est effectué à chaque observation.

Pour effectuer cet ajustement afin de faire "coller" les observations faites contre un mur orienté au nord avec celles observées sous abri, chaque observation thermique doit être ajustée avec une correction. Celle-ci déduite de l'étude statistique est la suivante : l'ajustement pour chaque observation thermique prend en compte les corrections du tableau 4.3 et celles déduites de l'heure des observations de la figure 4.14. Cet ajustement concerne les mesures effectuées à l'air libre afin de ne pas détruire les vraies températures. Par exemple une observation faite à 7 h 12 par vent de sud supérieur à 3 m/s par ciel clair, sera ajustée en retranchant de l'indication thermique  $(1,29 + 0,5)$  soit  $1,8^{\circ}\text{C}$ . C'est le cas pour l'observation du 27 mai 1993. La correction qui était de  $-1,7^{\circ}\text{C}$  devient égale à  $+0,1^{\circ}\text{C}$  après ajustement.

Pour l'ensemble des données obtenues à l'aide d'un thermomètre à mercure, après ajustement, la moyenne des corrections à effectuer pour obtenir la température sous abri à partir des températures observées contre un mur orienté au nord, s'élève à  $0,04^{\circ}\text{C}$ , et la dispersion est de  $0,68^{\circ}\text{C}$ . C'est surtout sur la dispersion que l'amélioration peut être jugée. Avant ajustement elle était de  $0,76^{\circ}\text{C}$ . Malgré l'ajustement, quelques écarts

restent importants. Ils proviennent essentiellement de températures maximales (11). Certains ont eu lieu près du solstice d'été. Le soleil haut dans le ciel peut occasionner des perturbations de rayonnement. En soustrayant ces quelques valeurs du fichier, la dispersion diminue sensiblement, elle est égale à 0,45°C. L'histogramme des corrections après ajustement fait apparaître une distribution statistique nettement améliorée.

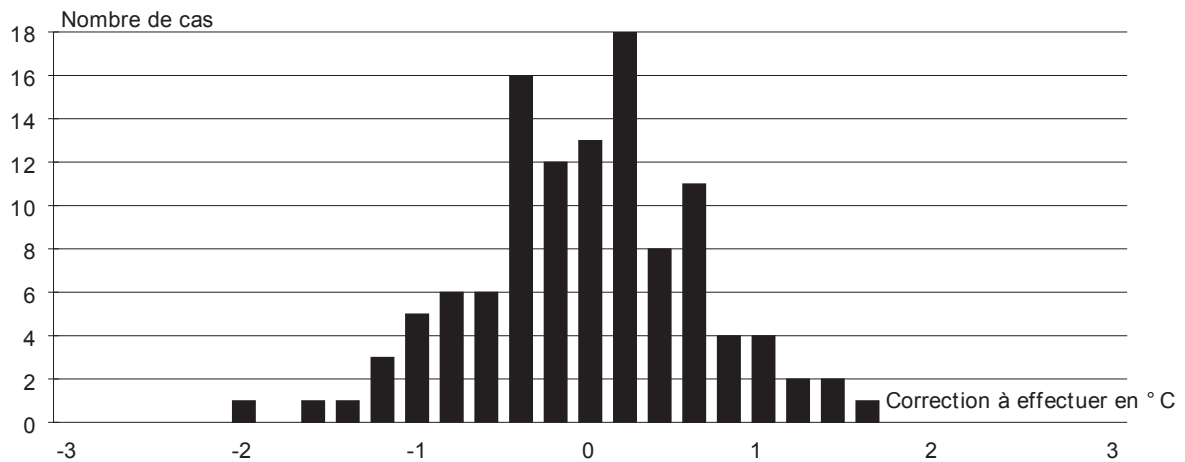


Fig 4.15 Histogramme des corrections à effectuer pour obtenir les températures observées sous abri à partir des températures observées contre un mur orienté au nord après ajustement en fonction de la situation météorologique.

Le nombre limité de données ne permet pas de conclure avec certitude. Néanmoins, cette étude statistique comparative entre les deux modes d'observation apporte les éléments pour l'amélioration du fichier des données thermiques.

La correction des données thermiques proposée montre ce qu'il est possible d'atteindre afin d'améliorer les séries de mesures pour les rendre comparables.

Ces éléments conduisent à formuler une méthode qui pourrait être retenue pour la comparaison des séries thermiques anciennes notamment dans le cas des comparaisons d'observations émanant d'époques différentes.

### *METHODE DE COMPARAISON DES SERIES THERMIQUES*

La correction individuelle des observations anciennes (avant l'existence de l'abri) est indispensable pour faire des comparaisons thermiques. Effectuer cette correction sur les données anciennes est délicat car les paramètres observés, (autres que les mesures thermiques) qui permettent d'effectuer les corrections, sont parfois très limités et leurs valeurs sujettes à critiques. Plutôt que de comparer les données anciennes aux valeurs actuelles, mieux vaut comparer les mesures contemporaines aux données anciennes. Les valeurs actuelles peuvent être ajustées afin de se rapprocher des conditions d'observation des mesures anciennes.

La base de la comparaison est la recherche d'une homogénéité entre les deux séries thermiques. Il est plus aisé de modifier les valeurs actuelles, qui sont très bien connues, que celles des séries anciennes. Cet ajustement peut s'effectuer sur toutes les stations. Compte tenu des divergences et des lacunes des observations passées, il est difficile de mettre en place un programme d'ajustement établi sur les anciennes séries de mesures.

La comparaison entre deux séries thermiques ne peut se concevoir que si elles présentent des caractères d'homogénéité. Rendre homogène deux séries thermiques demande l'adaptation de l'une d'elle (ajustement thermique), afin que ses données soient le plus près possible de ce qu'elles auraient été si elles avaient été mesurées dans les conditions de l'autre série. Si l'ajustement nécessite d'ajouter une valeur numérique à la série ancienne pour la rapprocher de la série contemporaine, le même ajustement doit être retranché de la série contemporaine pour obtenir une homogénéité avec la série ancienne. Sachant qu'il est souhaitable d'intervenir sur chaque observation, il est préférable d'ajuster les observations contemporaines. Ainsi, la série obtenue peut être directement rapprochée de la série ancienne.

L'ajustement est déterminé par une différence de chaleur  $\delta$ . Dire que la série ancienne ajustée A' est plus chaude que la série contemporaine C revient à dire que la série ancienne A est plus chaude que la série contemporaine ajustée C'. La quantité de chaleur qui sépare A' de C est égale à celle qui sépare A de C'.

La différence de chaleur  $\delta$ , différence (A'-C) ou (A-C') est identique, qu'elle soit calculée à partir de la série ancienne ou de la série contemporaine. L'ajustement à apporter à la série A pour obtenir A' est l'opposé de celui obtenu sur la série C pour obtenir C', tel que :

$$A - A' = C - C'$$



La comparaison des températures anciennes avec celles observées actuellement a pour objectif de rechercher une différence de température entre les deux séries qui peut être obtenue en ajustant la série thermique contemporaine afin de la placer dans les conditions d'observation de la série ancienne. L'étude statistique comparative en précise les éléments numériques.

Il est même possible de calculer la température moyenne sur 30 années (normale climatique) à partir des données contemporaines ajustées. On obtient la température moyenne dans les conditions d'observation d'autrefois. Ainsi, les séries anciennes de très courte durée peuvent être positionnées par rapport à ces normales ajustées.

L'application de cette méthode n'a pas été effectuée dans le cadre de la thèse. Un développement ultérieur à partir d'un exemple précisera davantage comment aborder la comparaison des séries thermiques anciennes par cette méthode.

Le paragraphe suivant rassemble les conseils pour le traitement des séries thermiques anciennes. L'on trouvera quelques redites dans certains paragraphes de la thèse qui sont volontaires, dans le but de rassembler tous les éléments relatifs à ce domaine.

## 4.3 LES METHODES DE TRAITEMENT

### DES MESURES ANCIENNES

Les mesures anciennes des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles étaient pour la plupart faites sous l'égide d'une Société Savante qui pilotait l'organisation et qui recevait les observations sous forme de feuilles mensuelles mentionnant les relevés effectués. Celles-ci étaient le plus souvent des copies, car les observateurs conservaient fréquemment un double de leur travail. Certaines de ces archives sont encore disponibles de nos jours auprès des bibliothèques qui en ont héritées. Les feuilles ou les cahiers d'observations météorologiques sont parfois accompagnés de correspondance entre l'observateur et l'organisateur. Celle-ci peut apporter des renseignements très précieux sur l'art et la manière d'observer. Sans être complète, car des manuscrits ont été perdus ou détruits, l'information brute de l'époque est suffisante pour susciter l'intérêt des scientifiques contemporains.

Les manuscrits des observations contiennent des tableaux de chiffres nourris par les grandeurs mesurables de l'époque (température, pression atmosphérique, humidité...). Les descriptions sont rares si ce n'est pour décrire le temps sensible, l'état de la végétation. Les informations techniques relatives à l'environnement des instruments, à leur description, sont souvent absentes. Venant de la haute autorité, la répétition de ces descriptions ne semblait pas

utile aux observateurs. Parfois précisées lors d'un premier courrier, adressé à la société organisatrice, l'observateur ne jugeait pas utile d'y revenir, accordant le maximum d'importance à la valeur numérique transmise. Ainsi, la difficulté à retrouver certaines informations, complique la détermination de la validité des mesures.

Les lois, les règles édictées par les sociétés savantes ont pour la plupart fait l'objet de publications dans divers ouvrages. Certaines observations sont également publiées, elles sont parfois accompagnées de critiques. Leur accès plus aisé, la consultation facilitée, incite les scientifiques à rechercher cette documentation plutôt que les manuscrits. Si les critiques qui apportent un complément sont indispensables pour juger de la qualité des observations, les tableaux chiffrés imprimés sont à utiliser avec la plus grande prudence. Hormis les erreurs typographiques, des corrections volontaires sont quelquefois effectuées. L'accès aux sources primaires est très fortement recommandé par RENOU. A propos du froid extraordinaire de 1740, il fait la remarque suivante (12) :

"Il y a des fautes dans le tableau de COTTE; la plus grosse est celle du mois d'avril 1735, portée à 2,4°C; lisez 8,4°C : c'est probablement une erreur typographique; il faut de plus ajouter 0,8°R ou 1°C, COTTE ayant supposé à tort que le zéro de tous les thermomètres de REAUMUR était trop bas de cette quantité. Ce chiffre faux se trouve reproduit dans quelques ouvrages, notamment dans les annuaires de Montsouris."

(Tiré de : RENOU, Etudes sur le climat de Paris - Températures, Mémoire de 1887, de DETTWILLER, La météorologie, N° 25, p 106)

A propos du zéro de REAUMUR, la remarque de COTTE (infra p 225) est vraie pour le thermomètre qui a son zéro établi à la température de la congélation de l'eau. Mais la plupart des

thermomètres de REAUMUR ont leur zéro au point de fusion de la glace.

Avant de s'intéresser aux données numériques dont on ne conseillera jamais assez l'accès aux sources primaires, hormis les erreurs dues aux instruments utilisés et, aux conditions d'installation et d'utilisation dont nous reparlerons, plusieurs questions doivent être posées :

Comment sont compris les règles et les conseils, comment sont-ils mis en application, quelles sont les bases et les connaissances en physique des observateurs, sont-ils aptes à comprendre les règles édictées par les Sociétés Savantes, qui effectue les observations, comment sont remplis les tableaux?

Ces questions qui font appel à l'instruction des observateurs, à leur mode de vie, ne sont pas des bases météorologiques mais il est indispensable d'y réfléchir pour juger de la qualité des observations. Tant que l'observation météorologique était "*individuelle*" il y avait des disparités entre les différents observateurs.

Une réflexion objective avant le traitement des valeurs numériques est maintenant universellement admise. Depuis quelques décennies des règles et des conseils de prudence sont édictés par l'Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.). Elles concernent plutôt les données récentes des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles qui ont été effectuées par une organisation structurée permettant l'observation du temps en continu; l'activité

personnelle de l'observateur ne devant pas perturber l'observation. Ce sont néanmoins des bases qu'il faut respecter pour l'utilisation des données antérieures.

### *LES PREMIERES RECONSTITUTIONS DES SERIES THERMIQUES ANCIENNES.*

Après quelques siècles d'observation les scientifiques se sont attachés à retrouver les anciennes observations pour reconstituer des séries ininterrompues les plus longues possibles. La continuité des observations thermiques pour les périodes reculées ne peut s'effectuer que si on met bout à bout des séries provenant de localités différentes. On arrive ainsi à remonter trois siècles et plus, c'est à dire aux premières mesures thermiques du milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle, faites avec les premiers thermomètres scellés. Les premières corrections furent des ajustements entre les différents lieux d'observation afin de rendre la série la plus homogène possible.

Gordon MANLEY s'est attaché à reconstituer la température moyenne mensuelle du centre de l'Angleterre de 1659 à 1952. Outre le fait que les mesures thermiques proviennent de stations différentes, les conditions d'observation et les instruments ont fortement évolué durant trois siècles. Ce dernier point n'a pas suscité, au début, une grande attention des scientifiques. La première publication de MANLEY (13) fut suivie d'une discussion le 20 mai 1953 au cours de laquelle le Dr J. GLASSPOOLE, outre la critique de la méthode de

regroupement de plusieurs stations et la non prise en compte de l'altitude, évoque des causes d'erreurs liées à l'installation et au capteur :

"I am not convinced that the best procedure has been used in this paper to definite the temperature trends of earlier years. I have advocated, firstly, a statistical study of temperature variations during the past 50 or 100 years, for which many data are available, then the critical examination of the data, by using say the standard deviation, to test records for homogeneity. This would lead to the enumeration of the causes of the breaks in the homogeneity and the definition of the amounts involved in any changes of screens, exposures or method of recording. Using such methods, I think the earlier records could be used with greater understanding and more reliable results obtained."

Tiré de : MANLEY Gordon, The mean temperature of central England, 1698-1952, Discussion par Dr J. GLASSPOOLE, Quaterly Jal of Meteorological Society, 1953, p558.

*Traduction :*

*Je ne suis pas convaincu que la meilleure procédure a été utilisée dans cet article pour définir la tendance de la température des dernières années. J'ai recommandé tout d'abord une étude statistique des variations de la température durant les 50 ou 100 dernières années pour lesquelles beaucoup de données sont disponibles, puis l'examen critique des données, en utilisant l'écart type, pour tester l'homogénéité. Cela conduirait à l'énumération des cassures de l'homogénéité et à la définition de l'importance de tout changement d'abri, exposition ou méthode d'enregistrement. Utilisant de telles méthodes, je pense que les données pourraient être utilisées avec une plus grande compréhension et les résultats obtenus seraient plus sérieux.*

La remarque de GLASSPOOLE traduit bien l'état, le climat, la pensée sur ce problème au milieu de notre siècle, lorsqu'on commençait à s'intéresser aux mesures anciennes. Fort heureusement, la pensée scientifique a fortement évolué et, de nos jours le souci majeur concerne la validation des données.

MANLEY publia de nouveau cette série en 1974 (14). Révisée pour la période 1699-1706, cette série thermique est étendue pour les données récentes, mais aussi pour les valeurs anciennes, puisqu'elle débute en 1659. Les nombreuses références faites à

propos de cette série thermique ont incité MANLEY à la publier de nouveau, dans son intégralité.

En Angleterre, l'observation thermique quotidienne la plus ancienne qui soit conservée, serait celle d'Oxford de mars 1666 à mai 1667. Les mesures furent probablement effectuées avec un thermomètre italien provenant de l'Académie Del Cimento. Quelques années plus tôt, un voyageur anglais avait ramené un tel thermomètre (infra p 75). Des observations très anciennes envoyées à la Royal Society furent détruites! Elle ne voyait pas d'usage futur (15).

DETTWILLER publia en 1981 la série des températures annuelles à Paris durant les 300 dernières années (16). Afin de reconstituer cette série thermique de 1680 à 1980, calée sur Montsouris, il a fait appel aux stations proches : Saint Maur des Fossés et l'Observatoire de Paris. Pour les années les plus reculées du XVII<sup>e</sup> et la première moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle, la série est constituée à l'aide des températures annuelles du centre de l'Angleterre et de celles de De Bilt.

L'existence d'un chevauchement de quelques années pour deux séries thermiques, permet de les comparer, et de calculer des corrections déduites de leur période commune. La série thermique de l'Observatoire de Paris n'est utilisée que depuis 1757, car les valeurs antérieures sont qualifiées de suspectes. La comparaison des données communes ne concerne que les années postérieures à 1873, début des observations à Saint Maur et à Montsouris. La correction est calculée à partir de l'extrémité

de la série. L'appliquer à la totalité des mesures est parfois hasardeux car durant la période hors chevauchement, ne sont pas exclus des changements d'instrument et de méthode d'observation.

Il se peut également que des données manquantes soient restituées à partir d'autres sources. RENOU avoue avoir pris à COTTE les valeurs mensuelles de quatre mois afin d'obtenir 20 années complètes de 1757 à 1776. Cette rupture causée par ces données "étrangères" n'a pas échappé à DETTWILLER qui a procédé à une correction de 1,1°C.

Ces méthodes qui certes permettent d'approcher la réalité ne mettent pas à l'abri d'erreurs parfois égales à un degré ou plus. Les erreurs du dixième de degré ou de quelques dixièmes peuvent facilement passer inaperçues. Les déceler demande une finesse à la hauteur de l'erreur.

Les contrôles de qualité des données météorologiques furent "oubliés" par le Meteorological Office (17). Le degré d'objectivité dans le contrôle de qualité des mesures météorologiques fut introduit récemment. Les tests statistiques se sont développés avec l'arrivée de l'informatique. BRYANT (18) en 1979 décrit les méthodes objectives employées à cette époque. Il précise la pauvreté des publications traitant de l'archivage des données. De nos jours, le problème de la reconstitution des mesures anciennes est pris très au sérieux par l'Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.). Il n'est



plus envisageable d'utiliser les données anciennes sans avoir recours à un traitement préalable.

### *DIRECTIVES DE L'ORGANISATION METEOROLOGIQUE MONDIALE POUR LE CONTROLE DES DONNEES*

Des directives pour les contrôles de la qualité des données météorologiques de surface sont édictées par l'O.M.M. (19) depuis 1986. Les contrôles concernent aussi bien les valeurs récentes que les observations anciennes; mais d'une manière générale, les recommandations s'adressent plutôt aux séries d'observations récentes (XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles). Pour cette période, le thermomètre est bon et observé sous abri.

L'objectif est de filtrer la quasi-totalité des erreurs. Celles-ci sont détectées par des tests statistiques qui doivent porter sur les données brutes. Ces tests sont choisis pour éliminer des valeurs aberrantes et signaler les hétérogénéités. Les erreurs introduites par les conditions d'installation et les instruments utilisés sont ensuite analysées. L'attention est tout particulièrement attirée pour les changements d'instrument, et d'abri qui sont intervenus depuis le début des mesures.

Les contrôles s'adressent à des mesures identifiées : type de donnée, unité de mesure, date, heure et lieu. En l'absence de ces informations primordiales, les mesures sont sans objet.

Les contrôles recommandés par l'O.M.M. sont les suivants :

→ *Contrôles de base*

- \* Détection des "trous" des données manquantes.
- \* Comparaison des totaux et moyennes aux normales.
- \* Elimination des données impossibles. La température d'un thermomètre mouillé supérieure à celle du thermomètre sec associé, est une anomalie. Certains paramètres sont compris entre des limites absolues. Les tests veilleront à ce qu'ils ne s'écartent pas de ces limites.
- \* Les limites climatologiques pour la plupart des paramètres sont connues. Elles dépendent de la localité et de la saison. Un test peut rejeter les valeurs aberrantes.
- \* Des informations peuvent se recouper. Lorsque figure la température sous abri, celle du thermomètre mouillé et le pourcentage d'humidité relative; le calcul d'un paramètre à partir des deux autres permet la vérification du troisième. De même, il y a lieu de comparer la somme des valeurs quotidiennes au total mensuel. Une incohérence signale une erreur soit du total soit d'une mesure.

→ *Contrôles statistiques*

\* Test de persistance

Ces tests comparent les valeurs avec celles mesurées avant et/ou après. Ils sont appropriés pour les paramètres qui sont hautement corrélés dans le temps comme la température, la pression atmosphérique, le vent.

L'O.M.M. propose également l'usage d'interpolations linéaires pour les données mesurées fréquemment, ou non linéaires pour les observations distantes de 6 heures ou plus (Méthode d'AITKEN). La méthode, à utiliser avec prudence, vise à rechercher des petites variations, soit avec la mesure qui précède soit avec celle effectuée la veille à la même heure afin de pouvoir effectuer une interpolation.

\* Comparaison avec les stations avoisinantes choisies comme "*climatologiquement semblables*".

L'atmosphère est telle qu'il y a une continuité dans le temps et dans l'espace. Les ruptures lorsqu'elles existent (par exemple une variation brusque de la température) sont en général accompagnées de manifestations météorologiques. Ces associations d'évènements météorologiques permettent la comparaison avec les mesures des stations proches. Pour ce test, il est préférable de comparer l'écart qui existe entre une mesure et la moyenne mensuelle d'un paramètre pour chacune des stations.

Toutefois, les comparaisons avec les stations environnantes ne sont pas toujours absolument fiables. Par condition météorologique particulière, les écarts peuvent être significatifs entre deux stations voisines. MANLEY (20) cite deux exemples à propos des températures du centre de l'Angleterre :

⇒ En février 1936, la moyenne mensuelle des températures minimales était plus élevée à St Alban ( $30,0^{\circ}\text{F}$ ,  $-1,1^{\circ}\text{C}$ ) qu'à Rickmansworth ( $23,3^{\circ}\text{F}$ ,  $-4,8^{\circ}\text{C}$ ).

⇒ En mars 1953 par temps anticyclonique sec, la moyenne des minima à Malham Tarn était supérieure de  $0,4^{\circ}\text{F}$  ( $0,2^{\circ}\text{C}$ ) que celle d'Ilkley, station éloignée de 300 mètres.

La configuration du site n'est pas dans certaines situations particulières, sans influence sensible.

\* Contrôle de qualité pour des petites régions.

Le pays est divisé en régions climatologiquement homogènes. Pour les stations incluses dans cette étendue, on calcule la moyenne mensuelle d'un paramètre. Puis pour chaque station, l'écart à la moyenne de chaque valeur quotidienne, est comparé avec l'écart moyen correspondant calculé avec les autres stations de la surface délimitée. Cette méthode a été décrite par SNEYERS en 1972 et est utilisée au Royaume Uni où chaque zone contient entre 6 et 14 stations. Elle est acceptable pour le contrôle des températures extrêmes.

Lorsqu'il s'agit de mesures anciennes effectuées dans des conditions parfois précaires, avec des instruments de qualité douteuse, ces tests ne peuvent pas valider la qualité des observations. Valables pour des erreurs individuelles, ils trouvent leur limites dans le cas d'un défaut collectif. Les thermomètres, à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle n'étaient pas tout à fait au point. Ceux qui étaient recommandés par les Sociétés Savantes n'étaient pas dépourvus de défauts. Ainsi, il est envisageable que tous les thermomètres d'une zone aient le même défaut. Dans ce cas, le contrôle proposé est sans objet, le recours à d'autres vérifications s'impose.

La comparaison avec une ou plusieurs stations voisines permet de détecter d'importantes erreurs, mais ne décèle pas de fines erreurs qui, si elles sont continuelles, ont une incidence non négligeable sur la moyenne.

### *HETEROGENEITE DUE A DES CAUSES INSTRUMENTALES*

La détection d'hétérogénéités en utilisant les tests statistiques fait suite à la description des erreurs qui peuvent être liées aux changements d'instruments ou de condition d'observation. Ces modifications, perturbations ou évolutions sont susceptibles de détruire l'homogénéité d'une série d'observation. Avant de soumettre la série des mesures aux tests statistiques, il est de loin préférable de rechercher les changements et évolutions liées aux instruments de mesure.

L'auteur ne prétend pas les rassembler tous mais en signale les principaux.

Des perturbations, des changements d'instruments ou de condition d'observation peuvent introduire aussi bien des modifications brutales dans les mesures effectuées, dont l'importance peut être très variable, que des variations faibles et continues dans le temps.

Ces recommandations sont extraites du fascicule d'ABBOT : "*Guidelines on the quality control of surface climatological data*" publié par l'O.M.M. en 1986 (19).

#### → *Changement d'instrument*

Tous les instruments ont des sensibilités limitées. La constante de temps diffère d'un appareil à un autre. Les changements de temps surtout lorsqu'ils sont brusques ne sont pas perçus de manière identique par différents instruments. D'autre part, la science perfectionne les instruments. La substitution d'un instrument défectueux au profit d'un instrument meilleur provoque une cassure de la série des mesures. Un changement de type d'instrument cause presque toujours une irrégularité soudaine dans les données. Il doit être mentionné dans un registre.

#### → *Erreurs instrumentales*

Même lorsqu'un instrument est correctement lu, sa valeur peut être mauvaise à cause d'une imparfaite validation de l'instrument, cela pour plusieurs raisons :

\* La réponse est présumée parfaitement linéaire. Cette erreur est fréquente dans les thermomètres du milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle. Ils étaient étalonnés à partir des deux points extrêmes (0°, 100°). L'échelle associée était divisée linéairement entre ces deux points. La dilatation non linéaire de certains mélanges de liqueurs (liquides) utilisées, occasionne des erreurs dont l'importance est maximale au milieu de l'échelle. De plus cette méthode de graduation introduit des différences entre les différents liquides utilisés.

\* La méthode de validation est imparfaite. C'est notamment le cas lorsque le montage utilisé pour la validation diffère de celui utilisé en exploitation.

\* Il existe un décalage de la validation. Celui-ci peut être graduel ou soudain. Un choc ou un mauvais traitement peut en être la cause.

→ *Changement du lieu d'exposition*

Si un instrument est déplacé, soit horizontalement, soit verticalement, il occasionnera presque à coup sûr un changement soudain dans les mesures. Même les petits mouvements causent des perturbations. Ils occasionnent un changement des distances relatives aux objets voisins qui ne sont pas sans effet sur les

instruments (rayonnement). Changer la hauteur des instruments cause des modifications substantielles des mesures thermiques.

→ *Changements liés à l'abri*

Toute modification de l'abri, de l'installation à l'intérieur, de l'environnement proche, cause une modification du comportement des capteurs à l'intérieur de l'abri :

- \* Changement de l'abri.
- \* Changement de la taille de l'abri
- \* Le changement du plancher de l'abri altère la circulation de l'air à l'intérieur.
- \* Le changement de la position des instruments dans l'abri. Par certaines conditions météorologiques se créent des gradients substantiels de température entre les parois et le centre de l'abri.
- \* Changement du support de l'abri. Particulièrement entre les structures très solides, et les fixations légères. Dans le dernier cas, l'abri bouge avec le vent.
- \* Changement de la surface du sol sous l'abri. Notamment la longueur de l'herbe cause des modifications de comportement du rayonnement thermique provenant du sol.
- \* Le changement de support des instruments dans l'abri occasionne une modification interne.



\* Le changement de couleur de l'abri par détérioration de la peinture ou parce qu'il devient sale ne semble pas causer de sérieuses divergences.

→ *Evolution progressive du lieu d'exposition, du capteur*

La plupart des changements sont progressifs, ils introduisent une tendance dans les données.

\* La stabilité graduelle du sol affectera les gradients de température près de la surface.

\* La croissance progressive des arbres et arbrisseaux peut occasionner des effets opposés : ils peuvent atténuer ou augmenter la turbulence selon la distance séparant capteurs et végétation.

\* L'urbanisation cause également des effets analogues. De plus elle est source de chaleur et de pollution affectant visibilité et radiation.

\* Le capteur peut se détériorer lentement au cours des années, il peut être la cause d'une lente dérive des mesures souvent non perceptible au début.

→ *Autres facteurs*

La valeur mesurée par un capteur peut se présenter à l'utilisateur sous différentes formes : graphique, compteur, enregistreur, enregistrement électronique, lecture directe

associée à une échelle. Chaque méthode a ses défauts dûs aux frictions et vibrations extérieures, parallaxe, sensibilité du capteur, et aux conditions de l'environnement (température, humidité, ventilation). Une hétérogénéité dans les données peut être introduite même si le capteur est inchangé, et si seulement la méthode d'indication est changée.

→ *Conclusions et recommandations de l'O.M.M.*

Il y a beaucoup de pièges introduits lors du changement d'un instrument notamment pour ceux qui sont animés d'un mouvement. Des précautions sont à prendre pour minimiser les effets. Il est nécessaire de tout noter, de bien définir le site, l'exposition et tout changement effectué. Toute intervention, maintenance, peinture doit être notée ainsi que tous les changements d'instrument, même si le remplaçant est de même type. Le site doit être régulièrement visité, des évaluations indépendantes peuvent être faites et les instruments contrôlés avec des étalons.

Lorsqu'un instrument est remplacé par un instrument de type différent, les deux instruments doivent être utilisés simultanément, si possible, durant deux années pour quantifier toutes les différences.

*LA DETECTION DE L'HETEROGENEITE  
DANS LES SERIES DE MESURES*

En 1955, R. SNEYERS (21) s'exprimait ainsi à propos de l'homogénéité des mesures météorologiques :

"Ce phénomène prend une importance considérable en climatologie, étant donné que l'amélioration constante des méthodes ne permet pas, en général, de considérer les résultats, obtenus au cours de périodes plus ou moins longues, comme tous comparables entre eux. Aussi, lors de l'étude de ces résultats, court-on fréquemment le risque d'attribuer à la variable météorologique étudiée des propriétés qui, en réalité, résultent des modifications apportées aux conditions expérimentales. La valeur de telles études peut donc se trouver amoindrie si l'on n'a pas détecté au préalable les perturbations artificielles qui ont affecté ces observations et si l'on a pas tenté d'estimer l'ampleur des hétérogénéités."

Tiré de R. SNEYERS, Sur la détermination de l'homogénéité des séries climatologiques, 1955

L'hétérogénéité prend une forme de tendance, oscillation, ou dérive, ou bien une combinaison des trois. Le but du test d'homogénéité est d'indiquer la présence d'une irrégularité dans les données parmi celles-ci, et si possible, de préciser de quelle forme d'irrégularité il s'agit, si elle est significative ou pas.

Le choix des méthodes dépend souvent du support qui contient les données. Pratiquement toutes les méthodes qui utilisent la comparaison avec d'autres données font la supposition qu'une bonne corrélation entre les données existe, même si le degré de corrélation n'a pas été discuté.

En conclusion, lorsqu'on essaie de savoir si les données sont homogènes ou pas, l'affirmation doit résulter d'une bonne information. Pour cette raison, toutes les données disponibles

doivent être analysées. La comparaison avec le même paramètre mesuré dans une station voisine bien choisie, sera presque toujours meilleure que la comparaison avec d'autres paramètres mesurés dans la même station. Parallèlement, les conclusions provenant de comparaisons faites avec plus d'une station, selon la méthode de SPACKMAN, apportent plus de poids que la déduction provenant d'une comparaison effectuée avec seulement une station voisine. Si on peut démontrer une différence significative par des tests indépendants, comme une comparaison avec des voisins proches et une comparaison avec un autre paramètre, alors, la conclusion a beaucoup plus de chance d'être valide.

→ *Tests de libre distribution*

Dans les années récentes, un grand intérêt fut donné aux statistiques qui ne font aucune supposition sur la distribution des données. Ces tests d'ordre ont l'avantage de nécessiter un minimum de calculs. Comme pour les tests paramétriques, les séries ne doivent pas être corrélées.

Les différents tests proposés par l'OMM sont les suivants :

- \* Ordre de classement
- \* Test de changement de la valeur moyenne (test de WILCOXON)
- \* Test pour la distribution des différences (test de KOLMOGOROV-SMIRNOV)

→ *Conclusions et recommandations de l'O.M.M.*

Les tests énoncés permettent d'établir si des hétérogénéités perturbent les données. Mais il faut être très prudent sur les conclusions. Pour s'en assurer, plusieurs points doivent être décrits :

\* Le test doit être valide pour la circonstance.

\* Nécessité d'obtenir une preuve complémentaire pour appuyer la conclusion, soit par un test complémentaire, soit par l'examen historique de la station mentionnant les changements d'instruments.

\* Lorsque des opérations portent sur des données antérieures pour analyse, il est important que leurs effets soient correctement connus. Ces indications doivent aider à expliquer les résultats obtenus.

\* Si on a des doutes sur une technique particulière, il faut l'essayer sur une série dont on connaît le résultat.

Les tests décrits fournissent le moyen d'établir si des hétérogénéités sont mêlées aux données. Dans le sens inverse, la méthode fournit le moyen de savoir si les mesures sont homogènes. S'il est nécessaire d'homogénéiser les données pour un besoin particulier, les archives originelles ne doivent pas être détruites et remplacées par les données homogénéisées. Les travaux futurs peuvent produire de meilleures méthodes qui nécessiteront un accès aux données primaires. Le manuscrit est le document de base rapportant une observation; c'est le seul document à partir duquel les reconstitutions sont permises.

## 4.4 PRECAUTIONS A PRENDRE AVANT LE TRAITEMENT DES MESURES ANCIENNES

Les recommandations provenant de l'O.M.M. tout à fait adaptées pour les observations contemporaines, nécessitent d'être complétées et adaptées pour les mesures anciennes des XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles, tout au moins au début de ce dernier.

L'objet de ce paragraphe est d'attirer l'attention sur les points qui peuvent être à l'origine de mesures défectueuses, les erreurs provenant de l'instrument ou des conditions d'observation. Seuls les points relatifs à la mesure thermique de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle seront abordés.

Les différents types de thermomètres utilisés, les différentes expositions, présentaient à l'époque de très grandes divergences. Celles-ci sont à l'origine de la non-homogénéisation des données thermiques brutes. Les comparaisons entre les différents lieux sont très délicates, voire parfois impossibles, de même que la reconstitution des séries thermiques. L'examen attentif des instruments et des méthodes d'observation permet d'appréhender avec une plus grande finesse la série des mesures.

Les thermomètres utilisés en France au XVIII<sup>e</sup> siècle finissant étaient le plus souvent de type REAUMUR, soit à alcool, soit à

mercure. Ces derniers remplaçaient de plus en plus les thermomètres à alcool.

Les constructeurs CAPPY, MOSSY, GOUBERT, RETZ très connus et recommandés, étaient fort habiles et construisaient de "*bons*" instruments. A coté d'eux, une multitude d'artisans ne possédant que des connaissances rudimentaires, en fabriquaient des plus divers dont les "*marches*" ne sont aucunement comparables. Ils les vendaient à des prix très bas, incitant les observateurs à se fournir chez eux.

Aux erreurs qui pouvaient être commises, s'ajoutaient des erreurs provenant d'une mauvaise construction ou d'un mauvais étalonnage de l'instrument, ainsi que des erreurs liées à son installation très particulière, et à l'environnement. L'heure des observations n'est pas une erreur de mesure, elle introduit un degré supplémentaire de difficulté pour effectuer des comparaisons.

## *PRECAUTIONS A PRENDRE SELON LE THERMOMETRE UTILISE*

Ces précautions concernent le thermomètre et son support direct (planchette). Après avoir signalé les causes d'erreur dues à l'instrument dans le cas général, nous préciserons celles qui sont liées à chacun des deux types de thermomètre utilisé : le thermomètre à alcool et le thermomètre à mercure. BEAUSSIEU, COTTE, DELUC, GOUBERT, et VAN SWINDEN avaient une profonde connaissance des thermomètres. Dans leur littérature se décèlent les erreurs de mesure.

### *→ Erreurs du thermomètre ou de son support direct*

#### *\* Changement du thermomètre et/ou de son support*

Les conseils de l'O.M.M. dans le cas d'un changement d'instrument ou de son support sont tout à fait valables et applicables quelle que soit l'époque. Toutes les modifications, que ce soit le changement du thermomètre ou celui de son support, ou même une petite partie de celui-ci, peut causer des modifications dans la mesure de la température. La modification est brutale, s'il y a une perturbation, elle apparaît sous forme de cassure dans la série des données. Si de nos jours ces informations sont enregistrées, elles ne l'étaient pas forcément dans le passé. Si l'observateur l'avait consciencieusement fait, retrouver la trace écrite, est un travail considérable pour un résultat aléatoire.

#### *\* Support du thermomètre*



La nature du support du thermomètre donne lieu suivant la matière qui le constitue, à des écarts importants entre la température mesurée et celle de l'air. Les matériaux isolants sont fortement recommandés. A cette époque le bois était à peu près le seul matériau qui convenait. Les métaux, bons conducteurs de la chaleur, échangent facilement de la chaleur avec l'extérieur par rayonnement, et sont souvent à des températures différentes de celles de l'air. Ils introduisent une perturbation sensible.

Les graduations marquées sur le support, parfois sur une feuille de papier collée, présentent une source de grossières erreurs. Le thermomètre peut glisser le long de l'échelle, l'humidité allonge le papier qui peut se gondoler ou se déplacer. L'indication lue ne correspond plus à la température réelle. Ces erreurs qui peuvent être importantes n'échappaient pas en général à l'analyse faite par COTTE. Et plus grave encore, les mêmes feuilles de papier graduées étaient parfois associées à des thermomètres à échelles différentes.

*\* Espace autour du réservoir du thermomètre*

La partie la plus sensible du thermomètre est celle qui contient le plus de liquide thermométrique : le réservoir. S'il est en contact direct avec son support, influencé par des échanges conductifs directs, il indique une température définie par celle de l'air et celle du support. Pour réduire cette influence il est nécessaire d'évider la partie du support sous le réservoir.

Les thermomètres pour les bains construits par ASSIER PERICA, étaient enveloppés dans une protection en verre. Cette enveloppe diminuait fortement leur sensibilité. La température de l'air mesurée avec ces instruments, sorte d'intégration moyenne de la température des instants précédents la lecture, ne reflète pas la température de l'air au moment de la mesure.

\* *La graduation du thermomètre*

Même si la graduation est effectuée sur le verre, elle n'est pas pour autant parfaite. Les erreurs peuvent provenir d'un défaut de construction. Deux types d'erreur sont à l'origine d'écarts significatifs sur la mesure :

a) Pour tenter de faire accorder les mesures effectuées avec les thermomètres à alcool, avec celles provenant du thermomètre à mercure, les constructeurs rattrapaient la différence de dilatation par des échelles fantaisistes, fixant le point de l'ébullition de l'eau jusqu'à  $110^{\circ}$  (22). La confusion entre la température d'ébullition de "l'esprit de vin" proche de  $80^{\circ}\text{C}$ , et le terme de l'eau bouillante fixé au 80<sup>e</sup> degré par REAUMUR, a conduit à ces aberrations. Peu significatives pour les basses températures, les erreurs le deviennent en été par forte chaleur.

b) La deuxième erreur provient de la non-linéarité de la loi de dilatation de certains liquides thermométriques. La division linéaire de l'échelle 0-80, n'est valable que pour les températures proches de ces deux points. En dehors de

ces extrémités, la température lue s'écarte de la vraie température; cette différence est maximale pour les températures au milieu de l'échelle. Cette méthode de graduation employée par les faiseurs d'instruments causait deux types d'erreurs :

- D'une part, un écart causé par la dilatation particulière du liquide thermométrique utilisé (*l'esprit de vin*).
- d'autre part, une différence considérable des indications lorsque la même méthode de division affectait les deux types de thermomètres (mercure et *esprit de vin*).

Les dilatations du mercure et de "*l'esprit de vin*" ne sont pas proportionnelles. Les valeurs lues sur le thermomètre à "*esprit de vin*" gradué linéairement étaient très inférieures à celles indiquées par le thermomètre à mercure (23). Cette différence supérieure à 1°C pour les températures de 5°C, s'élève à 5°C pour une température de 35°C.

Ces irrégularités notables, signalées par les savants, les partagent entre les partisans d'échelles linéaires divisées en parties égales, et les autres. En 1770, ROI s'exprimait ainsi lors d'une réunion à l'Académie des Sciences (24) :

"Les thermomètres qui n'ont pas été faits d'après un même thermomètre servant de modèle, diffèrent souvent entre eux, quoique soigneusement gradués par la même méthode."

(Tiré de : Roi, Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, 1970, de BEAUSSIEU p 156)

DELUC s'opposait à de telles pratiques (25) :

Car il faut absolument que la construction de ce thermomètre soit aisée, pour que le moindre artiste puisse l'exécuter; sans quoi nous serons toujours inondés de mauvais thermomètres, réputés bons. Or sa construction ne serait pas aisée, s'il fallait abandonner l'échelle divisée en parties égales, pour le rapprocher de la vraie marche de la chaleur...

Tiré de : DELUC Recherches sur les modifications de l'atmosphère, Paris, 1784

Pour rattraper ces différences, les artistes constructeurs dotaient leurs thermomètres de divisions arbitraires. Ils déterminaient la température de l'eau bouillante à 110° (au lieu de 80° REAUMUR) afin que les thermomètres à "*esprit de vin*" s'accordent avec ceux à mercure pour les degrés inférieurs; Tels CAPPY, PASSEMENT et d'autres (26).

Ces notions préoccupèrent beaucoup les "*faiseurs d'instruments*" qui essayaient d'y remédier par des méthodes artificielles. Ces derniers furent à l'origine d'énormes difficultés d'interpolation des mesures.

Lorsque les savants utilisèrent le thermomètre à mercure et le thermomètre à "*esprit de vin*" gradués de la même manière, ils s'aperçurent de cette différence. Un thermomètre centésimal à mercure divisé en degrés égaux indique une température plus élevée de 4 degrés, à la température de 35°, qu'un thermomètre construit sur les mêmes principes rempli "*d'esprit de vin*". Ces deux thermomètres ne s'accordent qu'aux termes de la fusion de la glace et de l'ébullition de l'eau.

GOUBERT a remédié à cette anomalie en divisant l'échelle en 3 intervalles inégaux. Chacun d'eux est divisé en degrés égaux. L'écart entre le thermomètre à mercure et le thermomètre à "esprit de vin" qui était voisin de 5 degrés au milieu de l'échelle, devient inférieur au degré par cette méthode (27, Fig 4.16).

N <sup>o</sup> . 1. TABLE de la marche de deux Thermom. divisés tous deux en 100 degrés égaux, de la glace à l'eau bouillante.			N <sup>o</sup> . 2. TABLE de la correspondance de 2 Therm. suivant la méthode que j'ai proposée §. 50.		
Th. à Mercure. Echelle de Christin.	Th. à Esprit-de-vin. Echelle de Celsius.	Différences.	Th. à Mercure.	Th. à Esprit-de-vin.	Différences.
100 . . . Eau . . .	100 bouillante. 0		180 . . . Eau . . .	180 bouillante. 0	
95 . . . . .	93 $\frac{1}{2}$ . . . . .	1 $\frac{1}{2}$	175 . . . . .	174 . . . . .	1
90 . . . . .	87 $\frac{1}{4}$ . . . . .	2 $\frac{3}{4}$	170 . . . . .	169 . . . . .	1
85 . . . . .	81 $\frac{1}{2}$ . . . . .	3 $\frac{1}{2}$	165 . . . . .	164 . . . . .	1
80 . . . . .	76 . . . . .	4	160 . . . . .	160 $\frac{1}{4}$ . . . . .	$\frac{3}{4}$
75 . . . . .	70 $\frac{1}{4}$ . . . . .	4 $\frac{3}{4}$	155 . . . . .	155 . . . . .	
70 . . . . .	65 . . . . .	5	150 . . . . .	150 $\frac{1}{2}$ . . . . .	$\frac{1}{2}$
65 . . . . .	60 . . . . .	5	145 . . . . .	145 $\frac{1}{2}$ . . . . .	$\frac{1}{2}$
60 . . . . .	54 $\frac{3}{4}$ . . . . .	5 $\frac{1}{4}$	140 . . . . .	140 . . . . .	
55 . . . . .	49 $\frac{3}{4}$ . . . . .	5 $\frac{1}{4}$	135 . . . . .	135 $\frac{1}{4}$ . . . . .	$\frac{1}{4}$
50 . . . . .	44 $\frac{3}{4}$ . . . . .	5 $\frac{1}{4}$	130 . . . . .	130 $\frac{1}{2}$ . . . . .	$\frac{1}{2}$
45 . . . . .	39 $\frac{3}{4}$ . . . . .	5 $\frac{1}{4}$	125 . . . . .	125 $\frac{1}{2}$ . . . . .	$\frac{1}{2}$
40 . . . . .	35 . . . . .	5	120 . . . . .	120 $\frac{3}{4}$ . . . . .	$\frac{3}{4}$
35 . . . . .	31 . . . . .	4	115 . . . . .	115 $\frac{1}{2}$ . . . . .	$\frac{1}{2}$
30 . . . . .	26 . . . . .	4	110 . . . . .	110 . . . . .	
25 . . . . .	22 . . . . .	3	106 Chaleur des Serres chaudes.		
20 . . . . .	17 . . . . .	3	105 . . . . .	105 . . . . .	
15 . . . . .	12 . . . . .	3	100 . . . . .	100 $\frac{1}{2}$ . . . . .	$\frac{1}{2}$
10 . . . . .	8 . . . . .	2	95 . . . . .	95 $\frac{1}{2}$ . . . . .	$\frac{1}{2}$
5 . . . . .	5 $\frac{1}{2}$ . . . . .	$\frac{1}{2}$	90 . . . . .	90 GLACE . . . . .	
0 . GLACE . . . . .	0 GLACE . . . . .		85 . . . . .	85 $\frac{1}{4}$ . . . . .	$\frac{1}{4}$
			80 . . . . .	79 $\frac{1}{2}$ . . . . .	$\frac{1}{2}$
			75 . . . . .	75 $\frac{3}{4}$ . . . . .	$\frac{3}{4}$
			* 72 . . . . .	73 . . . . .	1

Je n'ai pas poussé plus loin cette Table; on voit assez les différences qui se trouvent dans cette manière de diviser.

\* Je n'ai pu produire pour le moment, de plus grand froid que celui-là.

Fig 4.16 Table de comparaison de deux échelles thermométriques divisées en degrés égaux (Illustration tirée de GOUBERT p27)

\* *La dilatation du verre*

La lecture d'une température correspond à l'indication résultant d'un état d'équilibre entre l'instrument, et le milieu dans lequel il se trouve (les variations thermiques de l'air sont suffisamment lentes pour admettre qu'il en est ainsi). Le liquide thermométrique et le verre se dilatent sous l'effet de la chaleur. La température indiquée est le résultat de l'action de la chaleur sur ces deux corps. Les dilatations du liquide et du verre ont des effets qui se contrarient. La chaleur augmente le volume du réservoir et allonge la colonne du thermomètre. Cet effet n'est pas négligeable sur les thermomètres, notamment ceux à mercure. La mesure thermique correspond donc à la mesure de la dilatation apparente du liquide thermométrique. Suivant la composition du verre utilisé, son coefficient de dilatation est compris entre 4 et  $10 \cdot 10^{-6}$ . Celui du mercure est de :  $1,8 \cdot 10^{-4}$ .

\* *Décalage du zéro*

Les verres utilisés pour les thermomètres, s'ils n'étaient pas recuits, se déformaient dans le temps. Cette déformation très lente et très faible ne fut mise en évidence qu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Pas ou peu visible sur les thermomètres à "esprit de vin" du fait de la forte dilatabilité de ce fluide par rapport au verre, ces déformations ont inquiété les savants utilisant les thermomètres à mercure.

*\* Obtention du point zéro*

Un thermomètre placé dans de la glace fondante, n'indique pas à coup sûr une température de zéro degré. La composition du mélange eau-glace, la température de la glace, l'agitation du bain, contribuent à diverger du point zéro.

*\* Air renfermé dans les thermomètres*

Si les expériences sur la dilatation faites par l'abbé BEAUSSIEU (28) et d'autres savants ne font apparaître aucune différence dans la marche des thermomètres, l'air contenu dans la colonne du thermomètre ainsi que celui qui reste dans le liquide, amène d'importantes erreurs. (29). Les micro-particules d'air se rassemblent, et créent une bulle à l'intérieur du liquide. Celle-ci qui a sa propre loi de dilatation déplace, le sommet de la colonne. La lecture provient du résultat des dilatations du liquide et de l'air.

Le thermomètre à mercure est perturbé par l'air, qui en plus des effets indésirables, ternit le mercure. Des traces se déposent sur le verre, le volume de liquide diminue, la lecture devient difficile : l'indication devient inexacte.

*\* Effet du rayonnement*

Placé à l'air libre, les thermomètres sont soumis à la loi des échanges radiatifs avec l'environnement. Les thermomètres à mercure absorbent davantage le rayonnement que les thermomètres à alcool, ils indiquent une température plus élevée.

L'absorption varie en proportion du volume et selon la forme du réservoir.

Des expériences du début du XIX<sup>e</sup> siècle de BRAVAIS (30) et de Sainte Claire DEVILLE (31) signalent des écarts, suivant le type de thermomètre, pouvant dépasser 1°C à la mi-journée par ciel clair. La température la plus élevée est indiquée par le thermomètre à mercure. Le réservoir de ce dernier de forme cylindrique avait un diamètre de 6 à 8 mm. Que dire des thermomètres du XVIII<sup>e</sup> siècle dont la boule avait un diamètre de près de 2 cm ?

BRAVAIS conclue ainsi :

"Il paraîtrait en résulter que pendant les mois d'été les températures de midi et de trois heures après midi, telles qu'on les obtient généralement pourraient bien avoir un excès de 1° environ dans la moyenne mensuelle, et la température maximale dépasser encore davantage la température vraie comme M. MAILLE l'a dit dans sa théorie des hydrométéores p327."

Tiré de : BRAVAIS, Annuaire de la Société Météorologique de France, 1853 pp127-135

L'observation thermique faite à Trappes montre une différence du même ordre de grandeur entre deux thermomètres exposés à l'air libre, l'un d'eux étant au toluène, l'autre à mercure. Celle-ci est plus élevée par ciel clair en mi journée, ou peu de temps après que le soleil ait éclairé les thermomètres.

### → *Thermomètres à esprit de vin*

#### \* *Avantages*

Hormis le fait qu'on s'était habitué à observer les thermomètres à "*esprit de vin*", que leur construction est plus facile et plus sûre, que l'usage est plus commode, que leur



durée de vie est plus certaine, et qu'ils sont moins onéreux que les thermomètres à mercure les thermomètres à "esprit de vin" ont des propriétés qui sont à leur avantage.

- La plus forte dilatation de "l'esprit de vin" par rapport à celle du mercure rend moins sensible la dilatation du verre des thermomètres à "esprit de vin" entre le "terme" de la glace et celui de l'eau bouillante. Cette cause introduit dans ces thermomètres une différence de  $1/3$  de degré, elle est de  $2^{\circ}$  pour les thermomètres à mercure divisés en  $80^{\circ}$  (32).

- Le point de solidification de "l'esprit de vin" ( $-112^{\circ}\text{C}$  pour l'alcool) plus bas que celui du mercure ( $-39^{\circ}\text{C}$ ) permet de mesurer les températures des régions froides du globe.

- "l'esprit de vin" se colore très facilement, sa couleur est vive, il se voit facilement. Les thermomètres s'observent aisément à l'âge où la vue s'affaiblie, ou placés dans un endroit obscur, ou lorsque l'observation s'effectue au travers d'une vitre sans l'ouvrir. De plus, la taille de sa colonne et la dilatation assez lente, font que la présence humaine, ne perturbe pas l'observation (33).

- Dans un thermomètre fermé, "l'esprit de vin" peut s'échauffer au-delà de  $100^{\circ}\text{C}$  sans bouillir (34).

\* *Défauts*

Deux défauts principaux causent des erreurs qui peuvent être importantes :

- La difficulté à reproduire des esprits de vin comparables qui ont la même "force" (le même degré d'alcool), donc la même loi de dilatation.

- La loi de dilatation de "l'esprit de vin" n'est pas linéaire. Les thermomètres gradués linéairement présentent des erreurs importantes. De plus ils ne sont pas comparables avec les thermomètres à mercure. GOUBERT (35) s'exprimait ainsi :

"Il ne s'agit que de graduer l'échelle de ces thermomètres à esprit de vin de façon qu'ils s'accordent exactement avec ceux à mercure. C'est ce qui est impossible aussi longtemps que l'échelle des thermomètres à esprit de vin sera divisée en degrés égaux."

Tiré de : GOUBERT recherches sur les différences qui existent entre les thermomètres de mercure et ceux d'esprit de vin, et sur les moyens d'y remédier, 1789, p53

- Tendance à la décoloration, mais le thermomètre de l'Observatoire vieux de 80 ans "n'a pas perdu sa vertu".

- "l'esprit de vin" bout à 78°C, il augmente la difficulté à régler les thermomètres sur le terme de l'ébullition de l'eau.

### → Thermomètres à mercure

#### \* Avantages

- Le mercure supporte les températures élevées. Son point d'ébullition se situe à 357°C

- Liquide plus facile à purger.

- Constance de sa composition du fait que c'est un corps pur. Tous les thermomètres faits avec du mercure suivront la même loi de dilatation.

- La dilatation du mercure est linéaire.

- Mise en équilibre thermique plus rapide.
- Moins évaporable que les "esprits" (alcool).

\* *Défauts*

- Il ne peut pas être utilisé pour les grands froids (température de fusion  $-39^{\circ}\text{C}$ ).
- Faible dilatation. On y remédie en faisant les tubes plus petits.
- Le mercure s'oxyde, et salit le tuyau surtout en présence d'air à l'intérieur du thermomètre. Le dépôt de crasse sur le tube augmente la difficulté de la lecture, il diminue le diamètre du tuyau (36).
- La difficulté de lecture, du fait de sa couleur, demande à l'observateur de se rapprocher du thermomètre. L'haleine risque de le réchauffer et de modifier l'indication.
- Les défauts dûs au verre sont plus visibles : dilatation, étalonnage, évolution dans le temps.

## *PRECAUTIONS A PRENDRE SUIVANT L'ENVIRONNEMENT*

Les influences extérieures agissant sur le thermomètre, résultent de facteurs liés à sa situation et aux évolutions de son environnement proche. Une mauvaise installation, ou une consigne qui n'est pas suivie cause des erreurs de l'indication fournie par le thermomètre. L'environnement proche peut modifier sensiblement la température observée. Tout changement à proximité de l'instrument modifie son comportement. Les changements soudains créent une hétérogénéité brutale, alors que les évolutions progressives causent des dérives lentes des mesures. Il est évident que le déplacement du thermomètre a toutes les chances de modifier les données, surtout qu'au XVIII<sup>e</sup> siècle les changements visaient une amélioration de l'installation.

### *→ Erreurs dues à une mauvaise installation*

C'est le cas lorsque les consignes ne sont pas toutes suivies, ou lorsque les conditions ne s'y prêtent pas. Seul un examen attentif de la description de l'installation permet de déceler ces anomalies. Reproduire ces conditions permet d'en déterminer les effets.

*\* La hauteur du thermomètre depuis le sol a un effet très sensible sur la température mesurée.*

Le profil vertical de température varie énormément dans les très basses couches de l'atmosphère (0-10 mètres). A 1,50 m,

hauteur normalisée de la mesure de la température sous abri de nos jours, l'amplitude diurne est en moyenne de l'ordre d'une dizaine de degrés sous nos latitudes. Au niveau du sol elle dépasse souvent 20 ou 30 degrés. De plus elle dépend fortement de sa nature et de son albédo.

La nuit le refroidissement est plus important au niveau du sol qu'à 1, 50 m de hauteur. La journée au contraire le sol est plus chaud que les couches d'air immédiatement au-dessus.

Ainsi, plus le thermomètre est près du sol, plus les températures du matin et de la nuit sont basses, et plus celles de l'après midi sont élevées. Par ailleurs, un thermomètre placé au second étage ne voit pas la même température que celui fixé à 1,50 m au-dessus du sol.

*\* Protection des précipitations*

L'état du thermomètre "sec" ou "mouillé", ne figure pas dans les manuscrits. Apparemment cette question ne semble pas avoir inquiété les médecins et autres observateurs. La présence d'eau ou de rosée sur le réservoir du thermomètre peut avoir une incidence sur la température.

Lorsque l'eau qui se trouve sur le réservoir s'évapore, celui-ci se refroidit. La température sera d'autant plus basse que l'air est sec. Pendant une précipitation, l'air est saturé ou proche de cet état, l'évaporation faible ou nulle est sans effet notable. Lorsque la pluie a cessé, l'air n'est plus

saturé, l'eau sur la boule du thermomètre s'évapore. Des différences entre la température de l'air et la température lue peuvent alors exister. Cette différence peut devenir importante pour certains types de temps.

Les observations faites à Trappes n'ont pas fait apparaître d'erreurs significatives lorsque le thermomètre était mouillé. Peu nombreuses, il ne faut pas généraliser sur quelques cas.

Un thermomètre mouillé peut introduire une erreur de mesure, la connaissance du taux d'humidité au moment de la mesure est un élément d'appréciation de l'erreur possible.

→ *Erreurs causées par l'environnement proche*

Les échanges radiatifs avec l'environnement, les réflexions, l'écoulement de l'air, sont les principales causes qui modifient localement la température.

\* *Source de chaleur à proximité du thermomètre*

La plupart des thermomètres sont fixés sur un mur extérieur d'une pièce non chauffée dans laquelle se trouvent les autres instruments. Il arrive parfois qu'une cheminée de chauffage (ou d'un four à pain autrefois) soit à proximité du thermomètre. La chaleur bien plus élevée que celle d'une pièce chauffée perturbe l'environnement proche. Les mesures, surtout en hiver, peuvent s'écarter d'autant plus de la température réelle de l'air que le thermomètre est proche du mur.

*\* Distance du mur ou du support séparant le thermomètre*

Plus le thermomètre est proche et solidaire du mur, plus il subira les influences de celui-ci. Cette influence précisée dans les recommandations de COTTE peut ne pas être négligeable. La température du mur peut différer sensiblement de celle de l'air. Le mur transmet sa chaleur à tout objet à proximité, par conduction si le thermomètre est collé au mur, et dans tous les cas par rayonnement.

*\* Nature et couleur du mur*

Selon sa nature et sa couleur le mur absorbe plus ou moins la chaleur solaire, et la restitue après la disparition du soleil. C'est particulièrement le cas durant les mois proches du solstice d'été que cet effet est sensible. Le matériau qui le compose joue également un rôle important selon la capacité calorifique des éléments qui constituent le mur.

- L'observation du matin risque d'être affectée par cet effet surtout si le thermomètre est orienté au Nord-Est, car elle est effectuée au moment du lever ou peu après.

- L'observation du soir ayant souvent lieu quelque temps après la disparition du soleil peut subir l'effet de rayonnement du mur surtout si le thermomètre est collé sur ce dernier. Cet effet diminue avec le temps séparant le coucher du soleil de l'observation. Il est augmenté si le mur est orienté vers l'ouest ou le nord ouest. Une orientation au Nord reçoit durant

les mois de juin et juillet les rayons du soleil tôt le matin et tard le soir.

La température mesurée peut donc être plus élevée, le matin et le soir, d'une quantité dépendant de la nature et de la couleur du mur, que celle de l'air avoisinant.

*\* Nature de l'état du sol*

Les recommandations actuelles de l'Organisation Météorologique Mondiale demandent de mettre l'abri météorologique au-dessus d'un sol représentatif du lieu (gazonné pour la France). Ce choix est nécessaire pour uniformiser les mesures. Le rayonnement issu d'un sol gazonné vers l'abri n'est pas comparable à celui qui proviendrait d'un sol pavé ou de sable par exemple. Le sol chauffé par le soleil renvoie plus ou moins de chaleur selon la nature de sa couverture. L'abri assure un écran à ce rayonnement. Avant son existence, le pavé de la rue ou le chemin herbeux généraient des apports différents de chaleurs vers le thermomètre.

*\* Réflexion vers le thermomètre*

Il y a des obstacles qui par leur pouvoir de réflexion occasionnent un apport de chaleur : un mur de bâtiment peint en blanc, ne réfléchit pas de la même manière que s'il est peint en noir. Certains matériaux absorbent de la chaleur dans la journée et la restituent le soir. Ils causent une élévation de la température observée en fin de la journée.



*\* Etendue libre devant le thermomètre, obstacles de proximité*

La température d'un thermomètre fixé sur un mur orienté au nord faisant face à une construction proche (rue étroite par exemple), sera différente d'un thermomètre installé dans les mêmes conditions n'ayant aucun obstacle face à lui. La proximité de constructions est un obstacle à l'échange de chaleur avec le milieu avoisinant. Les obstacles à proximité modifient l'écoulement de l'air. Suivant les conditions, ils favorisent un réchauffement ou un refroidissement.

*→ Erreurs dues à un changement soudain*

- \* Changement du lieu d'exposition.
- \* Changement de l'environnement.
- \* Changement de l'état de surface du sol.
- \* Changement du support du thermomètre.
- \* Changement du revêtement mural (peinture, matériau).

Tous ces changements sont des causes d'hétérogénéité des mesures. Ils doivent être notés par l'observateur. Les cassures sont brutales et se remarquent assez facilement. A posteriori, il est possible de les repérer. Elles sont décrites dans le fascicule de l'O.M.M. qui précise les directives pour le contrôle des données (19).

*→ Erreurs dues à une évolution progressive de l'environnement*

- \* Evolution progressive de la végétation.
- \* Evolution progressive de l'urbanisation.

\* Evolution progressive de l'environnement proche : état du sol, dégradation du bâtiment.

Les erreurs causées par des évolutions progressives de l'environnement modifient très lentement le milieu. Les déceler en l'absence d'information est parfois très délicat. Elles sont généralement décrites par l'O.M.M. et intitulées : "*directives pour le contrôle des données*" (19).

### *EFFET DU SOLEIL*

L'effet dû au soleil sur le capteur, s'il est indésirable pour les instruments enregistreurs et pour ceux indiquant les valeurs extrêmes, peut dans certains cas de lecture directe, ne pas occasionner d'erreur dans les mesures. Pour cela les observateurs doivent prendre la précaution de ne pas mesurer la température pendant l'exposition du capteur au soleil et durant les quelques instants qui suivent cette exposition.

Les périodes sujettes à ce risque sont proches du solstice d'été pour les thermomètres exposés au nord. Il en est autrement pour les capteurs exposés à l'est ou à l'ouest. L'observation du matin est la plus susceptible de subir cette influence car beaucoup de médecins effectuaient leur mesure au moment du lever du soleil.

L'observation du soir est souvent effectuée vers 22 heures lorsque le soleil est couché. L'observation de midi sauf cas

très exceptionnel d'une exposition très particulière n'est jamais altérée par le soleil direct.

Un traitement statistique relatif à l'amplitude moyenne entre la température du matin et celle du midi, permet, par comparaison avec l'amplitude actuelle, de déterminer s'il y a eu une influence du soleil ou non, car l'erreur commise est suffisamment importante. Reste le cas où l'observation est effectuée peu de temps après la disparition de l'influence directe du soleil sur le capteur. Le surcroît de température peut se limiter à quelques dixièmes de degrés qui ne sont pas décelables.

Un examen attentif des températures observées par jour de beau temps compte tenu du vent et de la situation météorologique peut lever quelques doutes.

### *L'HEURE DES OBSERVATIONS.*

A cette époque, où la mesure des températures extrêmes dans une journée n'existait pas, l'heure de l'observation est très importante surtout pour les jours ensoleillés et chauds (où l'amplitude thermique diurne est élevée). La variation de la température peut être de quelques degrés par heure, après le lever du soleil. Si l'observateur ne précise pas l'heure de son observation, on dispose alors d'une mesure pour laquelle il est très mal aisé de déceler une erreur. En effet, la température est une variable étroite du temps. On sait que pour l'observation du matin, un décalage d'une demi-heure par rapport à l'heure indiquée peut avoir une incidence de plus de 1°C sur la mesure de la température. Cette heure est très critique. C'est un des moments de la journée où la température varie le plus. Une étude d'ANGOT (détaillée p 209-216 infra) précise les effets causés par un changement de l'heure des observations.

L'observation de température faite vers midi ou en début d'après midi est moins sujette à erreur car proche de la valeur maximale. A ce moment, les variations de la température en fonction du temps sont en général faibles (sommet de la courbe). Toutefois un temps nuageux entrecoupé d'éclaircies peut occasionner des fluctuations durant un court intervalle de temps de plus de 1°C. Néanmoins, il faut rester très prudent, car les effets du rayonnement et des réflexions sur le thermomètre sont les plus importants à ces instants de la journée.

L'observation du soir mérite d'être définie, car elle se situe dans la courbe descendante du cycle journalier des températures. Un décalage horaire de courte durée est sujet à une variation de température comparable à celui du matin. Voilà une situation qui rend difficile la comparaison des séries thermiques entre elles.

Seuls les postes pour lesquels l'heure d'observation est connue peuvent après quelques corrections être comparés à d'autres.

L'histoire des thermomètres, leur multiplication par les savants, la reproduction par les "*faiseurs d'instruments*", les directives émises pour l'observation thermique de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, les directives pour le contrôle des observations de l'O.M.M., et l'étude statistique qui compare les deux modes d'observation, apportent les éléments nécessaires à l'étude des séries thermiques du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant. La grande enquête de la Société Royale de Médecine de 1776 a été largement suivie par les médecins. LEROY LADURIE (37) a effectué une étude statistique de ces données thermiques. Les éléments qui sont rassemblés ici permettent d'élaborer une étude préalable avant le traitement de ces données.

## NOTES DE RENVOI

- (1) METEOROLOGIE NATIONALE  
Abri météorologique grand modèle BMO - 1152  
Recueil de fiches instrumentales, fiche : B1  
TRAPPES, 1991
- (2) MIDDLETON W.E.Knowles  
A history of the thermometer and its use in meteorology  
BALTIMORE (USA), 1966, Page : 212
- (3) MIDDLETON W.E.Knowles Page : 213
- (4) MIDDLETON W.E.Knowles Page : 219
- (5) COTTE Louis  
Traité de Météorologie  
PARIS, 1774, Pages : 521-523
- (6) ANGOT Alfred  
Etudes sur le climat de la France, Températures : 1ère partie  
Stations de comparaison  
Annales du B.C.M. 1897, PARIS, 1899, pages : B93-B170
- (7) ANGOT Alfred  
Etudes sur le climat de la France : températures deuxième partie :  
variation diurne de la température  
Annales du BCM 1902, PARIS, 1905, pages : 41-130
- (8) O.M.M.  
Calculation of monthly and annual 30-years standard normals  
World climate programme, WMO TD N° 341, GENEVE, 1989
- (9) ANGOT Alfred pages : 112-123
- (10) DESAIVE J.P., GOUBERT J.P., LEROY LADURIE E., MEYER J.,  
MULLER O., PETER J.P.  
Médecins, climat et épidémies à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle  
PARIS, MOUTON, 1972, Page : 98
- (11) Il n'est pas question d'éliminer les valeurs extrêmes, car au XVIII<sup>e</sup>  
siècle, de telles mesures n'existaient pas.
- (12) DETTWILLER J.  
Les températures annuelles à Paris durant les 300 dernières années  
La météorologie VI<sup>e</sup> série, N° 25, BOULOGNE, 1981, juin, page : 106

- (13) MANLEY Gordon  
Mean temperature of central England 1698-1952  
Quaterly journal of the Royal Meteorological Society, Vol 79  
LONDRES, 1953, pages : 242-261
- (14) MANLEY Gordon  
Central England Temperature monthly means 1659 to 1973  
Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 100,  
LONDRES, 1974, pages : 389-405
- (15) MANLEY Gordon page : 391
- (16) DETTWILLER J. pages : 103-109
- (17) SPACKMAN E., SINGLETON F.  
Recent developments in the quality control of climatological data  
The meteorological magazine, Vol 111, N° 1325, Décembre,  
CAMBRIDGE, 1982, pages : 301-311
- (18) BRYANT G.W.  
Archiving and quality control of climatological data  
The meteorological magazine, vol 108, N° 1287, Octobre,  
BRACKNELL (U.K.), 1979, pages : 309-315
- (19) ABBOTT P.F.  
Guidelines on the quality control of surface climatological data  
WMO TD N°111 WCP 85, GENEVE, 1986
- (20) MANLEY Gordon page : 396
- (21) SNEYERS R.  
Sur la détermination de l'homogénéité des séries climatologiques  
Journal scientifique de la météorologie N° 28, octobre décembre,  
PARIS, 1955 , page : 360
- (22) GOUBERT  
Recherches sur les différences qui existent entre les thermomètres de  
mercure et ceux d'esprit de vin, et sur les moyens d'y remédier  
PARIS, MERIGOT, 1789
- (23) GOUBERT Pages : 3-5
- (24) BEAUSSIEU  
Mémoire sur la réforme des thermomètres, Avec des avis particuliers,  
& des Notes justificatives, critiques & instructives  
TOURS, VAUQUER, 1779, Page : 156

- (25) DELUC J.A.  
Recherches sur les modifications de l'atmosphère  
PARIS, DUCHESNE, 1784,
- (26) GOUBERT Page : 10
- (27) GOUBERT Page : 27
- (28) BEAUSSIEU  
Mémoire sur la réforme des thermomètres, Avec des avis particuliers,  
& des Notes justificatives, critiques & instructives  
TOURS, VAUQUER, 1779,
- (29) DELUC J.A. Pages : 68-69
- (30) BRAVAIS M.A.  
Remarques sur la manière d'observer la température de l'air  
Annuaire de la Société Météorologique de France, page : 128  
PARIS, 1853
- (31) DEVILLE Charles Sainte Claire  
Note sur les discordances qu'on observe dans les indications des  
thermomètres à alcool et à mercure, à l'air libre et à l'ombre  
Annuaire de la Société Météorologique de France, pages : 135-141  
PARIS, 1853
- (32) GOUBERT Page : 50
- BEAUSSIEU Page : 151
- (33) BEAUSSIEU Page : 163
- (34) GOUBERT Pages : 48-49
- (35) GOUBERT Page : 53
- (36) GOUBERT Pages : 47-48
- (37) DESAIVE J.P., Pages : 90-115



## CHAPITRE 5

L'OBSERVATION DE L'ATMOSPHERE  
SOUS L'EGIDE  
DE LA SOCIETE ROYALE DE MEDECINE

L'observation de l'atmosphère avant l'établissement du réseau d'observation météorologique au XIX<sup>e</sup> siècle par LE VERRIER fut l'objet d'épisodes éphémères sous l'égide de Sociétés savantes. L'existence de ces réseaux était souvent liée à la notoriété d'un individu. Celui-ci disparaissant, l'édifice réalisé disparaissait. Ces institutions n'avaient pas le poids suffisant pour demeurer en l'absence de leur fondateur. Elles avaient par ailleurs une certaine dépendance politique qui était préjudiciable pour leur service.

Tel fut le cas du réseau institué par la Société Royale de Médecine (S.R.M.) de Paris. De 1776 à 1792, plus de 200

médecins envoyaient leurs observations quotidiennes, sous forme de relevés mensuels ou de résumés, sur une période s'étendant d'une à plusieurs années. Ces 17 années constituent une durée suffisamment longue pour définir l'esquisse du climat du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant. Les thermomètres sont à un stade de réalisation qu'on peut leur apporter une certaine crédibilité. Des règles pour effectuer des observations de qualité sont publiées et diffusées par cette Société. Le climat de la France fut ainsi mieux connu grâce à la motivation des médecins. Par ailleurs l'importante documentation, et les études effectuées par Jean MEYER et LEROY LADURIE (1), sur les observations thermiques, conduisent naturellement à choisir cette Société.

Le fond documentaire dénommé fond VICQ D'AZYR, du nom du secrétaire perpétuel de la S.R.M., est conservé actuellement à la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine à Paris. Aucune synthèse de cette énorme documentation n'avait été faite à l'issue d'une enquête. Mal connu des météorologistes, ce fond documentaire fut mis à jour en 1963 par le conservateur de la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine, Madame NICOLE. La même année, Michel FOUCAULT a publié un court article précisant les différents arrêts envoyés par VICQ D'AZYR aux subdélégués généraux et aux commissaires de guerre (2). L'enquête de l'Académie de médecine sur les épidémies a été reprise par Jean MEYER en 1969 et par DESAIVE en 1972 (1).

Les archives de la Société Royale de Médecine sont inventoriées en quelques milliers de dossiers : lettres, rapports, tableaux. Ce fond est une des richesses du patrimoine

intellectuel et scientifique de la France, léguée par les médecins et les savants du XVIII<sup>e</sup> siècle. Augmentés des correspondances afférentes, ces manuscrits renferment la partie "météorologie" de cette époque. L'autre partie, la plus importante, est constituée de correspondance médicale qui ne nous intéresse pas.

Ces manuscrits, conservés à la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine, ou "climat" de la FRANCE du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant, constituent un trésor dans le domaine de l'observation météorologique ancienne. Son exploitation demande une grande attention de la part des climatologues, car même si les observations ont été faites avec le plus grand sérieux et le plus grand soin, il ne faut pas oublier, que les instruments d'origine diverse, étaient à cette époque de qualité variable, et que les conditions d'observation dépendaient fortement des observateurs. L'étude des séries anciennes, ne peut être entreprise qu'au vu des examens et analyses météorologiques validant les conditions d'observations et les instruments en usage.

## 5.1 LA SOCIETE ROYALE DE MEDECINE

### SON OEUVRE, SES EFFORTS

La S.R.M. a été établie par un arrêt du Conseil propre du mouvement du Roi le 29 avril 1776. Cet arrêt établit à Paris une commission de médecins sous la direction des sieurs DE LASSONNE et VICQ D'AZYR pour correspondre avec leurs homologues des provinces et rassembler les observations qui concernent les maladies épidémiques et épizootiques. Il est conservé au CARAN (Direction des Archives de France) sous la référence : E/2524, fol. 426-427).

Ce même mois 14 membres furent nommés :

➔ 5 Officiers de la Société :

\* LIEUTAUD, Conseillé d'Etat, premier médecin du Roi, de l'Académie Royale des Sciences et Président de la Société.

\* DE LASSONE, Conseillé d'Etat, premier médecin de la Reine et du Roi, de l'Académie Royale des Sciences et président de la Société.

\* VICQ D'AZYR Docteur régent de la faculté de médecine de PARIS, de l'Académie Royale des Sciences, secrétaire perpétuel de la Société.

\* Le Doyen en charge de la faculté de PARIS.

\* Le Doyen d'âge de la faculté de PARIS.

➔ 9 associés ordinaires.

La Société Royale de Médecine se réunissait deux fois par semaine; la première assemblée eut lieu le 13 août 1776. Pour motiver les médecins à rédiger des rapports la Société proposait des prix de 100 ou 300 livres sur un thème particulier. Par ailleurs elle décernait des titres honorifiques. Celui d'associé régnicole, dont le nombre fut fixé à 60, fut conféré à ceux qui envoyèrent les meilleurs ouvrages. La Société Royale de Médecine était la très haute autorité. Etre désigné comme correspondant de cette institution était un titre honorifique fortement recherché par les médecins (3).

### *MEDECINE ET METEOROLOGIE*

L'histoire de la médecine et l'histoire de la météorologie ont eu l'occasion de progresser en commun par apports mutuels et complémentaires. Il en fut ainsi à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle lorsque sous l'impulsion de TURGOT (contrôleur général des finances de Louis XVI) la grande enquête climats-épidémies fut lancée en 1775. La médecine et la météorologie se trouvèrent de nouveau liées, la première cherchant avec le concours de la seconde une explication des maux.

Ces deux sciences ont chacune pour champ d'expérimentation un laboratoire naturel, jamais reproductible en totalité : l'homme pour la médecine, l'atmosphère pour la météorologie.

Cette association au quotidien, c'est par exemple le tableau reproduit ci-dessous qui était dressé par MM. RAZOUX médecin et MARTIN chirurgien de l'hôtel Dieu à Nîmes (Fig 5.1). En regard du bilan quotidien des malades (entrées, sorties, nombre de malades de l'hôpital, nombre de morts), figure l'état de l'atmosphère.

Mois de Mars 1781					Généralité de Montpellier		Hôtel Dieu de Nîmes	
M. Razoux Médecin					Ville de Nîmes		M. Martin Chirurgien	
Jours de Mars	Entrées	Sorties	Malades en traitement	Morts	État de l'atmosphère			
					Vents	Matin	Midi	Soir
1.	8.	0.	63.	0.	Nord bruyant	Souvent beau soleil brillant	idem	idem
2.	1.	3.	60.	1.	Nord violent	Soleil brillant	idem	idem
3.	2.	0.	60.	0.	Nord violent	Soleil brillant	idem	idem
4.	2.	0.	62.	0.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
5.	3.	0.	66.	1.	Sud-ouest	Soleil brillant	idem	idem
6.	17.	2.	81.	0.	Nord frais violent	Soleil brillant	idem	idem
7.	3.	7.	77.	0.	Nord-est	Soleil brillant	idem	idem
8.	4.	0.	80.	1.	Nord-est	Soleil brillant	idem	idem
9.	3.	0.	79.	4.	Nord violent	Soleil brillant	idem	idem
10.	3.	0.	81.	0.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
11.	3.	3.	81.	0.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
12.	6.	3.	83.	1.	Nord violent	Soleil brillant	idem	idem
13.	4.	4.	82.	1.	Nord	Variable	variable	variable
14.	4.	14.	72.	0.	Nord	Variable	variable	variable
15.	2.	0.	74.	0.	Nord-ouest	Soleil brillant	idem	idem
16.	2.	0.	76.	0.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
17.	1.	0.	77.	0.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
18.	3.	3.	74.	1.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
19.	0.	6.	67.	1.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
20.	3.	0.	69.	1.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
21.	4.	1.	70.	2.	Nord	Variable	variable	variable
22.	0.	1.	68.	1.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
23.	3.	0.	71.	0.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
24.	2.	0.	73.	0.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
25.	2.	0.	75.	0.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
26.	3.	2.	75.	1.	Nord	Soleil brillant	idem	idem
27.	4.	4.	75.	0.	Sud-ouest	petite pluie	idem	idem
28.	2.	15.	62.	0.	Nord	petite pluie	idem	idem
29.	6.	11.	58.	4.	Nord-est	Variable	couvert	couvert
30.	1.	0.	58.	3.	Nord-est	couvert	idem	idem
31.	5.	1.	58.	2.	Nord-ouest	couvert	couvert	Soleil brillant
	106	68	58	23	Il n'y a pas eu de grands variations dans le thermomètre et le baromètre pendant tout le mois le degré de froid le plus fort a été de 32 et le plus chaud de 81 degrés à midi.			

Fig 5.1 Tableau quotidien de l'hôpital de Nîmes. Entrées, sorties, décès et observations météorologiques. (Document Académie Nationale de Médecine, PARIS).

A cette époque prévalait la théorie humorale. Les quatre qualités cardinales de cette théorie, sont le chaud, le froid, le sec et l'humide. Les humeurs qui gouvernent notre corps sont soumises à ces quatre qualités. Ainsi, selon cette théorie, le

tempérament d'un individu correspond à son équilibre d'humeurs. Mais le tempérament est aussi rattaché à la température de l'être. Cette relation entre le tempérament d'un individu et le tempérament (ou température) explique l'intérêt des médecins pour le chaud et le froid.

L'idée que les maladies infectieuses puissent se transmettre par contagion ne s'est imposée qu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Auparavant, les médecins recherchaient un ensemble de phénomènes pouvant expliquer qu'à un moment donné, tous les gens ont la même tendance morbide. Ils étudiaient pour cela les constitutions morbides, épidémiques ou morphologiques. C'était selon eux la conjonction de phénomènes aéristes. Les médecins eurent alors besoin de collecter des données météorologiques, notamment les valeurs thermiques.

"Rompre l'isolement des médecins, enrayer les épidémies dès leur apparition, rechercher la liaison qui peut exister entre la succession des saisons et les épidémies, établir un catalogue des particularités géographiques, trouver dans quelle mesure *les épidémies semblent quelquefois respecter une classe de citoyen*" sont les actions que la Société Royale de Médecine s'était fixée comme objectifs.

(Tiré de Jean MEYER, L'enquête de l'Académie de Médecine sur les épidémies, Etudes rurales, 1969, p 8)

A la tête de cette puissante organisation, Félix VICQ D'AZYR (1748-1794) le "*chef d'orchestre*" de la Société Royale de Médecine, était en rapport avec tous les médecins qui avaient choisi de coopérer. Il assurait la liaison entre les médecins et la Société, et collectait les observations météorologiques. La correspondance suivie qu'il entretenait avec les médecins fut énorme et très prometteuse. Malheureusement, VICQ D'AZYR mourut prématurément à l'âge de 46 ans et cette enquête tomba dans l'oubli.

## *LA PREMIERE ENQUETE*

Le contrôleur général des finances invita les médecins et les physiciens, à répondre à un questionnaire dans lequel il leur était demandé de décrire le climat des années 1772, 1773, 1774 et 1775. Le grand nombre de réponses reçues montra l'intérêt des médecins face à la météorologie. Celles-ci furent agrémentées de nombreux mémoires très détaillés. C'est également parmi ces auteurs que les premiers associés furent choisis.

Les questions demandées étaient les suivantes :

"1°) Quelle a été à peu près la température dans les années 1773-1774-1775 ?

2°) A quelles maladies sont sujets les habitants de ce pays et quel est leur tempérament ?

3°) Quelle a été en général la nature de la petite vérole, de la rougeole et des fièvres intermittentes ?

4°) Quelles ont été les maladies mouvantes et populaires dans les villes, les campagnes et les prisons, et quelle a été leur époque, leur durée, leur transmission ?

5°) A quelles causes les a-t-on attribuées ? Y a-t-il eu des ouvertures de cadavres faites ?

6°) Les bestiaux ont-ils été attaqués de quelque mortalité ?"



Ce questionnaire est extrait de la réponse faite par le médecin BOYER de Limoges datée du 21 juillet 1775 (4). Il a cité toutes les questions avant de donner ses réponses à chacune d'elle.

Dans ce questionnaire, il n'y a qu'une question qui concerne directement la météorologie, mais elle figure en tête de liste. Ce point est à signaler car il montre l'importance accordée à cette science. Cette question ne resta pas sans réponse, bien au contraire. Les médecins ont répondu au-delà des espérances attendues puisqu'ils ont fait une description détaillée du climat de leur région : température, pluie, vent, description du ciel ou du temps, pression atmosphérique, humidité; certains ne s'attachant qu'à quelques uns de ces paramètres. Si la température est toujours objet de ces constitutions (résumés) elle est très souvent accompagnée d'autres paramètres. La primeur accordée à la météorologie fut adoptée et sera toujours conservée, car dans les rapports rédigés par les médecins dans les années suivantes, la description du climat occupe les premières lignes des manuscrits. L'observation des phénomènes météorologiques, en amont des explications des maladies et des épidémies dont sont victimes les habitants de la région, dénote leur importance et leur utilité.

## *L'ENQUETE DE LA SOCIETE ROYALE DE MEDECINE*

La S.R.M. assurée du succès de cette enquête poursuivit cette oeuvre. VICQ D'AZYR, secrétaire perpétuel, rédigea des instructions à l'attention des médecins précisant les méthodes d'observation et recommandant les instruments à utiliser. Il leur demanda d'effectuer en même temps des observations météorologiques et épidémiques de leur région. Le succès de cette gigantesque enquête ne se fit pas attendre : plusieurs centaines de médecins répondirent à cet appel. Les réponses arrivaient massivement de toutes les provinces du Royaume de France et même de correspondants étrangers (Fig 5.2). Le dialogue était ainsi ouvert avec plusieurs centaines de médecins de tous les pays du monde.

Une ombre cependant à ce dossier : les documents émanant de Paris à destination des médecins sont rares. Les manuscrits disponibles de nos jours sont parmi ceux qui ont été reçus par VICQ D'AZYR. Au fil des années, les réponses faites par le secrétaire de la S.R.M. ne sont pas (ou presque) revenues à l'Académie de Médecine de Paris. Conservées par les médecins, un grand nombre a sans doute dû être détruit après leur décès. Cette perte est préjudiciable car la correspondance devait être riche en conseil et remarques sur les observations effectuées.

Une enquête auprès des Archives Nationales de Paris a été entreprise en 1991. Les correspondances de la direction des

archives de France, présentées ci-après, signalent cette voie de recherche qui n'a pas été exploitée.

## Ministère de la Culture, de la Communication, des Grands Travaux et du Bicentenaire

Direction  
des Archives de France  
(CARAN)

Affaire suivie par : **Service des Recherches** 19 AOUT 1991  
**poste : 40-27-64-16**

Monsieur

Par votre lettre du 5 juillet dernier, vous avez demandé à mes services de rechercher les documents relatifs à la météorologie composant le "fonds Vicq d'Azyr".

J'ai l'honneur de vous faire connaître que l'arrêt du lundi 29 avril 1776 établissant à Paris une commission de médecins sous la direction des sieurs de Lassonne et Vicq d'Azyr, premier médecin de la Reine, pour correspondre avec ceux des provinces et rassembler les observations qui concernent les maladies épidémiques et épizootiques, est conservé sous la référence E/2524, fol. 426-427

Il existe par ailleurs sous la cote Q/1/298/1, pièces 90 à 92, des observations météorologiques faites à l'occasion de l'exécution du terrier général de la Corse en 1769-1786.

Vous trouverez en outre de très nombreuses références aux observations météorologiques faites depuis au moins le XVIème siècle, dans les instruments de recherche rassemblés à la salle des Inventaires, notamment :

- La table de l'Etat sommaire des versements faits aux Archives nationales par les ministères.
- La table de la sous-série AD XIX (Archives imprimées)
- Les microfiches des Archives privées (AP)
- Le fichier des recherches déjà effectuées
- Les inventaires du fonds Marine.

Je vous signale, à toutes fins utiles, qu'il existe à la Bibliothèque nationale, sous la référence Manuscrits français 14761-14762, deux registres intitulés : "Suite des observations météorologiques extraites des registres de la Société royale de médecine" (1783 et 1784).

Je vous prie de croire, Monsieur, en l'assurance de ma considération distinguée.

LE DIRECTEUR GENERAL DES ARCHIVES DE FRANCE  
P.O L'INSPECTEUR GENERAL CHARGE DU CARAN  
LE CONSERVATEUR  
I. N.

## Ministère de la Culture, de la Communication, des Grands Travaux et du Bicentenaire

Direction  
des Archives de France

(CARAN)

Affaire suivie par : **Service des Recherches** 31 OCTOBRE 1991  
**poste : 40-27-64-16**

Monsieur,

En complément à ma lettre du 19 août dernier relative au "fonds" Vicq d'Azyr, j'ai l'honneur de vous faire connaître que vous trouverez en F/17/1246, d. 2, le dossier de préparation et exécution de l'arrêt du Conseil du 24 avril 1776 instituant la commission pour correspondre avec les médecins de provinces... 1773-1777, en F/17/1094, d. 1, l'état des travaux des différentes académies au moment de leur suppression en 1793; en AJ/16/6705, la correspondance avec les Sociétés Savantes (an IV-1818), et en F/20/297/1 à 4, les observations météorologiques entre 1764 et 1852.

Dans la suite F/20/154 à 275, classée par départements, se trouvent des mémoires et tableaux statistiques de toutes sortes, y compris météorologiques pour les années 1793 à 1813.

Cependant, il semble que les minutes de la correspondance doivent se trouver dans les papiers de la commission royale de médecine, recueillis par la Société de médecine, eux-mêmes recueillis par l'Académie de médecine et se trouvent actuellement dans la partie non classée ou en cours de classement des archives de l'Académie de médecine.

Enfin, il convient de s'adresser en province, soit aux Sociétés savantes anciennes, soit aux Archives départementales, qui auraient pu recueillir les archives de ces sociétés, ou qui conserveraient des documents émanant des médecines des épidémies.

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de mes meilleurs sentiments.

LE DIRECTEUR GENERAL DES ARCHIVES DE FRANCE  
P.O. L'INSPECTEUR GENERAL CHARGE DU CARAN

G. E.



Fig 5.2 . Postes d'observations météorologiques établis à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle suite à l'enquête sur le climat de la France (● : observations pendant plus de 6 mois).

#### *Rôle de la Société Royale de Médecine*

La Société Royale de Médecine fut chargée de la partie administrative de cette enquête. Elle envoyait à tous les médecins qui le demandaient un imprimé mensuel (Fig 5.3 et 5.4) prévu pour recueillir les observations météorologiques coté recto, et nosologiques au verso. Les informations médicales étaient rédigées sous forme de rapports de longueur variable. Pour les observations météorologiques, des tableaux très

complets prévoyaient trois observations quotidiennes. Ils comprenaient les postes suivants :

Température extérieure, température intérieure, humidité, pression atmosphérique, vent, état du ciel, précipitations, évaporation, météores.

Un espace était réservé aux observations liées à l'agriculture. Par ailleurs, en partie droite de la feuille, figurait un bilan mensuel : valeurs extrêmes et moyennes. Enfin, il était demandé aux observateurs de préciser l'heure de leurs observations (en haut de chaque colonne).

Dans un espace relativement réduit, mais néanmoins prévu, situé en bas de la feuille, sont inscrites des remarques très précieuses concernant les instruments : type, exposition, éventuellement l'heure des observations, ainsi que d'autres informations concernant les matériels utilisés. Ces cadres malgré l'incitation qui a été faite, ne sont pas toujours remplis. C'est alors que les rapports, s'il en existe, ou les correspondances, peuvent apporter un complément d'information très apprécié. Quelques médecins remplissaient tous les mois chaque espace réservé aux instruments, d'autres jugeaient utile de le faire une fois pour toutes dès le premier envoi ou au début de chaque année. Dans ces deux derniers cas l'absence de données en cours d'année ou de série de mesure est interprétée comme une continuité dans les instruments et méthodes utilisés. Cela sans doute réel pour la plus part des cas, reste néanmoins à vérifier.

**CORRESPONDANCE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE MÉDECINE.**  
*Observations Météorologiques faites à Lille Province de Flandre Par M. Saladin Médecin Moins de May 1784.*

Jours du mois.	THERMOMETRE EXTERIEUR (a)		THERMOMETRE INTERIEUR (b)		HYGROMETRE (c)		BAROMETRE (d)		VENTS.		ÉTAT DU CIEL.			Quant. de pluie.	JOURS des divers Métempores.	RECAPITULATION du Mois (e).
	Mati.	Degrés.	Mati.	Degrés.	Mati.	Degrés.	Mati.	Degrés.	Mati.	Midi.	Midi.	Midi.	Midi.			
1	4.0	5.8	5.5	5.9	4.0	5.1	27.1	27.1	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
2	4.9	10.5	6.5	7.8	5.4	11.0	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
3	5.2	8.7	4.5	5.5	7.2	5.4	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
4	5.3	10.2	5.8	8.4	6.5	12.0	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
5	4.2	15.1	9.0	5.0	11.2	9.5	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
6	6.5	17.5	8.8	7.2	13.1	9.8	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
7	6.4	18.8	12.2	7.9	14.5	12.5	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
8	9.0	18.0	10.0	10.1	14.1	11.0	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
9	9.5	18.8	11.4	10.0	15.5	12.7	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10	10.0	21.5	16.5	10.0	17.0	16.0	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
11	15.0	16.5	11.2	14.5	15.2	12.4	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
12	7.1	13.0	7.5	9.9	12.1	9.5	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
13	6.2	16.7	8.4	5.0	15.0	10.5	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
14	6.5	17.5	10.2	5.1	12.8	11.1	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
15	9.5	18.7	12.4	10.2	15.6	13.2	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
16	9.8	21.8	15.0	11.1	17.0	15.9	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
17	10.5	21.2	12.9	12.5	17.4	14.5	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
18	10.5	21.8	15.9	12.1	18.5	15.0	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
19	11.4	21.8	16.3	11.2	19.0	16.4	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
20	11.7	25.0	14.3	13.4	20.4	15.9	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
21	11.7	20.5	15.9	15.0	18.1	12.1	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
22	9.4	21.2	14.4	11.3	19.0	15.2	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
23	10.2	24.7	17.1	12.0	20.8	17.5	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
24	16.0	20.0	14.5	16.5	21.1	16.1	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
25	13.9	20.7	18.0	14.8	21.2	18.2	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
26	14.5	25.4	15.0	15.2	22.0	16.3	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
27	15.5	18.8	9.7	15.5	15.5	11.3	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
28	9.0	12.4	7.7	11.0	11.2	11.2	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
29	7.4	17.1	12.4	8.9	14.1	13.0	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
30	10.5	17.4	14.1	11.5	16.0	14.2	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
31	15.4	20.3	13.9	12.5	16.7	14.1	28.2	28.2	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

(a) Distinguez si est à mercure unifié, et son exposition hors d'une fenêtre, exposé au vent.  
 (b) Il est-ère à mercure & attaché près du Barometre.  
 (c) Les quatre principaux font ceux de MM. Deluc, Buiffart, Reer & Copincais; indiquer celui dont on se sert. *celui de M. Buiffart.*  
 (d) Il faut, autant qu'on le peut, le tirer de Paris, Royale a adressé à ses Membres & à ses Correspondans. La Société n'exige pas que tous les détails de cette Table soient remplis. MM. les Correspondans font invités à y porter, chacun, les résultats des Observations qu'ils auront occasion de faire.  
 (e) *Il est-ère à mercure unifié, et attaché près du Barometre.*  
*Le Secrétaire de la Société, M. Saladin.*  
*à Lille le 10 Juin 1784.*

Fig 5.3 Feuille mensuelle d'observations météorologiques proposée aux médecins par la Société Royale de Médecine à la fin du XVIIIè siècle (recto). Document Académie Nationale de Médecine, Paris.

Lille en Flandres. D. 1784

---

9<sup>bre</sup> 1784. OBSERVATIONS

---

L'Épidémie de ce mois est la petite vérole qui est très nombreuse dans cette ville, et qui attaque les personnes âgées comme les enfans, quelques unes sont disiectes et bénignes; mais beaucoup sont confluentes et de très mauvais caractères.

On Rencontre aussi des fièvres éruptives qui se terminent par des pustules semblables à celles de la petite vérole; mais ces pustules paroissent et mûrissent successivement en petit nombre à la fois, et se guérissent ainsi pendant plusieurs semaines, de sorte que les premières, sont quelquefois guéries de 8 jours quand les dernières paroissent.

Parmi tout cela on observe quelques fièvres putrides en petit nombre: et des intermittentes tierces, et quartes.




Fig 5.4 Feuille mensuelle d'observations médicales proposée aux médecins par la Société Royale de Médecine à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle (Verso). Document Académie Nationale de Médecine, Paris.

Tous ces documents étaient adressés à VICQ D'AZYR, Quai des Augustins à PARIS. Ce dernier confiait les informations météorologiques au Père COTTE qui répondait aux médecins. COTTE effectua une analyse et une synthèse des observations qu'il publia dans "Mémoires sur la météorologie" en 1788 (5).



## *ETUDE DES ARCHIVES : RECHERCHES ET METHODOLOGIE*

Les éléments techniques recherchés au travers des manuscrits sont les détails liés aux instruments, et plus particulièrement aux thermomètres. Aujourd'hui, on pourrait les qualifier avec les mots : métrologie, techniques instrumentales, matériels utilisés, instruments, moyens d'installation, évolution dans le temps. En fait, sont recherchés tous les éléments permettant de qualifier l'observation météorologique. C'est à dire toutes les indications sur le capteur utilisé (le thermomètre), l'emplacement, son usage, son évolution, les changements intervenus... Toutes les remarques instrumentales sont notées avec le plus grand soin.

Compte tenu de l'accent mis sur le développement historique des thermomètres, l'étude portera principalement sur la température, bien que les remarques relatives aux autres mesures soient notées lors de la consultation des manuscrits.

### *Méthodologie pour le traitement du fond de la S.R.M.*

Les archives des aéristes de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle constituent un énorme volume de manuscrits. Il n'était pas question de s'attaquer à ce morceau de choix sans méthodologie définie au préalable. Il n'était pas non plus envisageable de tout consulter. La méthode utilisée, a permis rapidement d'aller à l'essentiel des objectifs fixés, c'est à dire de détecter les documents qui contiennent des remarques ou des

annotations sur les instruments utilisés à cette époque, et sur leur exploitation. La consultation des manuscrits à été volontairement limitée à ceux de la métropole, sans qu'aucune région ne soit rejetée.

Ceci a pu se faire suite à la saisie sur micro-ordinateur du fichier confié. La bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine a inventorié le fond VICQ D'AZYR sur un fichier manuel. Des quelques 3000 fiches consultées, 750, ont été retenues en raison de leur lien avec la météorologie. Les autres fiches, concernant des manuscrits médicaux, confirment la place importante occupée par l'observation clinique. Certes, il n'est pas exclu que soit abordé un peu de météorologie; ce choix fait parti des limites définies.

Pour chaque fiche, sept thèmes ont été retenus :

- Le lieu ou la ville.
- La région ou le pays.
- L'auteur ou le médecin.
- Le thème ou le contenu du dossier.
- Les dates extrêmes du dossier.
- La côte S.R.M.
- Un numéro chronologique d'enregistrement.

Cette bibliographie se compose de sept cahiers de 13 pages chacun. Tour à tour, les éléments sont classés dans l'ordre alphabétique ou chronologique. Après tri sélectif du fichier, (certaines fiches sont répertoriées à la fois au nom du médecin

et au nom de la ville) il reste 600 fiches, c'est à dire autant de dossiers sélectionnés. Ces cahiers ont été reliés et forment le document de travail de base pour les recherches.

Suite aux tâtonnements inévitables du début, le choix s'est rapidement porté essentiellement sur trois types de documents :

- ➔ Les observations météorologiques accompagnées ou non d'observations agricoles et nosologiques.
- ➔ Les rapports sur plusieurs années.
- ➔ Les correspondances des médecins adressées à la Société.

Les regroupements effectués pour chaque thème ont ainsi permis de coordonner les recherches. Le choix des villes et des dossiers afférents en fut facilité. Parmi les villes choisies un certain nombre d'entre elles sont communes avec celles présentées dans le livre de DESAIVE (1). Si le nom de la ville figure sur la quasi-totalité des fiches du fond S.R.M., il n'est pas systématiquement mis en premier. Seul le traitement informatique apporte la possibilité de regrouper les dossiers. Il a donc été possible de programmer un échantillonnage afin de mettre à l'étude plusieurs sites d'observation dans chaque région. Pour chaque site, tous les dossiers afférents ont été consultés.

*Recueil des informations météorologiques.*

L'examen des feuilles d'observation montre que l'information, lorsqu'elle existe, se trouve le plus souvent là où on s'attend à la trouver. Les médecins étaient très scrupuleux et très attentionnés à remplir ces documents. La partie verso de la feuille réservée aux observations cliniques ne comporte pas (à de très rares exceptions) d'information météorologique. Dans le cas contraire elle est fortement détachée des informations médicales.

Les rapports des médecins, trimestriels, semestriels, ou annuels, sont construits sur un plan identique : une description générale du temps au cours de la période, est suivie du rapport médical relatif à cette période. Quelquefois les médecins donnent des précisions complémentaires. Ils ont plus de place matérielle et inscrivent quelques remarques sur les conditions d'installation de leurs instruments météorologiques.

Dans son mémoire intitulé : *"mémoire sur la différence des températures en différents lieux, réflexion sur l'exactitude de ses observations, de l'hiver 1783 à 1784"*, LE PEC DE LA CLOTURE médecin à Rouen (6), indique ces quelques précisions sur ses instruments et sur l'heure de ses observations :

"...que le thermomètre qui règle mes observations est de MOSSY et au mercure; qu'il est exposé au second, au courant du Nord Est; que j'observe le matin exactement à 7 heures en hiver, un peu avant au printemps, à 6 heures en été. .... On observe ici que mon exposition se trouve nécessairement un peu à l'abri du Nord par les maisons voisines"...

(Tiré de LE PEC DE LA CLOTURE, 1784)

Ce passage contient la quasi-totalité des renseignements techniques concernant les observations effectuées à Rouen. LE PEC DE LA CLOTURE n'a pas jugé utile de les recopier sur les tableaux mensuels.

Ces informations complètent celles inscrites sur les feuilles d'observation de la S.R.M. Il est donc indispensable d'étendre la consultation à ces trois types de document : les tableaux d'observation, la correspondance, et les rapports.

Les communications fournies par les médecins sont très variables d'un observateur à l'autre, tant par la pertinence de l'information que par les précisions instrumentales signalées. Pour aucune ville, toutes les informations souhaitées pour analyser correctement les conditions et les méthodes d'observation de la température sont signalées. Pour rassembler ces quelques informations très précieuses et en faire la synthèse, une fiche de renseignements par poste d'observation a été réalisée (Fig 5.5). Cette fiche a été établie grâce aux communications de COTTE, de MITCHELL et DETTWILLER (7). Interviennent également les éléments acquis au cours du dépouillement des dossiers de la S.R.M., ainsi que ma qualification de météorologiste pour la constitution des fiches.

<u>FICHE OBSERVATION DE LA TEMPERATURE</u>		COTE S.R.M. : N°:
VILLE :	OBSERVATEUR :	
Période : -	Durée :	mois
Observations retenues :	mois	cause :
Type de thermomètre extérieur : Esprit de vin <input type="checkbox"/> , mercure <input type="checkbox"/>		
<b>CONDITIONS D'INSTALLATION AU DEBUT DE LA SERIE</b>		
Situation : Ville <input type="checkbox"/> , Campagne <input type="checkbox"/> , ? <input type="checkbox"/>		
Réflexion : oui <input type="checkbox"/>	nature	distance , non <input type="checkbox"/> , ? <input type="checkbox"/>
Obstacle de proximité : oui <input type="checkbox"/>	nat	dist , non <input type="checkbox"/> , ? <input type="checkbox"/>
Exposition : NW <input type="checkbox"/> , Nord <input type="checkbox"/> , NE <input type="checkbox"/> , autre <input type="checkbox"/> , ? <input type="checkbox"/>		
Thermomètre abrité des précipitations : oui <input type="checkbox"/> , non <input type="checkbox"/> , ? <input type="checkbox"/>		
Hauteur depuis le sol : soit mètres, ? <input type="checkbox"/>		
Support : du bulbe , du thermomètre		
Bulbe du thermomètre aéré : oui <input type="checkbox"/> , non <input type="checkbox"/> , ? <input type="checkbox"/>		
Distance du mur ou support au thermomètre : soit cm, ? <input type="checkbox"/>		
Proximité de fenêtre : oui <input type="checkbox"/> , distance , non <input type="checkbox"/> ? <input type="checkbox"/>		
Proximité de source de chaleur : oui <input type="checkbox"/> , non <input type="checkbox"/> , ? <input type="checkbox"/>		
Horaires : fixes <input type="checkbox"/> , var année <input type="checkbox"/> , var le matin seul <input type="checkbox"/> , ? <input type="checkbox"/>		
Horaires matin : , midi : , A.M. : , soir :		
Précision de lecture : 1/10è <input type="checkbox"/> , 1/2 degré <input type="checkbox"/> , au degré <input type="checkbox"/>		
Inf métrologiques : sur feuille SRM <input type="checkbox"/> , dans les mémoires <input type="checkbox"/>		
Remarques sur les conditions d'installation :		
Remarques générales :		

Fig 5.5 Fiche de renseignements sur les postes d'observation pour la température. ("?" = absence d'information).

## *LA MOTIVATION DES MEDECINS*

Après avoir consulté de nombreux manuscrits conservés à la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine, il faut reconnaître le sérieux attachement des médecins à la météorologie. Pas une observation ne manque! Qui ferait cela de nos jours, observer du 1er janvier au 31 décembre, puis continuer ainsi pendant 5, 10, voire 20 années?

C'est donc une motivation extrêmement forte qui a animé ces médecins et qui a maintenu en eux cette volonté à observer le climat de leur région. Ils avaient compris deux principes fondamentaux, qui à eux seuls suffisent à entretenir cette motivation :

➔ Le premier concerne la notion de continuité dans les événements météorologiques. Le découpage suivant le calendrier est fictif. La succession des différents types de temps que nous subissons en un lieu donné dépend du temps qu'il fait en ce lieu et du temps qu'il fait sur le globe. Il s'agit d'un tout indissociable sans limites. Les moyennes calculées par les médecins sur un mois, par exemple, servent à donner une idée sensible du "climat" en un lieu donné sur une courte période, et permettent des comparaisons avec d'autres lieux et années lorsque les instruments, les modes d'observation et les méthodes de calcul sont identiques. Bien que les tableaux soient mensuels, la notion de continuité des événements météorologiques apparaît très nettement dans les constitutions météorologiques.

→ Le deuxième consiste à connaître le climat de leur ville ou de leur région, ainsi que ses fluctuations. Pour être représentatif de la période étudiée, le calcul d'une moyenne mensuelle nécessite la totalité des observations. Intéressés à connaître leur climat, les médecins effectuaient leurs observations très régulièrement tous les jours à trois moments différents de la journée.

Plus délicat est le côté technique lié à la métrologie instrumentale. Sans connaissance particulière, le choix des instruments, et leur installation, est sujet à erreurs. Cette insuffisance n'était pas toujours comprise par les médecins observateurs. L'absence d'indication instrumentale sur les manuscrits, plutôt par ignorance que par défaut, en est une preuve. Ces notions plus délicates à acquérir et à maîtriser viennent au fil des années. C'est ainsi que certains observateurs, après quelques déboires dû à des instruments défectueux, ont compris l'importance d'avoir de bons instruments et de bien les installer. Ils ont alors procédé au remplacement de leur ancien matériel par des instruments de bonne qualité pour l'époque. THIBAULT, médecin à Dunkerque, adressait le 16 mai 1781 la lettre suivante à VICQ D'AZYR (8) :

"...Comme nous ne pouvons plus nous fier à nos instruments, vu qu'ils ont été achetés à des paysans, et que nous sommes jaloux que nos observations soient conformes aux instructions, je prends la liberté, Monsieur, de vous prier de vouloir bien nous faire l'achat d'un thermomètre, baromètre et d'un udomètre selon les instructions de notre Société...."

(Tiré de SRM 154 dr 05)



Les tableaux d'observations météorologiques des médecins, très complets traduisent très bien ce goût de l'observation, et cette passion qui les a envahi. Le nombre de médecins ayant participé, montre l'importance apportée à la connaissance du climat dans la théorie aériste.

On ne peut que se féliciter de leur action, qui au travers de leurs multiples occupations, ont fortement contribué à la connaissance du climat de la France. Il ne faut pas oublier de dire, que face à l'ouvrage, les médecins étaient isolés. Certaines erreurs commises l'ont été plutôt par ignorance que par insouciance ou désintérêt. Pour beaucoup d'entre eux la S.R.M. était très loin, surtout pour ceux qui résidaient loin de Paris. Le support apporté par cette société savante était ainsi différemment ressenti.

Le facteur climatique peut être également un élément de motivation. Dans une région où le ciel est souvent bleu, l'observation météorologique est moins attrayante que dans les régions où épisodes secs et humides se suivent tout au long de l'année. L'observation météorologique est motivante lorsque les éléments varient d'une façon significative d'un jour à l'autre, et surtout lorsque les valeurs s'écartent des moyennes saisonnières concernant les paramètres météorologiques auxquels le corps humain est sensible : température, vent, pluie, ensoleillement, humidité. L'intérêt est encore plus grand lorsqu'un paramètre s'écarte de sa valeur normale saisonnière, dans le sens où il perturbe la vie de l'homme : par exemple un excès de température vers le froid sera plus mal ressenti qu'un

excès vers la chaleur (où seule en été elle peut devenir accablante).

Ces réflexions peuvent expliquer le fait que les séries d'observation sont plutôt longues dans les régions de la moitié Nord de la France, et plus courtes pour les régions situées au Sud.

Connaissant l'organisation, le côté humain, le cadre dans lequel sont effectuées les observations du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant, il reste à aborder l'aspect technique, celui des mesures thermiques, et leur contexte.

### *L'OBSERVATION DE LA TEMPERATURE PAR LES MEDECINS*

Le temps imparti n'offrait pas la possibilité de consulter la totalité du fond météorologique. Ce n'est qu'une partie (environ 20%) qui fut examinée. Soucieux d'une objectivité maximale, c'est avec les principes suivants que les dossiers ont été choisis.

Tout d'abord un échantillonnage a permis d'associer le libellé inscrit sur la fiche de la bibliothèque avec le contenu du dossier. Après avoir écarté les stations étrangères, des postes d'observation dans l'ensemble du royaume de France ont été retenus. La durée des observations ne fut pas le critère déterminant, car c'est essentiellement l'existence d'information instrumentale qui est recherchée. Enfin, pour se

rapprocher de l'étude faite par DESAIVE et LEROY LADURIE, le choix s'est porté vers certaines villes dont l'observation s'étend sur plusieurs années (Fig 5.6).



Fig 5.6 Carte des postes d'observation météorologique de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Stations d'étude, dossiers consultés à la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine.  
(• : Observation pendant plus de six mois)

Les informations recueillies sur les instruments utilisés et sur les conditions d'utilisation sont regroupées dans deux tableaux (p 300 et 301). La richesse est variable d'un observateur à l'autre. Pour certains observateurs, il n'y a aucune annotation ou remarque; aucune lettre n'indique de renseignement à ce sujet. D'autres, au contraire, ont largement développé ces informations afin de renseigner le plus possible la Société.

Certains observateurs (près d'un tiers pour de l'échantillon) ne signalent même pas la nature du liquide qui remplit leur thermomètre. C'est le cas de celui de Perpignan qui souhaite avoir de bons instruments mais ne dit mot sur le type de thermomètre qu'il utilise. Des renseignements indispensables comme la hauteur par rapport au sol, l'environnement proche (cour, rue étroite, ville, campagne, obstacle de proximité, réflexion...), sont très rarement fournis.

Les informations mentionnées par les médecins nous font découvrir une grande disparité dans l'installation des thermomètres. Ce constat est un état de fait à partir des manuscrits détenus par la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine. Il n'est pas envisageable de traiter une série thermique si on ne connaît pas à quelle hauteur était placé le thermomètre. Un thermomètre situé à 50 cm au-dessus du sol (Montmorency) n'a pas la même réponse que celui qui est installé au deuxième étage (Arras, Rouen). Plus le thermomètre est près du sol, plus il en subira les influences. Les tableaux

5.1 et 5.2, résumant les informations recueillies dans les bordereaux d'observations météorologiques.

Les dossiers de la S.R.M. sont incomplets. Malgré cette apparente pauvreté, en renseignements sur l'installation, l'utilisation et sur l'instrument lui même, toutes ces informations rassemblées, constituent une très grande richesse météorologique fournie par les médecins. Les lettres provenant de la Société Royale de Médecine adressées aux médecins sont absentes. Cela n'est pas surprenant en soi. Conservées par les médecins, elles n'ont pas rejoint la Société Royale de Médecine, mais accompagnèrent les vieux papiers de famille. Ces missives devraient contenir les critiques faites par COTTE sur la manière d'observer. Celles-ci pourraient être conservées auprès des archives nationales ou départementales, par des mairies, ou bien par la famille ou les amis qui en ont héritées s'ils les ont gardées. Pour les deux premiers organismes, la conservation à moins d'un incident, est assurée. Il en est tout autre pour le cadre familial qui laisse la plus grande incertitude.

VILLES	Observateur	Période d'observation	Thermomètre EV HG	Constructeur	Hauteur/sol	Précision	Remarques
ARLES	Bret	1782-1788	HG	MOSSY ech Réaumur	-	1/10	-
ARRAS	Buissart	1783-1793	HG	-	-	1/10	Observations antérieures avec ?
ARRAS	Retz	1777-1790	HG	RETZ	2 <sup>e</sup> étage	1/10	Thermomètre aéré horizontal. Constructeur
BREST	Partz	1788-1789	HG	REAUMUR	-	1/4	Observations liées à la vague froid
CHALONS	Maignon	1785-1790	EV	-	-	1/10	Effet cour fermée
CHARTRES	Mahon	1778-1788	-	PERICA	-	1/10	Envoi manuscrit original. Obs avant 1779
CLERMONT BEAUVAISIS	Demarque	1772-1775	-	-	-	-	Essai de classification des froids
CLERMONT FERRAND	Bassin	1786-1783	-	REAUMUR	3 PIEDS	1/10	Comparaisons thermiques verticales
CLERMONT FERRAND	Segretier Delarbre	1784-1789	HG	MOSSY (Bains)	1 <sup>er</sup> étage	-	Thermomètre peu sensible
DAX	Dufau	1780-1791	EV > HG	Mai 1783-	-	DEG	Recherche de bons instruments
DIJON	Maret	1777-1786	HG	-	-	1/12	-
DUNKERQUE	Thibault	1781-1788	x > HG	MOSSY depuis 1787	-	1/10	Observations avant 1781
FONTENAY LE COMTE	Perreau	1787-1789	-	MOSSY	-	1/2	Recherche du meilleur lieu
GRENOBLE	Chenoine	1783-1784	HG	-	-	1/2	Instruments réglés sur ceux de la Société
HABAS BORDEAUX	Massie	1778-1788	-	GOUBERT brisé en 88	-	-	Désire avoir des thermomètres de la SRM
HAGUENAU	Keller	1780-1793	-	-	-	-	Obs à 12 h au lieu de 14 depuis 09/81
L'AIGLE	Terrede	1784-1788	HG	MOSSY	-	1/2	Hygromètre abrité abrité de la pluie
LILLE	Boucher	1778-1783	EV	-	-	1/10	Pas d'observation le soir
LILLE	Seladin	1783-1789	HG	MOSSY depuis 07/83	-	1/10	Avant 07/83 therm des marchands de province
LIMOGES	Boyer	1773-1774	-	REAUMUR	-	DEG	-
MARSEILLE	Magnan	1777-1779	-	-	-	1/2	2 sites, 2 observations différentes
MAYENNE	Delarue	1783-1791	EV > HG	MOSSY depuis 01/84	-	1/2	Changement de thermomètre en janvier 1784
MONT LOUIS	Barrera	1779-1782	HG	REAUMUR	-	1/2	-
MONTDIDIER	Chendon	1791-1793	-	-	-	1/10	Statistiques sur les sommes de températures
MONTMORENCY	Jancourt	1783-1789	HG	MOSSY	15 POUCES	1/10	Graduation de l'observateur
MONTPELLIER	Chaptal	1749-1770	-	-	-	DEG	Mémoire de 80 années essentiellement médical
MULHOUSE	Meyer fils	1783-1788	-	-	-	1/8	-
NANTES	Budan	1782-1783	EV > HG	HG depuis mai 1782	-	1/2	Thermomètre à mercure depuis mai 1782
NIMES	Razoux	1781-1785	HG	De Paris	-	1/2	Deux observations par jour
PERPIGNAN	Bonafos	1773-1774	-	-	-	1/2	Souhaite avoir de bon instruments
POITIERS	Delamazière	1775-1782	EV > HG	GOUBERT depuis 1778	-	1/10	Thermomètre à mercure depuis 1778
ROUEN	Le pec de la cloture	1783-1787	? > HG	MOSSY depuis 1784	2 <sup>e</sup> étage	1/2	Comparaisons thermiques avec Paris froid 78
St BRIEUX	Bagot	1783-1789	HG	SEANEGATY MOSSY	-	1/2	Rue étroite
St MALO	Bougourd	1778-1788	HG	GOUBERT ?	-	1/4	-
TOULON	Barberet	1778-1789	HG	CAPPY	-	1/2	Signale observations faites avec exactitude
TROYES	Le Boutillier	1778-1788	-	-	-	1/10	Reconnait statistiques sur 5 ans trop court
VERSAILLES	Seus les yeux du Roi	1786-1787	-	-	-	1/10	4 Observations quotidienne
VIVIERS	Vitals	1777-1788	-	-	-	1/4	Obs faites avec la plus grande exactitude

Tableau 5.1 Observations faites sous l'égide de la Société Royale de Médecine par les médecins durant la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle.

Extrait des manuscrits détenus par la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine.

EV : thermomètre esprit de vin.

HG : thermomètre au mercure.

VILLES	Région	Réflexion	Obstacle	Exposition	Fen	Ville/Camp	Heures Observations
ARLES	Provence	Réverbération	-	N	Oui	-	7 -12 -22
ARRAS	Artois	-	-	NE	-	-	4 <sup>15</sup> /8 -14/15 <sup>30</sup> -22 <sup>30</sup>
ARRAS	Artois	-	-	N	Oui	-	- - -
BREST	Bretagne	-	-	N NE	-	Cour	- -A.M. -
CHALONS	Champagne	Soleil met	Loge 6 tse	Cour au N	-	-	- - -
CHARTRES	Beauce	-	-	-	-	-	- - -
CLERMONT BEAUVAISIS	Oise	-	-	N	-	-	- - -
CLERMONT FERRAND	Auvergne	-	-	N	OUI est	Ville	- - -
CLERMONT FERRAND	Auvergne	-	-	-	-	-	- - -
DAX	Gascogne	-	-	N	Oui	-	- -14 -
DIJON	Bourgogne	-	-	-	-	-	- - -
DUNKERQUE	Flandre	-	-	N	Oui	-	Lever soleil -
FONTENAY LE COMTE	Poitou	-	-	N NW / S SW	Oui	-	- - -
GRENOBLE	Dauphiné	-	-	N	Oui	-	- - -
HABAS BORDEAUX	Guyenne	-	-	-	-	-	- - -
HAGUENAU	Alsace	-	-	-	-	-	7 -12/14 -22
L'AIGLE	Normandie	-	-	N	Oui	-	8/9 -13/14 -23/24
L'ILLE	Flandre	Abr soleil	-	N	-	Plein air	5 -14 -
L'ILLE	Flandre	-	-	NW	Oui	-	Lev Sol -14/14 <sup>30</sup> -Csol
LIMOGES	Limousin	-	-	-	-	-	- - -
MARSEILLE	Provence	-	-	-	-	Ville & Camp	7 -13/13 <sup>30</sup> -< 24
MAYENNE	Maine	-	-	-	oui	-	- - -
MONTLOUIS	Roussillon	-	abrité N O	N NE	-	Grand air	5/8 -13/14 -20/22
MONTDIDIER	Picardie	-	-	-	-	-	- - -
MONTMORENCY	Ile de France	-	-	N	oui	-	4 <sup>30</sup> /8 -13 <sup>30</sup> -20 <sup>30</sup>
MONTPELLIER	Languedoc	-	-	-	-	-	- - -
MULHOUSE	Alsace	-	-	-	-	-	- - -
NANTES	Bretagne	-	-	-	-	-	- - -
NIMES	Languedoc	-	-	N	-	-	6 -14 -
PERPIGNAN	Roussillon	-	-	-	-	-	- - -
POITIERS	Poitou	-	-	-	-	-	4 <sup>30</sup> /7 -14 -21 <sup>30</sup>
ROUEN	Normandie	-	Maison voi	-	-	ville	6/7 -13 -19
St BRIEUX	Bretagne	-	-	NNW > NE	Oui	Ville	6 -14 -22
St MALO	Bretagne	-	-	-	-	-	- - -
TOULON	Provence	-	-	-	-	-	6/7 -Midi -22
TROYES	Champagne	-	-	-	-	-	- - -
VERSAILLES	Ile de France	-	-	NW	-	Campagne	6/7 <sup>30</sup> -12/14 -23
VIVIERS	Languedoc	-	-	-	-	-	Matin -A.M. -

Tableau 5.2. Observations faites sous l'égide de la Société Royale de Médecine par les médecins durant la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Extrait des manuscrits détenus par la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine.

## 5.2 ANALYSE DES SERIES THERMIQUES

Une étude du climat de la France de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle a été publiée en 1972 (1). Elle concerne pour la première partie, l'étude de la température observée par les médecins et son évolution durant près de deux décennies. La deuxième partie, traite des médecins et épidémies en Bretagne. Au niveau régional, elle complète les enquêtes climatiques et épidémiques par une étude aussi poussée que possible de la situation médicale des diverses provinces françaises (9).

Les résultats de l'étude thermique largement développés et discutés proviennent des données brutes des postes d'observation retenus. Suite à un traitement informatique qui élimine les données aberrantes et grossières, les auteurs décrivent le climat de la France des années 1776 - 1792. La classification régionale à partir de la disponibilité des données anciennes, l'absence d'une étude métrologique préalable ne permet pas aux auteurs d'expliquer correctement les dispersions thermiques qu'ils observent. La qualité des séries thermiques de la France du sud est qualifiée de "détestable" (10). La faute est attribuée aux observateurs, alors qu'il s'agit très probablement de phénomène physique.

Le choix arbitraire des régions climatiques, l'absence de la prise en compte des différentes heures d'observation, de la température, du type de thermomètre utilisé, ainsi que d'une étude métrologique préalable avant traitement des données,



précise les limites de l'étude. L'annonce d'erreurs d'origines instrumentales et d'observation par J. MEYER (11), la non prise en compte de ces remarques, indiquent clairement que l'étude développée n'est qu'une approche de la réalité. Les "*bons résultats*" signalés ne sont peut-être pas meilleurs que les autres. Cette étude mérite d'être approfondie et revue avec une autre approche.

Lorsqu'on effectue une comparaison d'observations thermiques, il est nécessaire de bien préciser leur étendue et quels en sont les éléments. Plusieurs comparaisons sont envisageables, chacune nécessite un degré de précision approprié.

→ La comparaison de l'évolution thermique d'une station par rapport à sa moyenne, demande que les conditions d'observation soient restées identiques et l'instrument fidèle afin que la série soit homogène.

→ La comparaison avec une station voisine nécessite en plus, l'accord des thermomètres et des conditions de mesures des deux stations (notamment une concordance des horaires d'observation). L'étude du climat du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant réalisée par DESAIVE et LEROY LADURIE se situe à ce niveau.

→ La comparaison du climat du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant avec celui d'une autre époque demande un accord des deux séries : elles doivent être homogènes. En l'absence, une correction valide doit être définie. Les critères principaux à prendre en

compte seront examinés; ils permettront de définir des limites et les espérances envisageables.

Par ailleurs la comparaison entre les stations météorologiques dépend de leurs positions géographiques. Une étude récente sur le découpage climatique de la France les précise. Elle permet d'éviter de comparer des résultats qui, compte tenu de la situation géographique des stations, sont nécessairement différents.

L'analyse des séries thermiques porte sur les stations de la région Parisienne étendue à la région Nord Pas de Calais : Arras, Chartres, Lille, Montmorency, Montdidier, Paris. A proximité de ces villes se trouve une station météorologique contemporaine. A part Montmorency proche de Roissy, et Montdidier peu éloignée de Beauvais, les autres villes sont dotées d'une station météorologique. Montsouris est le centre météorologique de la ville de Paris. Par ailleurs la station météorologique de Trappes se situe dans cette région climatique, il est aisé d'obtenir toute information climatique souhaitée. Enfin, c'est pour cette région que LEROY LADURIE publie le plus de données numériques.

L'outil statistique de comparaison des séries thermiques utilisé par DESAIVE est le coefficient de corrélation. Celui-ci a ses limites. Il ne faut pas conclure au seul résultat de ce test. Pour avoir bonne une crédibilité, les affirmations énoncées, doivent être confirmées par ailleurs.

L'étude des séries thermiques anciennes est envisageable, encore faut-il suivre quelques règles ou principes de base qui permettent d'éviter d'importantes erreurs. Le chapitre précédent précise les éléments à prendre en compte. Un schéma d'étude, des données thermiques contenues dans les dossiers de la Société Royale de Médecine, précise en fin de chapitre, la méthodologie à mettre en oeuvre et les limites de crédibilité.

### *LES REGIONS THERMIQUES EN FRANCE*

Le climat de la France est diversifié, et présente plusieurs régions thermiques. Une étude statistique par méthodologie objective fondée sur les classifications automatiques permet de réaliser un découpage climatique de la France. La période d'étude s'étend de 1960 à 1985. Les résultats de cette étude, réalisée par le département Statistique, Climatologie, Agrométéorologie, Bioclimatologie de l'Ecole Nationale de la Météorologie, sont publiés dans la revue "*La Météorologie*" en 1987 (12). Elle fait suite à un rapport de fin de scolarité d'élève ingénieur de l'Ecole Nationale de la Météorologie (13). Compte tenu de l'importance des résultats, une monographie a été publiée en 1991 (14). Revue et corrigée par des données complémentaires utilisées sur des périodes plus courtes, cette dernière publication affine les premiers résultats.

Le découpage climatique met fin à la division, en 14 régions (I à XIV), faite auparavant par les climatologues. Les limites administratives, limites de chacune de ces régions,

puisque aucun département n'était divisé, ne permettaient pas d'approcher la réalité. Cette division n'avait rien de naturel (Fig 5.7).

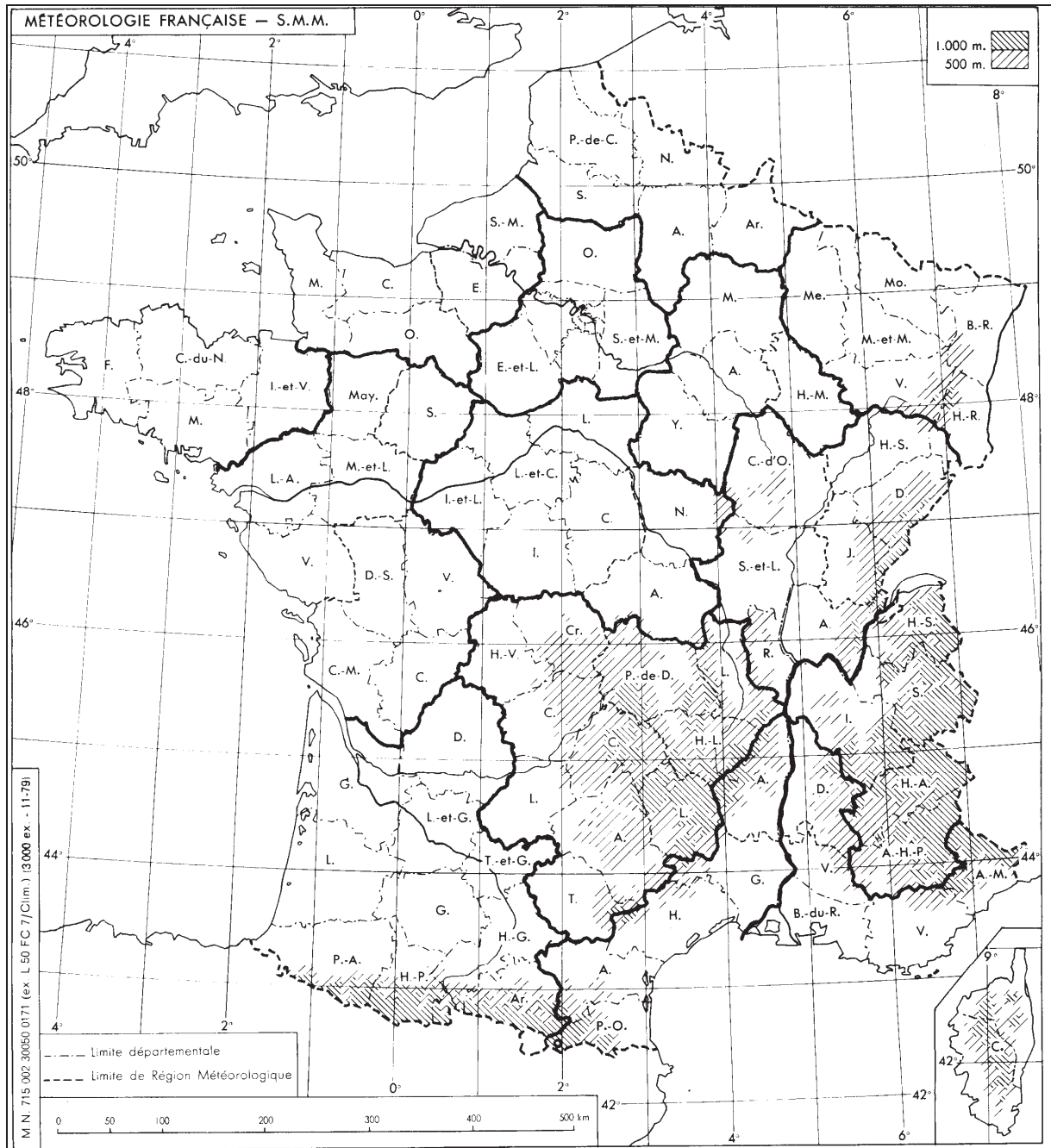


Fig 5.7 Le découpage climatique de la France admis par les climatologues avant l'étude des régions thermiques.

Depuis les travaux de CERON et DESROZIER, la métropole est climatiquement représentée par 108 stations synoptiques. Un zonage par classification automatique utilisant une classification hiérarchique ascendante, dégage 18 régions climatiques sur la France. Le zonage climatique effectué sur des paramètres thermiques à l'échelle décadaire, permet de caractériser chaque région, par une station représentative du comportement thermique (15), (Fig 5.8).

Certaines zones, non répertoriées, ne peuvent pas s'insérer dans une classification définie; elles constituent une zone charnière entre divers comportements thermiques régionaux. Les zones montagneuses, celles trop sensibles aux influences locales, et celles pour lesquelles les données sont insuffisantes, ont été volontairement écartées.

La région parisienne se classe dans la région N°3. Allongée suivant un axe sud-ouest nord-est, du Mans jusqu'à Cambrai, elle s'étend d'ouest en est, de Rouen jusqu'à la limite ouest de Melun. Beauvais est la ville "étalon" de cette région. Ses températures sont représentatives des comportements thermiques de toute la zone. Les variations thermiques entre l'été et l'hiver sont marquées par des différences notables avec des gelées en hiver, et des jours chauds ( $t \geq 25^{\circ}\text{C}$ ) en été. Leur fréquence moyenne d'occurrence est d'un jour sur cinq, en hiver pour les gelées, et de même en été pour les jours chauds. L'amplitude thermique diurne, un jour sur cinq également, est au plus égale à  $3^{\circ}\text{C}$  en hiver, et dépasse  $14^{\circ}\text{C}$  en été.

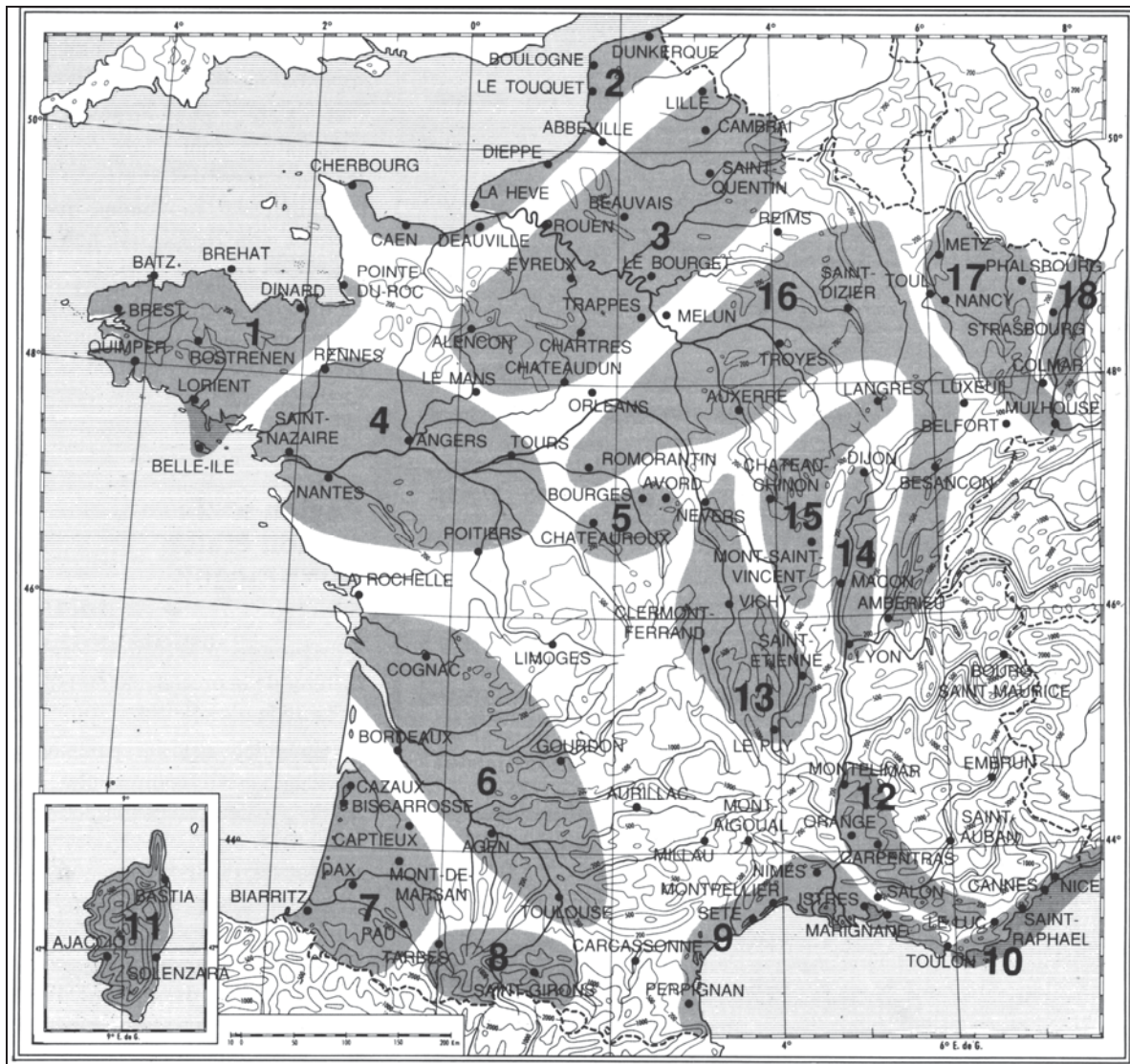


Fig 5.8 Carte de synthèse des régions thermiques en France.  
(Illustration tirée de : Météo-France, Monographie N° 4, p 13) .

Cette représentation climatique de la France (Fig 5.8), (14) est la première qui se détache totalement du découpage administratif de la métropole. Elle se substitue à toutes les autres représentations climatiques antérieures. Les études faites à partir des éléments précédents méritent d'être revues et peuvent être sujettes à des corrections.

Ces résultats montrent que dans la division précédente certaines régions, comme la région IV (Franche Comté, Bourgogne orientale, Beaujolais, Lyonnais), présentent des diversités climatiques. La région IV est caractérisée par 3 climats différents. Cette région très particulière, est soumise à l'influence méditerranéenne par la remontée d'air chaud le long du couloir rhodanien, à l'influence océanique, et aux attaques d'air froid sec venant de l'est (Allemagne ou Suisse), ou humide venant du nord. Le léger relief favorise la mise en valeur des disparités climatiques régionales.

### *LE CLIMAT DE LA FRANCE DES ANNEES 1776 A 1792*

#### *SELON DESAIVE ET LEROY LADURIE*

Les observations thermiques faites par les médecins à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle sont reprises par DESAIVE et LEROY LADURIE, après conversion des températures en degrés Celsius et élimination d'erreurs grossières, pour faire une première approche du climat de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Le découpage climatique de la France disponible à l'époque (1972) était celui de la Météorologie Nationale qui partageait la France en 14 régions climatiques notées de I à XIV. Pour des raisons de pauvreté des données thermiques de certaines régions, les auteurs ont procédé à quelques regroupements et modifications définissant 9 régions climatiques pour la France (16). De ce fait ils présentent des graphiques, qui d'après eux, caractérisent le climat de chaque région. Bien sûr ces regroupements ne sont pas

valables, car ils rapprochent des zones aux caractères climatiques forts différents (Fig 5.9).

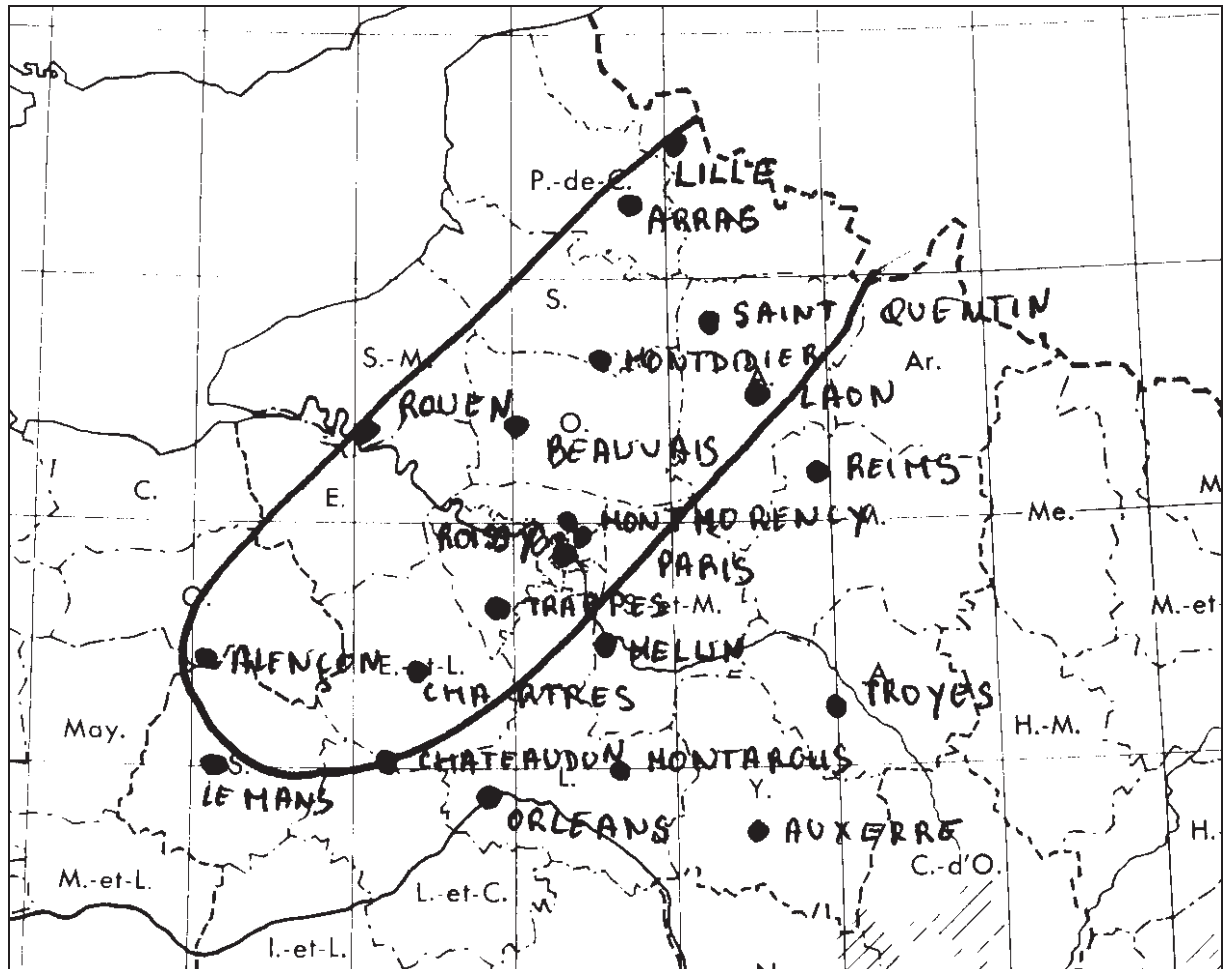


Fig 5.9 Stations d'observation en France : Ile de France, Beauce, Champagne, Flandre et Artois. Régions thermiques : 3 (entourée), et 16 au sud-est.

La région I définie par DESAIVE et LEROY LADURIE, (Ile de France, Champagne, Haute Normandie) associe des villes soumises à l'influence océanique comme Rouen, et des villes subissant les effets d'une tendance continentale comme Châlons-sur-Marne. Elle s'étend sur trois régions climatiques. Un climat maritime de la zone 2 (ex : Caen), une zone à tendance continentale de



la zone 16, comme Saint-Dizier où les extrêmes thermiques sont plus marqués, et une zone intermédiaire en zone 3, qui concerne l'Ile de France et la Normandie orientale. La région VII, (Bretagne, Charente Poitou, Mayenne, Vendée) très étendue du nord au sud, ne peut pas présenter le même caractère sur toute sa superficie. Cette remarque effectuée, examinons comment sont présentés les résultats.

Pour la période 1775 à 1786 les moyennes des températures estivales (moyennes de moyennes mensuelles des 5 mois de mai à septembre) et les moyennes des températures d'hiver (moyennes des moyennes mensuelles des 4 mois de décembre à mars) pour 8 postes d'observation de la région Parisienne et du Nord Pas de Calais, sont reproduites sous forme de graphique (17). Ces moyennes proviennent d'observations effectuées trois fois par jour : le matin, vers midi ou peu après, et le soir. Les corrections effectuées avant de retenir les mesures sont limitées à la vérification des calculs et à l'élimination des données aberrantes.

Sans prétendre faire des comparaisons avec les mesures de l'époque actuelle, un calcul similaire pour les données récentes semble être la première chose à faire. Les stations de Paris, Chartres, et Montmorency appartiennent à la même région climatique. La durée des observations couvre la totalité de la période ou presque. Chacune a sa station correspondante contemporaine : Paris, Chartres, Roissy. Nous ne discuterons pas des épisodes chauds ou froids qui se sont succédés, mais de l'allure générale des graphiques. Les températures de chacune

des trois villes à l'époque contemporaine ont une évolution quasi-parallèle durant les 15 années. La dispersion ou l'enchevêtrement qui caractérise les graphiques des données anciennes n'apparaît pas pour les données récentes (Fig 5.10 et 5.11).

L'élément important à retenir est l'ordre de grandeur de l'enchevêtrement ou du non-parallélisme des graphiques. Inférieur à 0,5°C actuellement, il était compris entre deux et trois degrés il y a deux siècles, d'après les graphiques des données brutes. Paris, qui d'une part subit un effet important d'urbanisation, et d'autre part est à une altitude moins élevée que Chartres ou Roissy, se distingue par des températures supérieures à celles des autres villes. Comme ces villes sont situées dans la même zone climatique, il est normal que les évolutions thermiques soient semblables. Les courbes des moyennes des températures doivent se présenter sous une forme quasi parallèle. Suivant ces considérations, le non-parallélisme peut être admis comme critère de précision. Le graphique (Fig 5.10), permet de dire que les températures estivales moyennes pour la région parisienne du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant sont précises à  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ . La crédibilité des variations inférieures à 1,5°C reste à affirmer quand à son sens. Il est évident que cette valeur n'est qu'un ordre de grandeur étant donné l'hétérogénéité des instruments et des conditions d'observations.

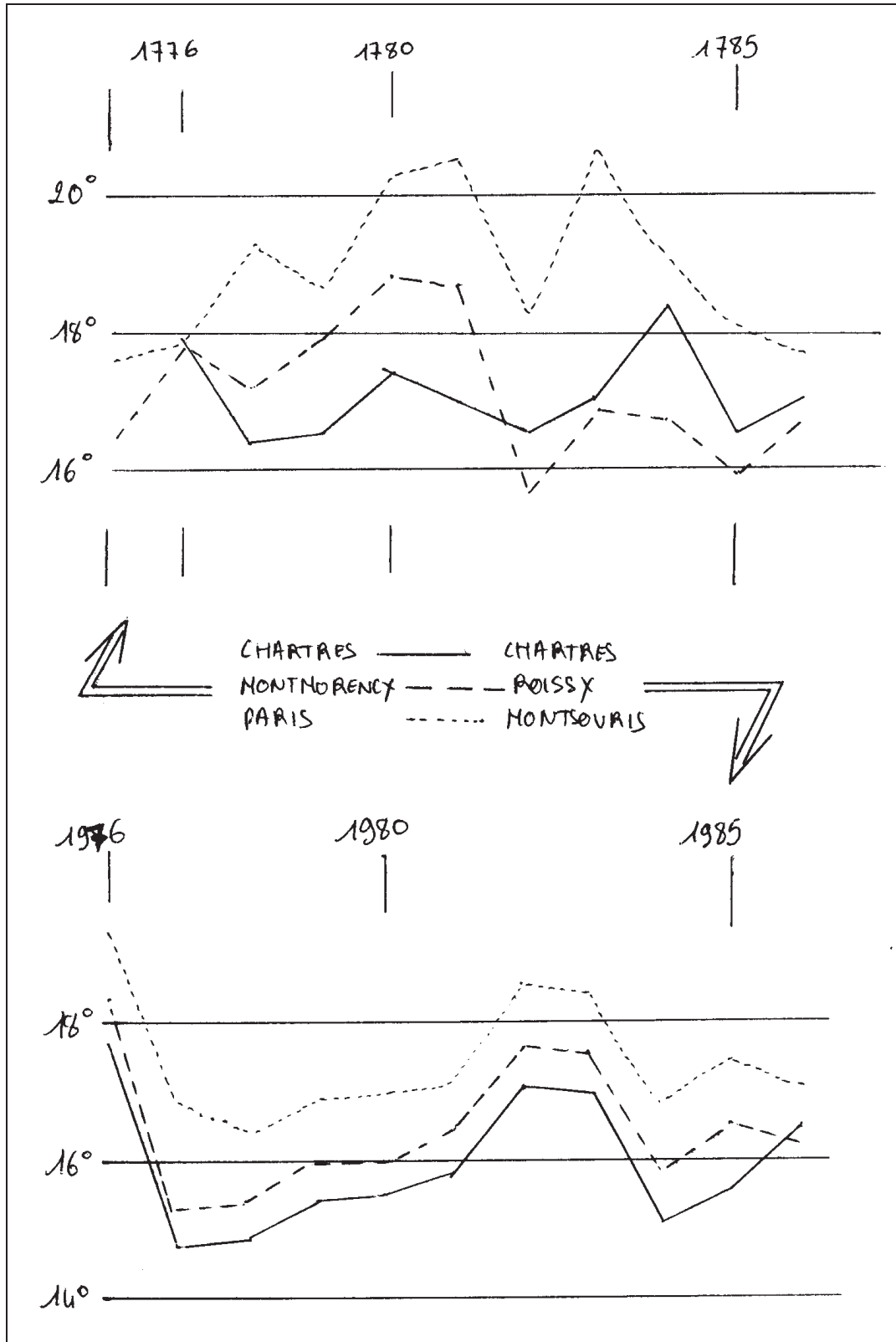


Fig 5.10 Comparaison des moyennes estivales des températures pour les villes de Chartres, Paris, et Montmorency. Observations sous l'égide de la S.R.M. en haut : 1776 à 1785. Actuelles en bas : 1975 à 1985.

En hiver, le rayonnement est moins important et l'amplitude thermique diurne plus faible. Les erreurs dues à l'influence du rayonnement sur le thermomètre, et celles dues à la divergence des heures d'observation entre les stations, sont plus faibles. Comme le remarque à juste titre LEROY LADURIE, les données d'hiver sont meilleures que celles d'été. Le regard sur le graphique montre que l'enchevêtrement des courbes est moins important. La précision est voisine de  $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$  si on excepte la cassure de Chartres (Fig 5.11). Les faibles différences d'altitude ont pour effet d'augmenter ou d'abaisser de quelques dixièmes la valeur moyenne. L'incidence sur l'enchevêtrement est insignifiante.

Ainsi, il est plus facile de déceler des erreurs instrumentales en hiver qu'en été. La différence due au changement de thermomètre se perçoit mieux l'hiver que l'été. La cassure observée à Chartres (en 1784) est probablement causée par un changement de thermomètre en 1783. Cette appréciation est confirmée par l'annotation qui accompagne l'envoi des observations météorologiques de Chartres pour l'année 1783 (18). A coté de la moyenne de la température de décembre figure l'annotation suivante:

"juste à l'exception d'une petite portion de mercure restée en arrière : imperfection constamment reconnue en 4 thermomètres du même auteur, qu'a eu l'observateur. C'est auprès de ce fameux PERICA : il faut convenir qu'il travaille adroitement le verre, c'est toujours un petit talent donc en lui tenir compte."

(Tiré de la correspondance de MAHON de décembre 1783, S.R.M.)

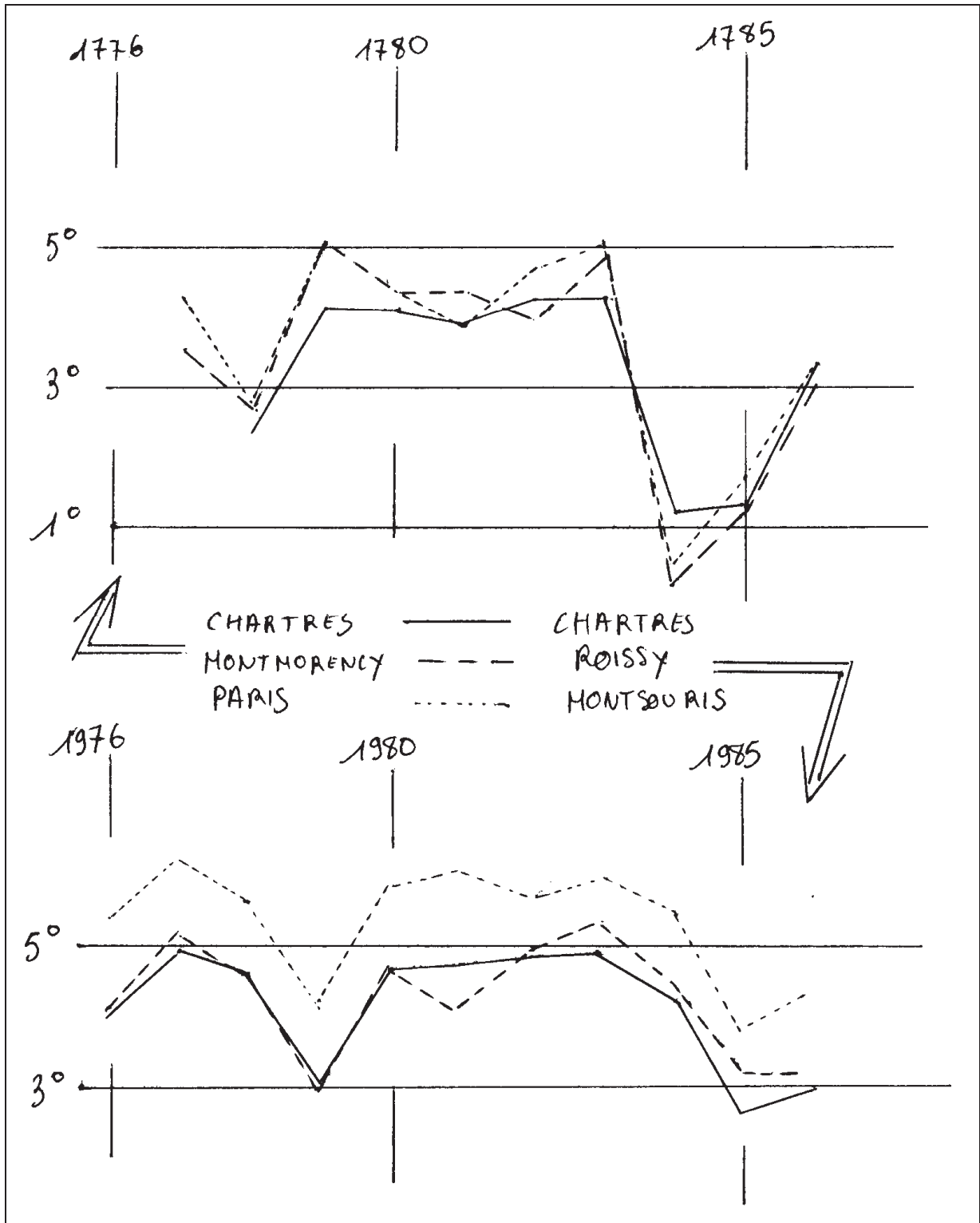


Fig 5.11 Comparaison des moyennes hivernales des températures pour les villes de Chartres, Paris, et Montmorency. Observations sous l'égide de la S.R.M. en haut : 1775 à 1785. Actuelles en bas : 1975 à 1985.

Un rapide coup d'oeil du tableau synoptique regroupant les informations de base sur le thermomètre et l'usage fait par les médecins (tableaux 5.1 et 5.2) montre qu'on ne peut pas être certain de la précision des moyennes qui ont été calculées à partir des données brutes. Pour ces trois villes, seule Montmorency précise l'heure de ses observations.

L'examen des graphiques des autres régions de France montre, que l'ordre de grandeur de la précision est sensiblement le même, excepté pour les températures minimales où il serait un peu plus élevé.

D'une manière générale, les moyennes des températures sont calculées à partir de données provenant de thermomètres de différent modèle (mercure ou "*esprit de vin*"), d'expositions différentes, installés à différentes hauteurs (altitude et hauteur depuis le sol), et observés à des heures différentes. Cette approche n'exclut pas une erreur systématique de l'ensemble des mesures qui peut élever ou abaisser toutes les données (thermomètre fractionné par exemple).

La présentation des courbes publiées, permet d'apprécier la période d'observation et l'étalement des mesures pour quelques villes. L'information est plus complète que dans le tableau de l'annexe 1 page 117 du livre de DESAIVE (1). Ce dernier n'indique que le nombre de mois pour lesquels l'observation de tels paramètres est effectuée. Ceci permet de préciser, que d'une part le type de thermomètre n'est pas pris en considération, et que d'autre part l'exploration des manuscrits

détenus par la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine est incomplète. Par ailleurs des recherches auprès des Archives Nationales ne semblent pas avoir été effectuées.

## *LES ELEMENTS EN CAUSE*

### *Le changement de thermomètre*

Le changement du type de thermomètre a une incidence sur la mesure de la température même si les conditions d'observations sont bien respectées (l'ordre de grandeur est du demi-degré pour le changement d'un thermomètre à "esprit de vin" par un thermomètre à mercure). La détection de cette erreur dans les graphiques présentés est peu probable, la dispersion étant le plus souvent supérieure au degré. Dans cette situation se trouve par exemple Poitiers, qui depuis janvier 1778 possède un thermomètre à mercure. Les moyennes existent depuis 1776. De même, Nantes a changé son thermomètre en mai 1781, et Rouen possède un thermomètre MOSSY depuis 1789.

D'autres observateurs sont fidèles au thermomètre à "esprit de vin", c'est le cas de MOIGNON à Châlon, BOUCHER à Lille; la comparaison directe sans ajustement avec des mesures faites avec un autre type de thermomètre n'est pas souhaitable.

Les manuscrits de la S.R.M. bien qu'abordés par LEROY LADURIE restent néanmoins en partie inexploités. Pour certaines villes des données complémentaires se trouvent dans les dossiers du fond VICQ D'AZYR, c'est le cas par exemple de Rouen.

*L'altitude*

Un autre élément qui n'est pas pris en compte est celui de l'altitude. Par exemple pour le groupe III (est) sur le même graphique figurent côte à côte les moyennes d'hiver et d'été pour Arras (altitude 72 m) et Pontarlier (altitude 837 m). L'écart moyen de 4°C entre ces deux villes est normal, compte tenu de la différence d'altitude des deux villes. Une décroissance moyenne de la température avec l'altitude de 6°C par 1000 m permet d'estimer un écart de 5°C entre Arras et Pontarlier.

*Les observateurs de province*

Les quelques données examinées montrent que la plupart des observateurs proches de Paris possèdent des thermomètres à mercure provenant de constructeurs recommandés par la S.R.M., et ne se plaignent pas de la qualité de leurs instruments. Les changements de thermomètres affectent surtout les villes de province plus éloignées qui ne correspondent avec la société que par courrier. Mais la conscience des observateurs n'est pas à mettre en doute : les changements de thermomètre, le souhait d'avoir de meilleurs instruments signalé par plusieurs correspondants en sont la preuve. C'est le cas notamment de Dax, Fontenay le Comte, Bordeaux, Perpignan. Ces médecins du midi sont conscients que leurs mesures ne sont pas ce qu'elles devraient être, bien qu'elles soient faites avec tout le sérieux et le maximum d'exactitude.



Il faut s'attarder sur le cas des observations du midi de la France qui sont certainement plus délicates à faire que dans les pays plus au nord. En effet, dans ces régions le soleil est plus haut dans le ciel, et l'ombre du mur se trouve diminuée. Le rayonnement du sol, des obstacles proches ont des effets plus marqués. La plus grande force du soleil vient s'ajouter à cet effet. La mesure de la température est plus sujette aux réflexions et rayonnements que dans les régions au nord. La connaissance de l'installation du thermomètre est d'autant plus nécessaire que les mesures sont effectuées dans le sud. Un autre point qui a son importance concerne la différence qu'il peut y avoir entre une observation faite en ville et celle faite à la campagne. Dans le midi de la France il y a beaucoup de ruelles étroites. Cette configuration contribue à s'écarter de la température réelle. Marseille qui possédait deux lieux d'observation (l'un en ville l'autre à la campagne) est un exemple typique. La série des températures de la ville peut être très inférieure à celle de la campagne, tout dépend des heures et du lieu d'observation. La remarque "*on ait concomitamment cuit à Montpellier et qu'on se soit trouvé au frais à Marseille*" (19) est fondée, par contre son explication ne l'est pas.

L'analyse du climat de la France du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant ainsi faite est une approche qui a le mérite d'exister. Elle peut être utilisée à condition de retenir des limites de précision. Les températures moyennes signalées sont connues à quelques degrés près, avec une meilleure précision pour l'hiver.

*LE COEFFICIENT DE CORRELATION**OUTIL DE COMPARAISON DES SERIES THERMIQUES :**SES POSSIBILITES, SES LIMITES*

Le coefficient de corrélation est l'unique critère de comparaison des séries thermiques du XVIII<sup>e</sup> siècle utilisé par DESAIVE (20). S'il ne fait aucun doute, que ce critère permet de comparer deux séries numériques, dans le cas de données météorologiques, la seule utilisation du coefficient de corrélation ne peut suffire pour affirmer ou infirmer la justesse des observations. Par ailleurs ce test statistique ne peut pas être utilisé sans précaution préalable. Il est inutile d'y soumettre deux séries thermiques dont on sait pertinemment que le résultat sera médiocre compte tenu de la différence des climats. Ce test doit être précédé de la vérification de l'homogénéité de la série de mesures. Deux séries non homogènes à évolution parallèle peuvent être fortement corrélées. Ce test unique, ne décèle pas certains éléments. Il est vrai que le croisement des corrélations entre plusieurs villes peut faire surgir cette anomalie, mais on n'est pas certain que la faiblesse du coefficient ne provient pas d'une autre cause.

Les erreurs dues aux conditions de mesure et aux instruments sont de nature à faire chuter ce coefficient lorsque l'étude porte sur deux séries qui ne présentent pas de défauts semblables. Les instruments se ressemblant pour la plupart, les règles d'installation et d'observation étant assez bien

suivies, le seul test du coefficient de corrélation ne suffit pas pour percevoir les détails.

Le climat d'un lieu est défini par la moyenne des paramètres météorologiques mesurés pour une période de 30 ans. Par exemple, la température moyenne d'une ville sera la moyenne de toutes les températures observée, calculée pour cette période. La moyenne d'un mois donné, est la moyenne des 30 moyennes mensuelles de ce mois. Ces valeurs sont appelées des "*normales*".

La durée des observations est dans le cas présent, bien plus courte. Nous conserverons le terme "*normale*" chaque fois qu'il s'agira de moyenne de moyenne. Par exemple, si la période d'étude dure 4 années, la température "*normale*" mensuelle pour un mois donné de cette période, sera la moyenne des 4 températures mensuelles disponibles.

Les données de chacune des deux séries (deux villes), pour le calcul du coefficient de corrélation seront les écarts entre la température moyenne mensuelle d'un mois, et la "*normale*" correspondante. La moyenne est calculée avec toutes les années où il y a eu une observation commune aux deux stations (21). Généralement inférieure à dix années, cette moyenne ne peut nullement être représentative du climat. C'est une base théorique de calcul de comparaison. Ainsi pour deux séries communes durant quatre années, la moyenne des températures mensuelles est calculée sur ces quatre années pour chacune des stations. Pour chaque ville, les écarts ( $m$ ) de chaque

température moyenne mensuelle (M), à la "normale", ou moyenne des moyennes mensuelles, des quatre années (M ), sont les valeurs prises en compte pour le calcul du coefficient de corrélation. L'écart (m) est la quantité qu'il faut ajouter à la moyenne mensuelle (M) pour obtenir la "normale" (M ) :

$$m = M - M$$

Ce coefficient a été vérifié pour Lille et Poitiers (42 données communes, 42 mois communs d'observation de juillet 1783 à décembre 1786). Le coefficient de corrélation est effectivement de 0,70 comme cité dans le livre de DESAIVE. Que donne le calcul de sa valeur actuelle?

Le calcul a été fait pour deux périodes contemporaines de même durée, commençant également en juillet :

- la première s'étend de juillet 1973 à décembre 1976,
- la seconde de juillet 1977 à décembre 1980.

Elles ont chacune la même durée : 42 mois. Pour chaque période, avec un calcul semblable à celui effectué pour la comparaison des températures du XVIII<sup>e</sup> siècle, les deux coefficients de corrélation sont respectivement 0,83 et 0,67. Ce coefficient est peu élevé et variable. Il encadre la valeur trouvée par DESAIVE. Dans l'exemple choisi, la première période fût plutôt chaude, et la seconde plutôt fraîche. L'écart est de 0,5° à 0,6°C par rapport aux températures moyennes annuelles.

Ces deux villes n'ont pas le même climat. Lille est dans la zone 3, et Poitiers dans la zone 4. Pour cette dernière, les

températures maximales sont plus élevées qu'à Lille, et les amplitudes thermiques diurnes plus importantes. Elles subissent différemment les influences des masses d'air (chaudes ou froides). Les résultats trouvés étaient prévisibles compte tenu de la situation et de l'éloignement géographique de ces deux villes. La période humide et fraîche est marquée par des passages de perturbation, elle est caractérisée par des variations temporelles dans le temps et l'espace. La première période plus sèche fut relativement plus stable, les types de temps à Lille et à Poitiers eurent une plus grande similitude. Cette variabilité différemment ressentie par les deux villes n'échappe pas au test du coefficient de corrélation. Ce dernier, pour des villes qui ne sont pas soumises à un même climat ne peut suffire pour déterminer la validité de la série thermique. Il a pour seul objet l'identification de deux séries thermiques par la comparaison de leurs écarts à la moyenne. Des valeurs faibles de ce coefficient ne présument pas systématiquement des observations de mauvaise qualité. L'éloignement de sites choisis, le fait que leurs climats soient différents, sont de nature à déterminer l'intérêt du test. La climatologie locale peut parfois apporter une explication. Par exemple, une station au bord de mer a un climat très différent de celle située à quelques hectomètres dans les terres. Une similitude s'observe également pour les stations de montagne.

Pour le deuxième test de comparaison prenons deux villes bénéficiant d'un climat identique : Montdidier et Montmorency pour l'époque initiale, Beauvais et Roissy pour l'époque

contemporaine. Dans le premier cas la période d'étude comprend 48 mois répartis en deux périodes de janvier 1784 à mai 1787 auxquels s'ajoutent les mois compris entre novembre 1788 et mai 1789. Le coefficient de corrélation de 0,86 est nettement meilleur. Les deux villes sont situées dans la même zone climatique. Néanmoins, sa valeur n'est pas très élevée. Une des raisons de sa faiblesse peut être expliquée par la position du thermomètre qui n'était qu'à une cinquantaine de centimètres au-dessus du sol à Montmorency. Pour les observations contemporaines, deux périodes d'étude de 48 mois consécutifs chacune, de janvier 1974 à décembre 1977 et de janvier 1978 à décembre 1981 présentent des coefficients de corrélation très élevés, 0,99 et 0,97 respectivement. Les mêmes remarques concernant le temps observé s'appliquent également ici. La valeur élevée du coefficient de corrélation, traduit bien le fait que les stations sont soumises aux mêmes influences climatiques et que les conditions d'observation sont homogènes.

Afin de juger si les séries thermiques sont valables ou pas, il faut accompagner, au préalable, le test de comparaison, d'études complémentaires portant sur tous les paramètres susceptibles de modifier les mesures :

- Une étude de site des deux villes.
- Une étude instrumentale de l'instrument et des conditions d'observation qui inclue une réflexion sur les heures d'observation.
- Les deux séries doivent être homogènes.

D'autre part, il est évident que les deux villes qui ne bénéficient pas d'un climat identique ne peuvent pas être comparées ainsi. Le résultat du test sera parfois plus influencé par la différence des climats entre les deux villes, que par la qualité des valeurs thermiques.

Rechercher une corrélation entre les écarts aux moyennes de Montmorency avec ceux de Marseille est une aberration. Ces deux villes sont soumises à des climats très différents. Il est normal que les coefficients de corrélation de ces deux villes soient très faibles. En ce qui concerne les conditions expérimentales, des facteurs comme : des horaires d'observation différents, des expositions ou des installations différentes, sont suffisants pour faire chuter le coefficient de corrélation. Un thermomètre au deuxième étage ne mesure pas les mêmes températures qu'un thermomètre situé à 1,50 m au-dessus du sol. Ce dernier voit la nuit des températures plus basses que celui situé plus haut (la nuit le sol rayonne vers l'atmosphère, il perd ainsi de sa chaleur. Le plus souvent, la nuit, le profil vertical de température dans les très basses couches de l'atmosphère est croissant depuis le sol). De même, un thermomètre situé sur une fenêtre exposée au nord mais dans une ruelle d'une ville, indiquera des températures plus basses que celui qui se trouve face à un espace bien dégagé. La distance à la mer (pour les stations maritimes) est à l'origine de très gros écarts de température. Les fortes différences de température observées entre Montpellier et Marseille peuvent s'expliquer ainsi.

Le coefficient de corrélation, comme élément de comparaison, ne peut être utilisé que pour des mesures provenant de deux villes qui bénéficient d'un climat semblable. Ainsi, connaissant les régions climatiques de la France, il est aisé de définir quelles sont les villes, qui appartenant à la même zone climatique, peuvent être comparées entre elles. La divergence des heures d'observation, et la non-homogénéité des conditions de mesure, ont une incidence sur la température moyenne mensuelle. Ces éléments perturbent le coefficient de corrélation. De ce fait il peut-être faible en présence de bonnes observations.



### *UNE AUTRE APPROCHE DE CES TEMPERATURES*

"L'enquête de l'Académie de médecine sur les épidémies, 1774-1794" de J. MEYER ( ) est le premier article contemporain qui propose une synthèse médicale et météorologique de quelques manuscrits bretons du XVIII<sup>e</sup> siècle finissant. Pour la partie météorologique, l'examen porte uniquement sur les températures. L'auteur dispose de trois longues séries d'observation : Saint Brieux (fin 1776 à mi 1789), Nantes (1776 à mi 1783), et Saint Malo (mi 1777 à mi 1779 puis 1782 à 1786).

Jean MEYER a essayé de dégager les tendances de l'évolution climatique à partir "d'instruments faux". Cette expression comprend les erreurs instrumentales et celles liées à l'installation du thermomètre. Les informations d'origine agricoles, complémentaires des données chiffrées, confortent les variations thermiques brutes observées. Ces dernières, très importantes, font que les erreurs commises sur l'observation de la température ne perturbent pas la tendance générale. Ainsi, le refroidissement de la période pré-révolutionnaire est bien réel.

Cette étude ne peut apporter d'autre élément que celui d'une évolution globale. L'analyse de ce document montre rapidement quelles sont les limites crédibles si on utilise les températures sans correction, sans examen critique. Celui-ci porte sur trois points : les moyennes saisonnières ou trimestrielles, les moyennes mensuelles, et une comparaison

avec le climat actuel. Le rapprochement des manuscrits de la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine confirme les conclusions émises à l'issue de l'examen des valeurs numériques brutes.

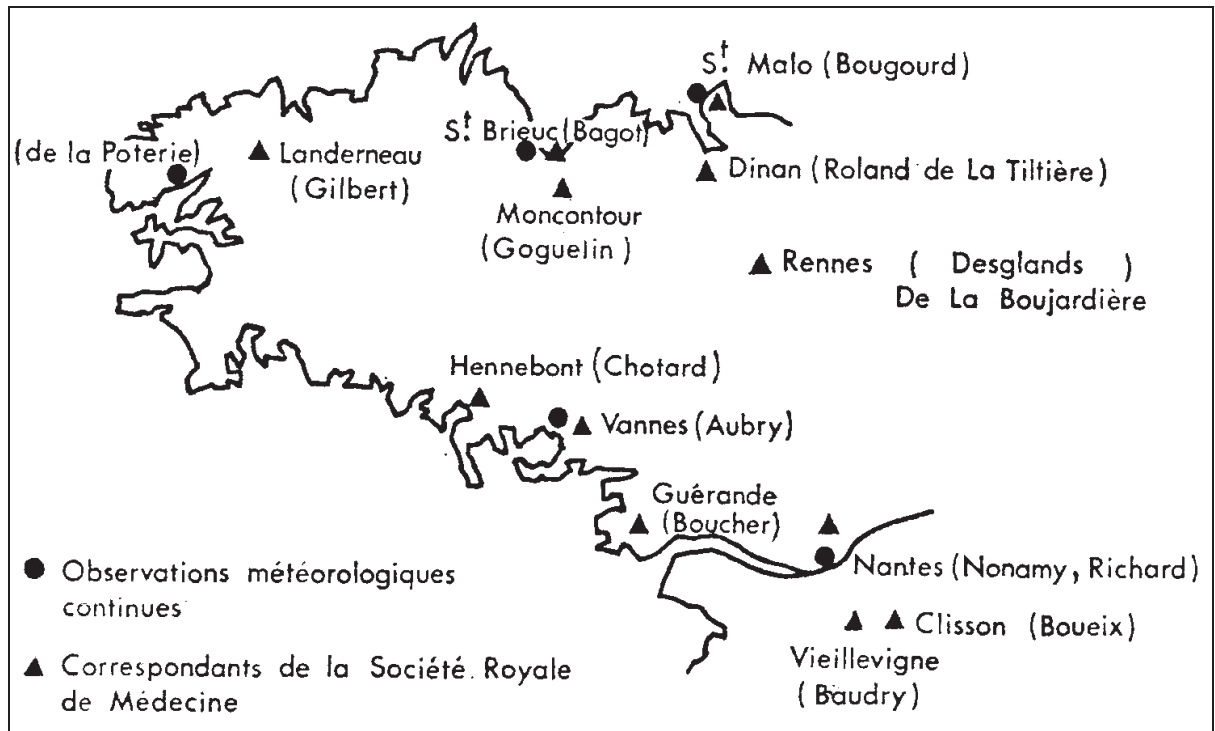


Fig 5. Postes d'observation en Bretagne. (Illustration tirée de J. MEYER p 47).

#### *Les moyennes saisonnières*

L'examen des moyennes saisonnières fait apparaître des anomalies dont l'ordre de grandeur est du degré, parfois plus :

➔ Le croisement des courbes des moyennes estivales de Nantes et de Saint Briec entre 1779 et 1780 n'est pas naturel. En 1778 et 1779 la température de Nantes est plus basse que celle de Saint Briec de plus d'un degré Celsius. La climatologie actuelle prévoit l'inverse. Il en est de même pour l'automne et

pour l'hiver, mais l'amplitude est moins marquée. Par contre au printemps la température de Saint Brioux est toujours inférieure à celle de Nantes comme l'indique la climatologie de la région Fig 5. ).

→ La comparaison Saint Malo-Saint Brioux (même zone climatique) montre des différences notables entre les moyennes saisonnières des deux villes : de quasiment 0° à près de 4 degrés.

L'heure des observations est peut-être à l'origine d'une partie (la plus importante) de ces différences. Il y a peut-être eu un changement d'instrument en 1780 à Saint Brioux.

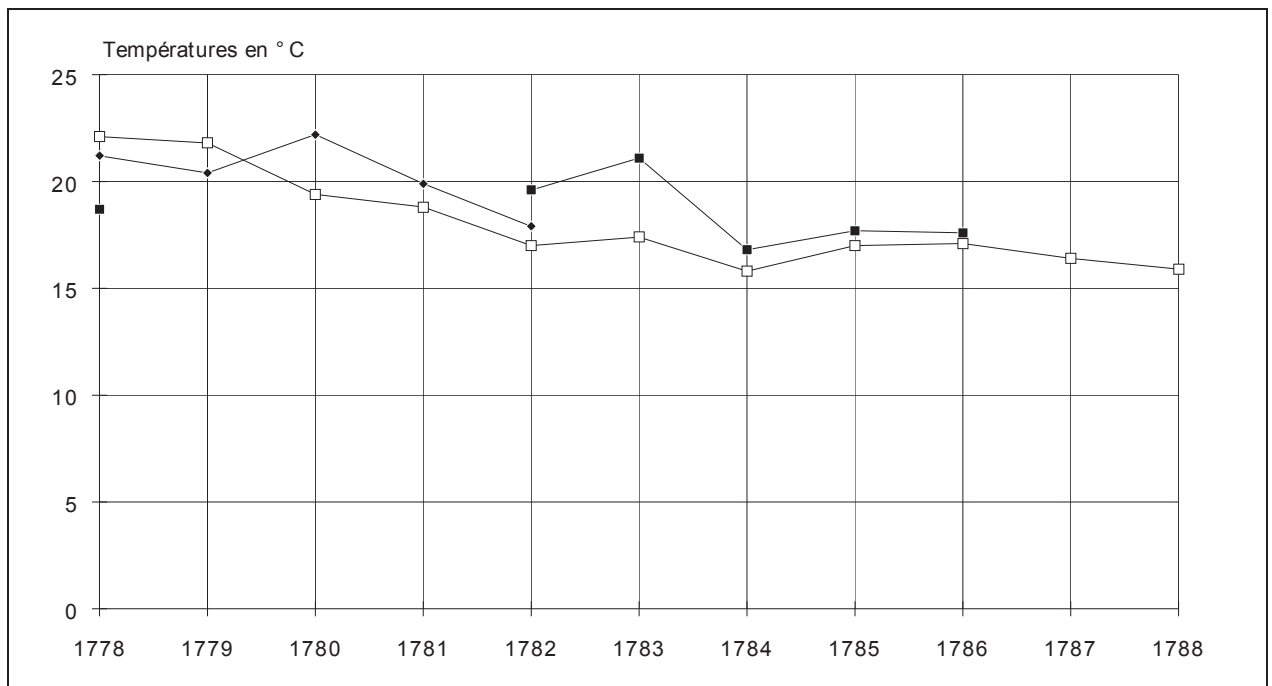


Fig 5. Evolution des températures estivales à Saint Brioux □, Saint Malo ■, et Nantes ◆ de 1778 à 1788.

*Analyse des moyennes mensuelles*

L'auteur a représenté en fonction du temps un graphique des moyennes mensuelles des températures de 1776 à 1789 pour Nantes, Saint Malo et Saint Brieux (Fig 5. ). Compte tenu de l'échelle, il est impossible d'observer les différences. Celles-ci, de quelques degrés entre deux séries, disparaissent dans l'oscillation annuelle. Pour faire apparaître les détails il ne s'agit pas de représenter les moyennes mensuelles, mais les écarts aux moyennes de ces moyennes (normales pour la période). Ainsi l'examen des écarts aux moyennes des moyennes mensuelles montre que :

➔ Concernant Saint Brieux, à partir de 1782, les écarts sont plutôt négatifs, ils l'étaient rarement avant. La tendance générale est à la diminution du niveau de chaleur moyen en fonction des années.

➔ La comparaison avec Saint Malo montre :

a) que l'été chaud de 1778 à Saint Brieux n'apparaît pas à Saint Malo, par contre le froid de janvier 1779 est bien ressenti dans les deux villes ainsi qu'à Nantes.

b) De mars 1782 à décembre 1784, les deux séries de températures sont fortement corrélées, si celles de Saint Malo sont diminuées de 1 degré environ.

c) De juillet 1784 à décembre 1786, il y a une bonne corrélation entre les deux séries sans enregistrement de l'une d'elle.

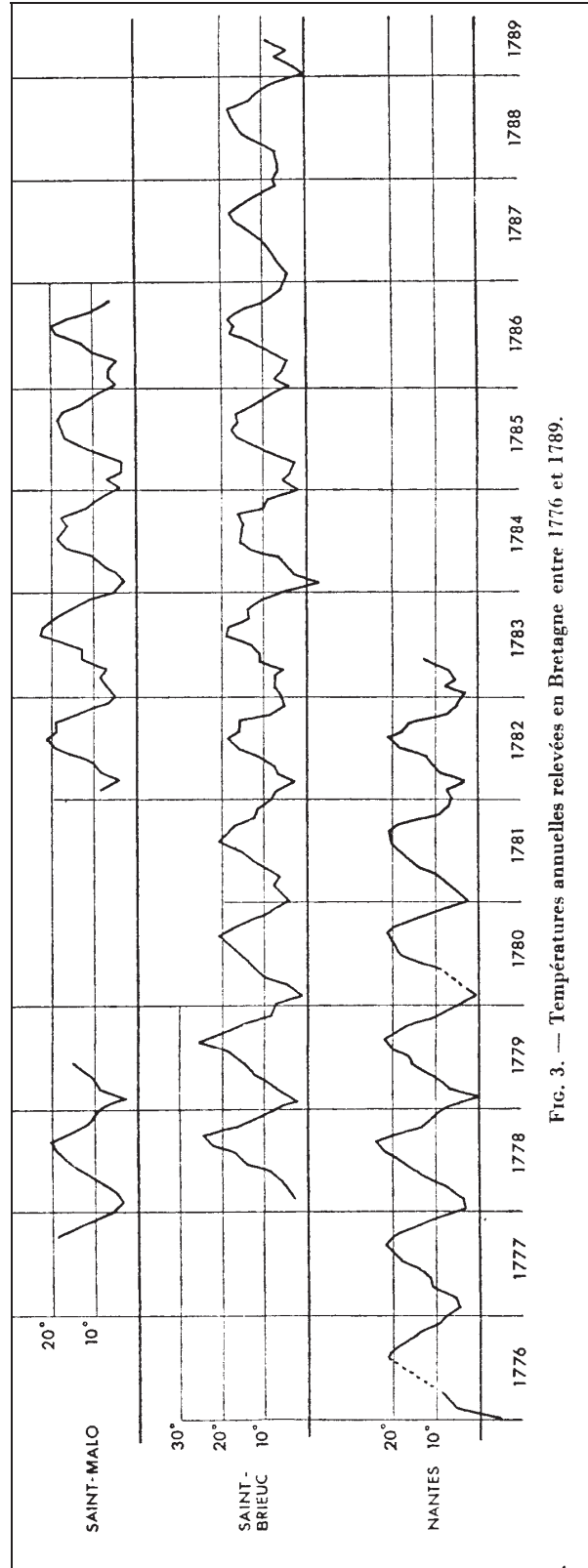


FIG. 3. — Températures annuelles relevées en Bretagne entre 1776 et 1789.

Fig 5. Températures moyennes mensuelles observées en Bretagne entre 1776 et 1789 (Illustration tirée de J. MEYER p 49)

→ Avec Nantes, il y a de bonnes corrélations et de gros écarts. Les chaleurs estivales De Saint Brioux de 1778 et 1779 ne sont pas perçues à Nantes.

Cet examen confirme les valeurs douteuses des températures des deux premières années de saint Brioux. A noter également un écart global de 1° pendant une durée 3 ans qui montre qu'il y a eu un changement (thermomètre, lieu d'observation, horaire) dans l'une des deux stations.

D'autre part la différence entre certaines moyennes mensuelles entre saint Malo et saint Brioux est parfois très élevée. De tels écarts confirment la présence d'anomalie.

février 1779 : différence de 7°3 St Brioux plus froid

janvier 1784 : différence de 6°4 St Brioux plus froid

septembre 1783 : différence de 4°7 St Brioux plus froid

août 1778 : différence de 4°8 St Brioux plus chaud

juillet 1778 : différence de 3°9 St Brioux plus chaud

*Comparaison du climat de saint Brioux au XVIII<sup>e</sup> siècle, avec le climat actuel de Dinard.*

La comparaison avec le climat actuel est faite avec Dinard, station située dans la même zone climatique que Saint Brioux. Elle montre que :

→ La variabilité des moyennes mensuelles (amplitude des moyennes mensuelles) est plus importante au XVIII<sup>e</sup> siècle surtout en été, qu'elle ne l'est actuellement.

→ Que durant les mois d'hiver (faible rayonnement), la température moyenne "brute" au XVIII<sup>e</sup> siècle est plus basse que

la température actuelle, qu'elle est plus élevée durant la période estivale (rayonnement important). Durant les mois "charnière", avril et octobre-novembre, les moyennes mensuelles sont identiques.

- ➔ Le mois d'août est le plus chaud dans les deux séries.
- ➔ Janvier est le mois le plus froid dans les deux séries.
- ➔ L'accroissement mensuel de chaleur observé au printemps entre mars et avril au XVIII<sup>e</sup> siècle est beaucoup plus important qu'actuellement (passage à l'équinoxe).
- ➔ La diminution mensuelle de chaleur observée en automne au XVIII<sup>e</sup> siècle entre septembre et octobre est beaucoup plus importante qu'actuellement (passage à l'équinoxe).

Ces résultats montrent qu'il y a un effet du soleil :

- ➔ Soit directement, soit par réflexion, soit par rayonnement, simple ou combiné
- ➔ Cet effet est perceptible entre les deux équinoxes durant l'été. Il produit une élévation de la température du thermomètre
- ➔ Plus le mois est ensoleillé, plus cet effet est sensible;

*Conclusion de l'analyse des données chiffrée.*

Pour saint Brieux, une étude avec deux stations proches, et une comparaison avec le climat actuel a montré que les valeurs des

années 1778 à 1779 sont incorrectes. Les étés n'ont pas été aussi chaud que le prétendent les chiffres.

L'écart systématique de 1°C pendant trois ans montre qu'il y a une correction fixe à établir pour une certaine période.

L'utilisation des températures anciennes sans étude préalable de leur qualité est aberrante. Il n'est pas possible de conclure avec les singularités climatiques observées avant de prouver qu'elles sont réelles.

S'il n'est pas possible d'utiliser les données brutes, dans un premier temps une analyse sur le sens de l'erreur peut être tentée. Mais encore faut-il être en possession de quelque éléments d'information.

#### *Rapide coup d'oeil aux manuscrits de la SRM*

La consultation des manuscrits de Saint Brieux détenus à la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine apporte quelques précisions qui confirment les hypothèses émises. Le Dr BAGOT reconnaît en juillet 1780 que son thermomètre est défectueux suite à une remarque de COTTE lui signalant la faiblesse de ses températures.

Jusqu'au 7 juin 1780, le thermomètre est un thermomètre à mercure de SENEAGATI placé au nord nord-ouest, observé uniquement à 22 heures. Le nord nord-ouest reçoit le soleil en été le soir, et les températures de cet instant de la journée sont plus élevées qu'elles le seraient dans un endroit abrité. D'autre part, l'unique observation tardive donne une représentativité climatique quotidienne plus faible que la



réalité d'où la remarque de COTTE. Ces deux effets sont contradictoires, il est difficile de percevoir l'anomalie sur la seule analyse des données.

Depuis le 8 juin 1780, le thermomètre est à mercure de Mossy. Il est placé au nord nord-est (ce fait est signalé au troisième trimestre). Placé à côté de l'ancien thermomètre, le nouveau est plus élevé d'environ 2 degrés.

Depuis juillet 1780, le Dr BAGOT observe trois fois par jour : 6h, 14h, 22h.

Pour Nantes le thermomètre est à mercure depuis mai 1782. Avant il était à "*esprit de vin*". Pour saint Malo, le thermomètre est à mercure en 1782. On ne sait pas depuis quand.

La série des températures de saint Brieux n'est utilisable qu'à partir de juillet 1780, car c'est à ce moment que le Dr BAGOT a nettement amélioré son poste d'observation. Néanmoins, le thermomètre exposé au nord nord-est demande une attention particulière pour les températures matinales.

## 5.3 SCHEMA D'ETUDE DES SERIES ANCIENNES

### DU XVIII<sup>è</sup> SIECLE : ESPERANCES ET LIMITES

La qualité du thermomètre, de son installation, des horaires d'observation, de son état (sec ou mouillé) sont des facteurs qui font que la température mesurée est plus chaude ou plus froide qu'elle ne le serait si elle était mesurée sous abri comme le font les météorologistes de nos jours. Ces écarts de température, peuvent être qualifiés "*d'anomalies*" par rapport à ce qu'elles auraient été si leurs mesures avaient été effectuées dans des conditions semblables à celles de notre époque. Avant de traiter les données numériques, il est primordial d'effectuer une analyse métrologique afin d'analyser le contexte dans lequel ces observations se sont effectuées. Cette étude se constitue avec les "*bribes*" de renseignements captés dans les dossiers du fond VICQ D'AZYR, dans des journaux, ou autres documents de l'époque. Les médecins pensaient bien faire en appliquant au mieux et à leur façon, les consignes de la S.R.M. Les indications sur leur art d'observer, leur manière de faire, sont très brièvement décrites.

L'emplacement de la plupart des stations météorologiques actuelles a été choisi pour la qualité des observations. Leur situation géographique est telle que l'observation doit être représentative de la masse d'air avoisinante. Les influences locales doivent être limitées pour s'effacer devant celles de

l'altitude, de la latitude, de la distance à la mer et du régime de circulation générale qui détermine le temps moyen du lieu. Une telle station est qualifiée de synoptique. Les stations trop proches de la mer ou dans des vallées encaissées sont fortement soumises aux influences locales. La comparaison de leurs séries thermiques avec d'autres stations doit être faite avec la plus grande prudence.

Les médecins du XVIII<sup>e</sup> siècle ignoraient ces considérations. Ils installaient leur thermomètre là où ils demeuraient. Les sites offrent des inégalités entre eux. Ces différences perturbent la mesure de la température, il reste à les découvrir avant de poursuivre l'étude.

Après la récupération du maximum d'information, dans le cas où l'étude ne vise pas une comparaison avec celle d'une autre époque, deux possibilités s'offrent à nous :

La première consiste à traiter directement les observations anciennes. La comparaison ne peut porter que sur les mesures de cette époque. Le problème majeur est celui de la concordance des heures d'observation. A défaut, seule la proposition suivante est possible.

La seconde proposition, consiste à comparer la série thermique ancienne avec la série thermique actuelle ajustée. Il est possible de faire des corrections plus fines vu la disponibilité actuelle de l'information météorologique. Une étude locale préalable sur le modèle de celle de Trappes

précise quels sont les ajustements à effectuer. Cette méthode peut également être utilisée pour faire des comparaisons avec des mesures d'une autre époque

→ *Des spécificités particulières suivant la période*

Suivant l'époque, l'attention sur l'instrument portera sur des éléments différents. A partir du dernier quart du XVIII<sup>e</sup> siècle, le point de fusion, d'ébullition, et la graduation du thermomètre sont établis d'après des critères assez bien définis. L'attention doit être portée sur le constructeur. Elle porte aussi sur la dérive du zéro qui n'est pas encore maîtrisée.

La période du milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle est couverte par des thermomètres de qualité très variable, notamment par les thermomètres dits de REAUMUR. Il faut en plus s'attacher à connaître les principes de construction du thermomètre dont relève l'observation. Ils peuvent conduire à d'importantes erreurs.

Le début du siècle est inondé de nouveaux thermomètres dotés d'échelles très différentes plus ou moins bien définies et, par quelques thermomètres "*florentins*" encore en usage. Certains thermomètres meilleurs que ceux du milieu du siècle sont mélangés avec des thermomètres douteux.

Par ailleurs, pour les thermomètres du XIX<sup>e</sup> siècle, il faut s'assurer du constructeur et des conditions d'observation.

Celles-ci sont très variables car c'est à cette époque que commença l'observation thermique avec des écrans et des abris.

Dans tous les cas, il faut s'assurer de l'installation, de l'exposition, de la hauteur du thermomètre, des heures d'observation dont les divergences entre observateurs conduisent à d'importantes différences.

#### → *Durée des observations*

Il n'est pas nécessaire que la série ancienne soit très longue. Quelques données exactes constituent une bonne base sur laquelle on peut se fier (23). Les séries plus longues, pour lesquelles des éléments d'analyse de métrologie manquent, comparées à ces données exactes, pour leur partie commune, valide les observations. L'unité temporelle et climatique est requise.

Pour l'étude thermique d'une station, toutes les observations proches situées dans la même zone climatique seront étudiées. Celles de quelques mois ne seront pas rejetées.

L'ajustement des mesures contemporaines apporte une série de données, qui se rapproche des valeurs que ces températures auraient eues, si elles avaient été mesurées dans les conditions du XVIII<sup>e</sup> siècle (en admettant que l'ajustement soit correct). Il est possible de calculer des "*normales*" avec cette nouvelle série thermique calée sur les heures d'observation de

la série ancienne. Alors la série du XVIII<sup>e</sup> siècle, même très courte pourra être comparée par rapport à ces "normales".

→ *Remarques particulières pour les séries thermiques émanant des observations faites sous l'égide de la Société Royale de Médecine.*

A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, les constructeurs sérieux, pour la plupart, remplissent leur thermomètre avec du mercure. Les thermomètres à "esprit de vin" ont souvent une origine inconnue. Pour retenir leurs observations, une comparaison avec une station proche est nécessaire. Si la durée d'observation avec le thermomètre à "esprit de vin" est courte, et que celle avec le thermomètre à mercure est suffisamment longue par rapport à celle du thermomètre à "esprit de vin", les mesures avec ce dernier thermomètre peuvent être écartées.

Parmi les constructeurs réputés, des pièges sont à éviter : MOSSY, CAPPY, GOUBERT construisent de "bons" instruments, PERICA construit des thermomètres pour les bains dont la boule protégée par une bulle en verre augmente la constante de temps. Les variations brusques de la température de l'air ne sont pas perçues.

Un autre élément très important est l'installation du thermomètre. Sa hauteur depuis le sol, et son exposition, face au nord ou légèrement orientée vers l'est ou l'ouest, ne sont pas toujours précisés. L'étude de l'amplitude entre l'observation du matin ou du soir, suivant l'exposition, et

celle de midi, par comparaison avec l'amplitude actuelle, peut déceler des anomalies. Elle doit être effectuée pour la même période, et par temps clair.

Lorsque les informations qui précisent ces éléments sont absentes, un recours à une série correcte, même si elle est courte, peut apporter une crédibilité des données. Si sur quelques mois la comparaison est bonne, on admettra que la série est valide. Il faut toutefois prendre garde qu'il peut y avoir des différences entre l'été et l'hiver. Les résultats obtenus pour une saison ne sont pas projetables pour une autre. Une enquête locale est conseillée, afin d'obtenir le maximum de renseignements.

A ce stade, si le bilan des informations recueillies, permet de répondre à différentes questions (où, quand, comment, avec quel instrument est effectué l'observation thermique de l'air), alors il est envisageable de traiter cette série thermique.

#### → *La région parisienne*

Pour la région Parisienne, hors Paris, Montmorency se trouve dans la zone climatique de l'Ile de France. Choisir la station tenue par JEANCOURT demande une attention particulière sur la hauteur du thermomètre (15 pouces), et sur l'heure des observations qui sont variables le matin. Proche du sol, il subit davantage les effets du rayonnement. Cela est visible sur la figure 5.11 page 316. Pour les hivers doux, la température de Montmorency est souvent la plus élevée; elle est la plus

basse pour les hivers froids. Les influences du type de temps, de l'insolation, et du rayonnement sont très fortes. Cet effet est moins net en été; la cassure de 1782 ne permet pas de dire si elle concerne Chartres ou Montmorency.

Les postes d'observation de l'Ile de France : Bray sur Marne, Clermont, Etampes, Maurepas, Paris, Versailles, seront l'objet d'une analyse métrologique pour une étude sérieuse des températures anciennes de la région parisienne.

→ *Méthodologie d'étude des séries anciennes*

L'étude des températures anciennes repose sur quatre phases principales :

a) En premier lieu, le recueil de l'information (météorologique et métrologique). Cette étape longue et méticuleuse doit être conduite avec minutie. Cette phase est déterminante pour la qualité du travail.

b) Ensuite, une analyse critique des informations recueillies. Au cours de cette seconde phase des données inutilisables sont rejetées.

Le premier critère de choix sera celui de l'heure des observations. Si cette information est absente, la série ne peut pas à l'heure actuelle être retenue. Les observations qui ne précisent qu'une seule heure dans la journée offrent la possibilité d'une comparaison particulière pour l'heure



signalée. La recherche de la hauteur du thermomètre, de son exposition viennent ensuite. Une étude sur l'amplitude diurne par beau temps, permet en l'absence d'information de déceler des anomalies. L'étude du type de thermomètre utilisé vient ensuite. Même en l'absence d'information sur sa nature, il est possible d'utiliser des températures nocturnes au moment où le rayonnement est faible ou nul.

c) Parallèlement, une étude de comparaison thermique des différents modes d'observation, plus poussée que celle effectuée à Trappes, doit être conduite pour chaque lieu. Les résultats déterminent les ajustements à associer aux températures actuelles. Ainsi, ces données deviennent homogènes avec celles de la période étudiée.

d) Et, enfin, l'étude comparative. Pour celle-ci, le choix des températures contemporaines est fait en connaissant les heures d'observations des températures anciennes. Les données actuelles sélectionnées, ajustées d'après les résultats de l'étude thermique comparative, permettent de comparer les données actuelles aux observations anciennes.

## NOTES DE RENVOI

- (1) DESAIVE J.P., GOUBERT J.P., LEROY LADURIE E., MEYER J.,  
MULLER O., PETER J.P.  
Médecins, climat et épidémies à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle  
PARIS, MOUTON, 1972,
- MEYER Jean  
L'enquête de l'Académie de Médecine sur les épidémies 1774-1794  
Etudes rurales, avril-juin 1969, N<sup>o</sup> 34, pages : 7-69
- (2) MEYER Jean, pages : 7
- (3) ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES  
Histoire de la Société Royale de Médecine.  
PARIS, 1779, Tome I, Pages 1 et suivantes
- (4) BOYER  
Réponse au questionnaire de 1775 et rapport, LIMOGE, 1775
- (5) COTTE Louis  
Mémoires sur la météorologie pour servir de suite & de supplément au  
Traité de Météorologie publié en 1774.  
PARIS, Imprimerie Royale, 1788
- (6) LE PECQ DE LA CLOTURE  
Observations météorologiques et nosologiques. ROUEN, 1784-1787
- (7) BETOUT P.  
A propos de l'évolution de la température en France lors des 50  
dernières années.  
La Météorologie VI<sup>e</sup> série, N<sup>o</sup> 14, Septembre 1978, PARIS
- COTTE Louis  
Traité de Météorologie, PARIS, 1774
- (8) THIBAUT  
Observations météorologiques, nosologiques et agricoles,  
Correspondance, DUNKERQUE, 1783-1791,
- (9) DESAIVE Page : 173
- (10) DESAIVE Page : 48

- (11) DESAIVE Page : 16
- (12) CERON Jean Pierre, DESROZIER Maryse  
Les régions thermiques en France  
La météorologie, VII<sup>e</sup> série, N°18, juin-août, pages : 9-16  
BOULOGNE, 1987
- (13) MERLIER Christophe, SCHNEIDER Michel  
Détermination des régions climatiques et des saisons thermiques  
associées  
Stage d'approfondissement de 3<sup>e</sup> année ITM, TOULOUSE, 1986
- (14) CERON Jean Pierre, DESROZIER Maryse  
Régions climatiques en France. Températures, précipitations,  
insolation  
Monographie de la Météorologie Nationale N°4, BOULOGNE, 1991
- (15) CERON Jean Pierre, DESROZIER Maryse  
Les régions thermiques en France, page : 14
- (16) DESAIVE Page : 38
- (17) DESAIVE Page : 39
- (18) MAHON  
Observations et correspondances, CHARTRES, 1776-1790
- (19) DESAIVE page : 47
- (20) DESAIVE Page : 108
- (21) DESAIVE Pages : 40 et suivantes
- (22) MEYER Jean Pages : 46-69
- (23) ANGOT Alfred  
Etudes sur le climat de la France, Températures : 1<sup>ère</sup> partie  
Stations de comparaison  
Annales du B.C.M. 1897, pages : B93-B170  
PARIS, 1899

## CONCLUSION

Le message de cette thèse, en dehors du côté historique, est l'absolue nécessité d'une analyse métrologique sur les instruments et conditions de mesure, avant le traitement statistique des données anciennes.

L'histoire de la météorologie ne présentait que des hypothèses à propos de l'invention du thermoscope puis du thermomètre. L'étude historique chronologique, et l'association de la description du temps de l'époque, permettent d'attribuer au médecin de Padoue, SANCTORIUS, le mérite d'avoir réalisé en 1608, le premier instrument à repérer quantitativement le niveau de chaleur. Sur la "machine" antique, sensible aux variations de températures, il a associé des graduations définies d'après des termes de chaleur constants pour l'époque. Il a ainsi réalisé un instrument de mesure de la température de l'air, appelé thermoscope par BIANCANI en 1617.

L'année 1608 est l'aboutissement du développement d'une idée antique. La chaleur est pour la première fois repérée par des

degrés. Il est alors possible de préciser si un lieu est plus chaud ou plus froid qu'un autre et de combien. Cette notion de chaleur très difficile à déterminer et à quantifier, l'a été grâce aux efforts de SANCTORIUS. Dans le domaine médical, il adapta le thermoscope et en fit grand usage.

Cet instrument est en fait un thermomètre à air. Deux types furent en usage : le type italien semblable à celui de SANCTORIUS constitué d'un vase et d'une carafe renversée, et le modèle en forme de "J" dit "le Dutch" d'une seule pièce. C'est en 1612, qu'ANTONINI envoya à son maître GALILEE le dessin du thermoscope en forme de "J".

Le calcul développé à l'annexe 2, précise après quelques simplifications, que la sensibilité d'un thermoscope à la pression atmosphérique est environ quatre fois plus faible que sa sensibilité thermique. La réalisation d'un thermoscope d'après les dimensions indiquées dans la littérature a permis de vérifier ce résultat.

L'étude approfondie des recherches effectuées par les savants durant la première moitié du XVII<sup>e</sup> siècle a montré que des essais de thermomètres scellés, et de repérage de chaleur à l'aide de la dilatation de l'eau, sont restés sans intérêt avant que soit découvert le défaut majeur des thermoscopes : celui d'être sensible à la pression atmosphérique. PASCAL éclaira les savants de cette réalité en 1648. C'est alors que, vers 1649-1650 les florentins réalisèrent le thermomètre scellé d'aspect proche de nos thermomètres actuels, d'abord à eau puis

à "esprit de vin". Les variations de chaleur étaient rendues visibles par la dilatation du liquide à l'intérieur d'un tube gradué et soudé à son extrémité. Bénéficiant des acquis du thermomètre à air, ce thermomètre scellé fut en usage pendant plus d'un demi-siècle. Comme son aîné la division en degré était arbitraire. Les plus courants avaient 50 ou 100 degrés.

Quatre décennies auparavant, en 1611, Bartolomeo TELIOUX avait décrit un instrument qui pouvait fonctionner comme un thermomètre scellé. La reproduction de cet instrument à Trappes l'a prouvé. Mais TELIOUX n'avait pas maîtrisé ce qu'il écrivait.

Dès leur invention, l'exploitation des thermomètres commença. L'étude des réseaux d'observation montre l'importance donnée par les pays Européens à la mesure de la température de l'air, et le rôle des Académies et Sociétés Savantes. Le premier réseau international débuta en 1654 sous l'impulsion de FERDINAND II. Cette expérience d'avant garde s'arrêta brusquement lorsque l'organisateur, le prince LEOPOLD, fut appelé au cardinalat par l'église. C'est de cette époque que datent les plus anciennes mesures thermiques de l'air faites en Europe avec un thermomètre scellé.

L'étude des développements des thermomètres montre par celle des points fixes, toute la difficulté à réaliser un thermomètre qui puisse être comparé avec un autre. Deux siècles de recherches actives furent nécessaires pour leur mise au point. Les règles pour construire des thermomètres comparables

publiées par REAUMUR en 1730, plutôt que d'améliorer la réalisation des thermomètres, introduisent une confusion. Le vocabulaire et la méthode utilisés par REAUMUR ont induit dans l'erreur ceux qui voulurent l'imiter. Le fait que la graduation 80 corresponde à la dilatation maximale de "l'esprit de vin", que ce dernier bout à une température d'environ 80 degrés d'une échelle centigrade, et que la source de chaleur utilisée pour le terme supérieur soit celle de l'eau bouillante, ont entraîné une grande confusion pour la construction des thermomètres de REAUMUR. Une génération de thermomètres de mauvaise qualité se répandit au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle. Lorsque des thermomètres remplis avec du mercure furent construits sur les principes énoncés par REAUMUR, les ouvriers ont essayé d'accorder les deux échelles, ignorant qu'entre 80 et 100 degrés de l'échelle centigrade, le mercure poursuit sa dilatation alors que celle de l'esprit de vin a cessé.

L'apparition de l'échelle centigrade est rarement décrite correctement. CELSIUS n'en est pas l'auteur, mais c'est LINNE, qui en 1740 au plus tard, a gradué en 100 divisions l'espace séparant "le terme" de la glace de celui de l'ébullition de l'eau, inscrivant zéro au point de la glace fondante. Il n'a fait connaître cette échelle qu'après la mort de CELSIUS en 1745. Tous les deux avaient reçu en 1737 un thermomètre de DELISLE gradué en 150 divisions entre le point d'ébullition de l'eau et "le terme" de la première gelée.

Parallèlement aux activités de recherche des savants, la

qualité de reproduction des thermomètres par les "*faiseurs d'instruments*" est peu connue et très variable. A côté de "*bons instruments*", se vendent des thermomètres de qualité médiocre. Ces derniers se trouvent surtout en province.

La finalité d'une observation thermique est le degré observé sur le thermomètre qui sera inscrit sur un registre. L'homme attachant le maximum d'importance à cette valeur numérique a minimisé l'aspect technique. Il s'est appliqué à inscrire dans les registres des colonnes de chiffres sans toujours préciser de quel type d'instrument elles proviennent, ni comment le thermomètre est installé et quand il est observé.

En dehors des conditions d'observation qui ont évolué dans le temps, l'heure de l'observation thermique à toute son importance. ANGOT l'a démontré au début de notre siècle. Le facteur horaire est aussi important que la qualité de la mesure.

La mesure de la température de l'air fut effectuée depuis le milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle avec des thermomètres de différentes sortes, de qualités variables. L'installation et l'observation, malgré les directives fournies par les institutions, dépendaient de la compréhension des consignes et de l'adaptation des informations par les observateurs. Il est indispensable de connaître ces évolutions au cours du temps pour l'étude des températures anciennes.

L'étude historique de l'apparition de l'abri météorologique dénote une liaison étroite avec la découverte du rayonnement.



Elle dégage trois périodes distinctes pour l'observation de la température de l'air. Depuis l'apparition des thermomètres jusqu'aux premières années du XIX<sup>e</sup> siècle, le thermomètre était accroché à l'extérieur contre un mur orienté au nord. Durant le XIX<sup>e</sup> siècle, des abris de différentes sortes et des observations à l'air libre coexistent. L'uniformisation des observations thermiques prend place à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle, avec l'apparition de l'abri météorologique.

L'observation de la température de l'air est faite de nos jours, à partir d'un thermomètre placé sous abri. Les comparaisons entre les deux modes d'observation de la température sont rares, quasi-inexistants. Réalisée à Trappes, elle porte sur 457 observations et s'étale sur trois années.

Elle montre que la température observée au nord d'un bâtiment est en moyenne plus élevée de quelques dixièmes à un degré CELSIUS que celle observée sous abri. L'étude statistique décèle l'influence des conditions météorologiques locales et dégage une différence entre le type de thermomètre utilisé (qu'il soit à mercure, ou à alcool). Ces résultats montrent qu'une mesure thermique faite à l'air libre contre un mur au nord n'est exploitable que si on connaît l'environnement météorologique, et bien sûr l'heure à laquelle elle a été faite. Les corrections globales sont donc à exclure.

Compte tenu des possibilités actuelles des stations automatiques de la météorologie, et des résultats de cette

étude, le traitement des données anciennes peut être abordé en ajustant les données actuelles. L'ajustement des valeurs actuelles sous abri aux valeurs qui auraient été prises si elles avaient été relevées à l'extérieur, permet de s'adapter aux contraintes imposées par les données anciennes. Les valeurs obtenues peuvent être comparées avec les anciennes mesures. L'objectif de cet ajustement est l'obtention de deux séries qui soient le plus homogène possible. C'est uniquement dans ce cas que des comparaisons numériques peuvent être envisagées.

Sous l'impulsion de la Société Royale de Médecine, à partir 1776, les médecins du Royaume de France et quelques uns de l'étranger ont effectué des observations météorologiques très complètes. Cherchant à expliquer qu'au même moment une grande partie de la population présente une tendance morbide, les médecins ont cru que la cause pouvait provenir du temps. Ils ont ainsi cherché à établir des relations entre le climat et les épizoties.

L'exemple de l'observation de la température de l'air, effectuée par les médecins sous l'égide de la Société Royale de Médecine à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, est caractéristique. Même lorsque les directives étaient données, le manque d'information sur des détails précis, les libertés prises par chaque observateur, la difficulté à obtenir de bons instruments, à comprendre les directives, sont autant de divergences que d'observateurs. La consultation des manuscrits montre, que la tâche est difficile car il faut chercher l'information pertinente. Elle montre également que le volume de

renseignements météorologiques est important.

La découverte récente de ces informations météorologiques a suscité, auprès de ceux qui ont eu ces documents, le désir de présenter la climatologie de la France de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Jean MEYER, puis DESAIVE et LEROY LADURIE, le premier pour la Bretagne, les seconds pour la métropole ont tenté une esquisse climatique. Leurs résultats, bien que concordants, ne peuvent être retenus que dans leur généralité.

LEROY LADURIE présente en 1972 le climat de la France de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle : un travail gigantesque de reprise des données à la source, puis de calcul de moyennes thermiques pour 172 villes de France et d'Europe. La pauvreté des informations instrumentales l'a contraint à soustraire l'étude météorologique, afin de publier la climatologie de la France des années 1776 à 1792. C'est en connaissance de cause qu'il nous a fait part d'un état du climat de la France de cette époque et se garde à juste titre de faire des comparaisons avec une autre époque, limitant son examen à l'évolution du climat durant la période étudiée.

L'absence d'analyse météorologique, l'absence d'étude critique sur les données thermiques, l'utilisation sans distinction des températures émanant du thermomètre à alcool ou à mercure, l'utilisation du coefficient de corrélation comme seul critère de comparaison, privent les résultats publiés de la finesse attendue, et demandent qu'une approche différente de ces données soit effectuée.

Enfin le regroupement géographique des stations en neuf régions thermiques, associe dans un même groupe des stations au climat différent. L'étude de CERON et DESROZIER précise les diverses zones climatiques de la France. Celle-ci, postérieure aux deux publications citées, remet également en cause la façon dont l'étude climatologique de la France a été abordée.

A l'aide des directives de l'Organisation Météorologique Mondiale, et de la connaissance de l'histoire des thermomètres puis de l'utilisation et des développements qui suivirent, il est possible d'affiner la connaissance du champ thermique à la surface de l'Europe pour la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle.

La multitude des thermomètres utilisés, leur variabilité en qualité suivant les principes de base de construction, leur différence de fabrication, leur utilisation dont les conditions sont à étudier séparément, font qu'une étude métrologique préalable s'impose avant le traitement des données thermiques. Cette étude a pour objectif d'éviter d'associer sans correction des échantillons différents de part leur origine. Elle ouvre la voie à la reconstitution des températures anciennes.



## ANNEXE 1

## LA DECOUVERTE DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

La découverte de la pression atmosphérique, de l'existence du vide, fut une révélation dans l'histoire des sciences. C'est le point de départ des études théoriques futures sur la chaleur auxquelles feront suite l'étude des gaz puis celle de la thermodynamique. C'est en météorologie le début de la connaissance de l'atmosphère au sol et de son exploration en altitude. C'est enfin l'abandon d'un concept très ancien consistant à nier l'existence du vide qui jusqu'alors faisait autorité. Les savants disaient que "*la nature a horreur du vide*".

L'idée que l'air est un corps pesant était très répandue au XVII<sup>e</sup> siècle, mais les savants n'avaient pas d'idées précises sur cette question et ne l'exploitaient pas.

Peu d'années avant cette découverte, dont les deux dates importantes sont 1644 et 1648, quelques idées étaient répandues comme celle que l'air est pesant, mais les savants ne voyaient pas encore le rôle et les conséquences de ce poids. C'est Evangélista TORRICELLI (1608-1647), qui eut l'idée d'utiliser du mercure et précisa que cette colonne de mercure est équilibrée par le poids de l'air.

Cette découverte n'est pas sans conséquence sur les thermoscopes qui ont été construits jusqu'alors. Son importance mérite un détour auprès de ceux qui nous ont apporté leur lumière. Ils nous ont montré par l'expérience que le vide existe, que l'atmosphère a un poids, qu'il est dû à la force de pesanteur, et qu'en conséquence les limites qui ne peuvent être dépassées et prouvées par l'expérience sont comprises et expliquées.

Contrairement au thermomètre où celui-ci succédant au thermoscope, fit croire à deux découvertes distinctes, le baromètre fut dès le début l'instrument adéquat pour mesurer la pression atmosphérique. Comme pour le thermomètre, il a demandé à être perfectionné et cela mis également de nombreuses années.



# 1 LES IDEES SUR LE VIDE ET L'AIR

Lorsque les puisatiers de Florence voulaient pomper de l'eau ils avaient constaté que la hauteur de l'aspiration de l'eau par une pompe n'était pas illimitée. N'en connaissant pas la raison, ils attribuaient cette limite aux imperfections des appareils. Les savants insatisfaits de cette conclusion hâtive commencèrent à discuter les premières idées émises.

Au début du XVII<sup>e</sup> siècle l'idée que l'air ait un poids, était admise dans les corporations savantes. En 1613, après avoir constaté que l'air est une cause de la résistance au mouvement, GALILEE pensa qu'il avait une consistance mesurable. Il a essayé de comparer le poids de l'air à celui de l'eau. Pour cela il munit une large bonbonne à col étroit d'une valve, par laquelle, au moyen d'une seringue il injecta une grande quantité d'air : soit deux ou trois fois sa contenance normale. Il pesa la bonbonne avec soin, puis relâcha l'air et pesa de nouveau la bonbonne vide. Il estima d'après ses calculs, que l'air est 460 fois plus léger que l'eau. Cette expérience confirma l'idée que l'air est pesant (1). Mais a-t-il pensé que la bonbonne "vide" est encore pleine d'air... (Au niveau de la mer l'air est 816 fois plus léger que l'eau).

En 1615, Isaac BEECKMAN pour expliquer l'ascension limitée de l'eau par aspiration des pompes pense que la pression de l'air en serait la cause. Cette dernière se propageant en tous sens,

limite l'ascension de l'eau. Cette idée avait déjà été émise par Simon STEVIN (1548-1620) en 1586 (2). En 1619 Isaac BEECKMAN (1588-1637) prétend que la densité de l'air varie en un même lieu et qu'elle diminue avec l'altitude "les couches inférieures de l'air sont chargées d'un plus grand poids que les couches supérieures" (3).

Dans une lettre du 1er octobre 1629, adressée à Marin MERSENNE (1588-1648), BEECKMAN précise que le vide peut exister, que rien ne prouve le contraire (4).



Fig A1.1 GALILEE consulté par FERDINAND II. (Illustration tirée de Figuer, de Massain p40)

L'idée que l'air est pesant s'affirme puisqu'il est supposé plus lourd au sol qu'au sommet des montagnes. Mais on ne sait

pas comment ce poids agit. On commence à penser à une pression mais cette notion est vague et floue. Ces affirmations ne sont que des idées qui sont émises, mais il n'y a pas eu d'expérience pour vérifier ces hypothèses. Cette vérification qui devient de plus en plus une nécessité admise, ne vas pas échapper à cette nouvelle philosophie du XVII<sup>e</sup> siècle.

On raconte qu'en 1630 le grand Duc FERDINAND II de TOSCANE voulut amener l'eau dans son palais. Il fit appel à ses maîtres fontainiers qui installèrent des pompes aspirantes. Malgré toutes les précautions prises, ce fut un échec : l'eau refusait de monter au-dessus d'une hauteur voisine de 10 mètres (5).

"Le maître fontainier ajouta qu'il n'était pas possible ni avec les pompes, ni avec les autres machines qui font monter l'eau par attraction, de la faire monter un cheveu plus haut que 18 brasses (soit environ 10 mètres), que les pompes soient larges ou étroites, parce que c'est la mesure de la plus grande hauteur."

(Tiré de : GALILEE "Discorsi e dimostrazioni mathematiche attenenti alla Mecanica ed i Movimenti locale", LEYDE 1638 [Discours et démonstrations mathématiques concernant deux nouvelles sciences touchant la mécanique et les mouvements locaux], de MASSAIN, 1979 p39)

GALILEE informé de ces faits pensait que cette limite était due au poids de la colonne d'eau, analogue en cela, à une corde suspendue qui se rompt sous son propre poids quand sa longueur dépasse une certaine limite. Selon cette théorie, un liquide plus léger monterait plus haut (lettre du 6 août 1630), (6).

Genoese BALIANI signale que l'air exerce une pression. Il attribue l'action des pompes aspirantes à l'effet de la pression atmosphérique. Cette hypothèse, BALIANI la transmet à GALILEE dans une lettre du 24 octobre 1630 (7). BEECKMANN avait, 15 ans plus tôt indiqué que la pression de l'air était

la cause de ce phénomène, mais n'avait pas précisé que cette pression était due à son poids.

En 1631, René DESCARTES (1596-1650) remplit un petit tube de mercure, le retourne, et constate que le mercure reste collé au fond du tube. Il en conclut que le "vif-argent" ne peut être détaché du fond du tube sauf si l'air s'infiltré et occupe la place libre (8). C'est la première tentative d'expérience qui sort de celles des pompes aspirantes. Si DESCARTES avait pris un tube plus long il aurait réalisé l'expérience de TORRICELLI.

Le problème du vide, de la pression atmosphérique intéresse les savants, ceux-ci émettent quelques idées, les échangent par correspondance, mais les expériences sont rares. Il n'apparaît pas une réelle motivation pour élucider ce mystère. C'est aussi parce que la pression atmosphérique ne peut être observée directement, que les savants ne savent pas quelle expérience réaliser. L'expérience qui sera la preuve irréfutable ne peut pas encore être faite.

La publication par GALILEE des "*Discours et démonstrations mathématiques...*" en 1638 par lequel il mentionne l'expérience des fontaines de Florence généra auprès des savants Romains une forte curiosité à ce problème. Gasparo BERTI, Raffael MAGIOTTI (1597-1648), Antonio NARDI, et Evangélista TORRICELLI entreprirent une série d'expériences d'abord avec de l'eau puis avec d'autres liquides (9). Ce fut semble-t-il Raffael MAGIOTTI qui dynamisa ce cercle de savants italiens. Le mécanisme de l'expérience scientifique est enfin initié. Cette action

décidée par un cercle de savants est le réel point de départ scientifique de l'étude du vide.

## 2 L' EXPERIENCE DE ROME 1639-1641

L'expérience des fontainiers de Florence fut reprise en 1641 (10) par Gasparo BERTI qui, connu pour son habileté expérimentale fut chargé de l'exécution. Le matériel était fort encombrant et l'installation nécessitait une lourde préparation. Un tuyau de plus de 10 mètres de haut, fermé en son extrémité supérieure par un ballon en verre était fixé à un édifice de plusieurs étages. La pompe était installée au sommet. Au sol, un récipient contenait de l'eau. Il fit pomper l'eau du récipient par le tuyau de 11 mètres de hauteur et constata que l'élévation de l'eau ne dépassa pas 10 mètres (11). Plusieurs physiciens assistèrent à cette expérience : Raffael MAGIOTTI, et Gasparo BERTI bien sûr, ainsi que Michelangelo RICCI, le père Emmanuel MAIGNAN (1601-1676), les jésuites Nicolas ZUCCHI et Athanase KARCHER (12). Cette expérience est la première étude scientifique sur l'impossibilité pour des pompes d'aspirer de l'eau au-delà d'une hauteur de 10 mètres (Fig A1.2).

Il est vraisemblable que TORRICELLI n'ait pas assisté à cette expérience car il n'était pas à Rome, de juin 1640 à février 1641. Ce n'est qu'en octobre 1641 qu'il fut appelé à Florence auprès de GALILEE (13).

Le père Emmanuel MAIGNAN signala à Gasparo BERTI que la pression atmosphérique est la cause de l'élévation de l'eau

dans le tube. Il aurait fait cette affirmation avant l'expérience de BERTI (14).

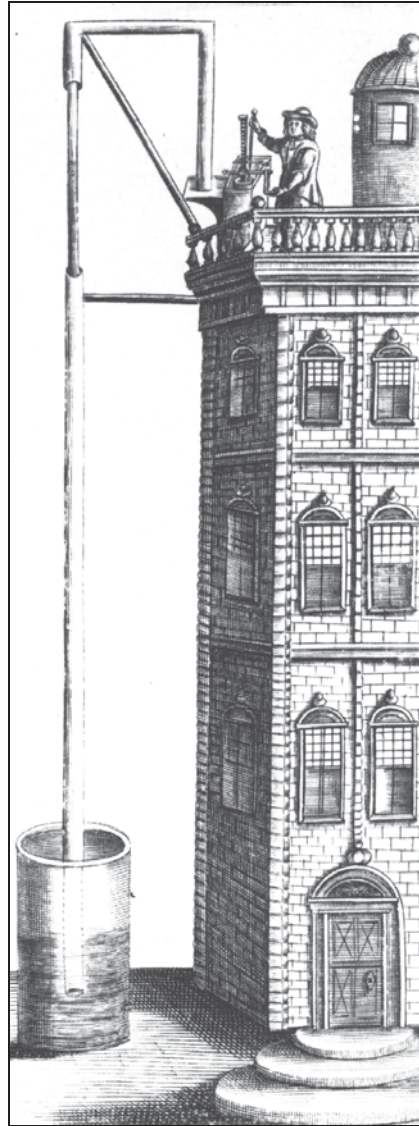


FIG. A1.2 L'expérience des fontainiers de FLORENCE reproduite à Rome par BERTI en 1641. (Illustration tirée de ALLEN p27).

Vers la fin de 1641, GALILEE aurait posé le problème des 10,33m à son nouvel assistant TORRICELLI. Ce dernier chercha à simplifier l'encombrant matériel fixé à un édifice de plusieurs étages (15).

C'est alors, que les savants, reprenant l'idée de GALILEE qui signalait que l'élévation est fonction de la densité du liquide, pensèrent à le changer et choisirent un fluide plus dense. C'est d'abord Raffaël MAGIOTTI qui signala à Evangélista TORRICELLI que l'eau de mer, plus dense que l'eau douce, lui serait préférable. Le mercure (vif-argent) fut cité ensuite probablement par Vincenzo VIVIANI. Ce métal ne manquait pas en TOSCANE et en CARNIOLE. Dans cette région productrice il était facile de s'en procurer. TORRICELLI chargea VIVIANI de se procurer le mercure nécessaire et de construire l'instrument (16).

Cette expérience fait le bilan de tout ce qui a été observé et dit jusque là. En aspirant au-dessus d'une colonne d'eau, celle-ci ne peut s'élever au-delà d'une certaine hauteur et cette limite est attribuée à la pression atmosphérique dont la hauteur est proportionnelle à la densité du liquide. Mais tant qu'on utilise une pompe, l'expérience ne prouve pas l'action de la pression atmosphérique.



### 3 L'EXPERIENCE DU VIF-ARGENT DE 1644

Vicenzio VIVIANI et Evangélista TORRICELLI firent à Florence l'expérience du "vif-argent" à la fin de 1643 ou au début de 1644. Elle est signalée pour la première fois dans une lettre du 11 juin 1644 que TORRICELLI adressa à RICCI. Il n'est pas possible de donner raison aux auteurs qui optent pour l'une ou l'autre des deux années. A mon avis, il est peu probable que TORRICELLI ait attendu plusieurs mois avant de rendre compte du succès de son expérience. Cette dernière eut, probablement par les mêmes physiciens, des essais préalables infructueux qui peut être eurent lieu en 1643.

Cette expérience qui paraît simple de nos jours, ne l'était évidemment pas au XVII<sup>e</sup> siècle. Cette manipulation n'était pas habituelle, et il est fort possible que les premiers tubes se soient cassés sous le poids de ce métal, au moment où ils étaient retournés. Les déboires à reproduire l'expérience de TORRICELLI par ceux qui voulurent l'imiter par la suite montre qu'à cette époque cette manipulation tenait de l'habileté de l'expérimentateur et plusieurs essais infructueux en 1643 et 1644 sont hautement probables. (Le mercure contenu dans un tube de 1 cm de diamètre intérieur, long de 1,18 m pèse 1, 26 Kg). Le matériel nécessaire devait être fabriqué de nouveau et l'expérience reprogrammée, ce détail pouvait occasionner plusieurs semaines de retard. Que cette expérience ait eu lieu quelques mois plutôt n'a pas grande importance car il n'y a pas

de rival connu à cette époque. Les essais du Polonais MAGNI sont connus pour avoir eu lieu après ceux de TORRICELLI en 1645 ou 1646. On admettra que la première expérience réussie du vif-argent par TORRICELLI et VIVIANI a eu lieu en 1644 (17).

La lettre de TORRICELLI à RICCI du 11 juin 1644 relate l'expérience faite à Florence. Elle explique la construction et marque le point de départ d'une mesure physique nouvelle : celle du poids de l'air. Cette missive est citée par les historiens, mais rarement publiée même sous forme d'extraits. MIDDLETON la publie in extenso (18). Son importance mérite de s'attarder sur cette longue correspondance (Fig A1.3) :

"Il y a quelques semaines je demandais au sieur Antonio NARDI pour quelques unes de mes démonstrations sur la surface des cycloïdes, lui demandant de les adresser à vous, ou plutôt au Sieur MAGIOTTI, après l'avoir vu. Je vous ai déjà laissé entendre que quelques expériences philosophiques ont été faites à propos de l'existence du vide; pas simplement pour produire le vide, mais pour faire un instrument qui montre les changements de l'air, tantôt plus lourd et grossier, tantôt plus léger et plus subtil. Beaucoup ont dit qu'il (le vide) ne pouvait exister; d'autres qu'il existe, mais avec la répugnance de la nature et avec difficulté. Je ne me souviens pas que quelqu'un ait dit qu'il pouvait se produire sans difficulté, et sans résistance de la nature. J'en déduis que : si je trouvais une cause très évidente, qui expliquerait cette résistance ressentie en essayant de produire le vide, il semblerait inutile d'essayer d'attribuer cette résistance au vide lui même, comme il provient clairement d'une autre cause. Au contraire, en faisant quelques calculs simples, je trouve que la cause que j'ai adoptée (i.e. le poids de l'air) doit par elle même produire une plus grande résistance que l'autre quand nous avons tenté de faire le vide. Je dis cela car quelques philosophes, voyant qu'il ne pouvait pas échapper à l'aveu que la gravité de l'air est la cause de la résistance qui est éprouvée en produisant du vide, ne voudrait pas dire qu'il admet l'opération du poids de l'air, mais persisterait dans son affirmation que la nature aussi aide par sa répugnance, du vide. Nous vivons au fond d'un océan d'air élémentaire qui, l'expérience le prouve incontestablement possède un poids, et un tel poids, que la partie la plus lourde à la surface de la terre, pèse environ 400 fois plus que l'eau. Puis les auteurs ont observé, regardant le crépuscule, que l'air rempli de vapeur est visible au-dessus de nous sur 50 ou 54 miles (80 ou 86 km). Mais je ne le pense pas que cela soit autan car je dois admettre ensuite que le vide doit produire une bien plus grande résistance qu'il ne le fait, même s'il y a cette fuite pour ces écrivains, qui est ce poids, donné par GALILEE, se rapportant à l'air inférieur (des basses couches de l'atmosphère) fréquenté par l'homme et les animaux, mais au-dessus du sommet des hautes montagnes l'air commence à être très pur et beaucoup moins pesant que la quatre centième partie du poids de l'eau. (La valeur de GALILEE est trop forte d'un facteur voisin de deux).

Nous avons fait de nombreux tubes en verre comme ceux montrés en A et B, larges et longs de deux aunes (1,18m), (Fig A1.3). Lorsqu'ils sont remplis de mercure, leur extrémité fermée avec un doigt et ensuite versés dans un vase C qui contient aussi du mercure, ils les ont vus se vider, et rien ne remplaça le mercure dans le vase qui était en train de se vider. Néanmoins le cou AD reste toujours rempli jusqu'à la hauteur d'une aune et un quart et un doigt de plus (proche 74 cm). Pour montrer que le vase était parfaitement vide, la cuvette était remplie jusqu'en D avec de l'eau, et en levant le tube tout doucement, on observe que la bouche du tuyau atteignant l'eau, le mercure dans le cou descend, et l'eau arrive avec une violence terrible et remplit le tuyau complètement jusqu'en E.

Pendant que le tuyau était vide, et que le mercure, bien que très lourd, était maintenu dans le cou AC, nous nous entretenions au sujet de cette force qui empêchait le mercure, contre sa tendance naturelle, de descendre.

On a cru jusqu'à maintenant que c'était quelque chose à l'intérieur du tuyau AE, soit le vide, soit une substance extrêmement raréfiée; mais j'affirme qu'il s'agit d'une cause externe, et que la force vient de l'extérieur. Sur la surface du liquide dans la cuvette une hauteur de 50 miles d'air fait pression (80 km d'atmosphère); cependant quelle merveille se serait si le mercure entraînait dans le tube CE, jusqu'à ce qu'il y ait ni inclination ni répugnance, et s'élève au point où il est en équilibre avec le poids de l'air extérieur qui le pousse! L'eau, dans un tuyau similaire mais beaucoup plus long, s'élèvera ensuite jusqu'à 18 aunes (10m, 62) c'est à dire beaucoup plus haut que le mercure comme il est plus lourd que l'eau, afin d'atteindre un équilibre par le même principe lequel pousse l'un et l'autre.

Ce raisonnement fut confirmé en faisant l'expérience au même moment avec le tuyau A et le tuyau B, dans lequel le mercure est toujours maintenu au même niveau AB; un signe presque certain que la force n'était pas à l'intérieur; car le vase AE aurait eu plus de force, cela étant plus de substance raréfiée et attirante, et ce beaucoup plus vigoureux en raison de sa grande raréfaction que celle dans l'espace B.

Avec ce principe j'ai ensuite essayé de préserver toutes les sortes de répugnances qui ont été ressenties comme étant les différents effets attribués au vide, et jusqu'à ce moment je n'ai pas rencontré un d'entre eux qui ne va pas bien avec. Je sais que vous aurez de nombreuses objections, mais j'espère aussi qu'en y pensant cela les apaisera.

Je n'ai pas été capable de réussir dans mon intention principale, découvrir avec l'instrument EC lorsque l'air est plus grossier et plus lourd et quand il est plus fin et léger; car le niveau AB vient d'une autre cause (à laquelle je n'avais jamais pensé), qui est très sensible à la chaleur et au froid comme si le vase AE était plein d'air.

Et humblement je vous adresse mes respects.

De votre dévoué et plus grand serviteur.

TORRICELLI, Florence le 11 juin 1644.

J'ai disposé de la version anglaise. Compte tenu de sa longueur, seule, la traduction en français a été reproduite.

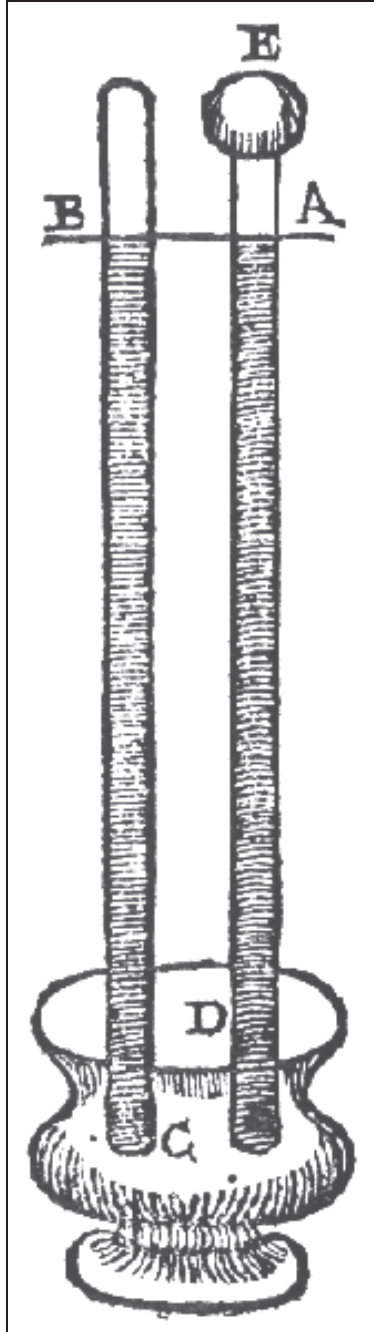


Fig. A1.3 L'expérience du vif-argent de Evangélista TORRICELLI et Vincenzo VIVIANI réussie en 1644. (Illustration tirée de MIDDLETON page 24)

Après avoir rappelé que des expériences à propos de l'existence du vide ont été faites, que le poids de l'air au sol est celui d'une colonne de 80 Km de hauteur, et avoir fait part des avis partagés sur ce sujet qui prévalaient en 1644, TORRICELLI, explique comment il a réalisé l'expérience qui montre que le vide existe et que le poids de l'atmosphère maintient la colonne de mercure en équilibre. Il montre que la force qui maintient cet équilibre est externe en modifiant la forme du tube afin d'augmenter l'espace vide. Il déduit que cet appareil est capable de mesurer les variations de la pression atmosphérique mais ne put parvenir à le montrer.

D'autre part, il a découvert la propriété de dilatation du mercure, propriété qu'il n'avait pas envisagée. Il essaie de rapprocher ce déplacement de celui observé dans le fonctionnement du thermoscope car il y a une ressemblance. Mais la lettre de TORRICELLI ne précise pas, que le sens de variation est inverse de celui des thermoscopes. La chaleur dilate le mercure et le fait monter dans le tube, alors que la chaleur dilatant l'air des thermoscopes faisait descendre l'eau dans le tube. Ces variations dues à la température, associées à d'autres imperfections privaient TORRICELLI de voir les faibles variations de la pression atmosphérique.

Bien que hors d'Italie les contraintes se relâchent un peu, dans la péninsule la seule notion de vide était blasphématoire. La pensée Aristotélicienne imprégnait fortement le dogme catholique, il était hors de question de le trahir. TORRICELLI ne clama pas son succès haut et fort. Les ennuis subis par

GALILEE pour avoir publié l'explication réelle du système du monde contre les théories anciennes les plus solides, en contradiction également avec le dogme catholique, sont trop récents, et notre Florentin ne sent pas en lui, la force qu'a eue son maître. Discrètement, il fit part de son expérience à un ami sûr : RICCI, en lui annonçant la nouvelle par courrier. Les démonstrations que fit TORRICELLI furent rares, mais tout de même suffisantes pour exporter hors d'Italie son appareil à montrer le vide, et susciter la reproduction de son expérience.

En février 1645, cette expérience fut reproduite à Rome à l'occasion de la venue du Grand Duc de TOSCANE, FERDINAND II (Fig A1.4). C'est Jean Charles de MEDICIS qui aurait fait l'expérience (19). Elle fut décrite par Emmanuel MAIGNAN dans son "Cursus philosophicus" en 1653 (20).



Fig. A1.4 Reproduction de l'expérience de TORRICELLI à ROME en 1645 (Illustration tirée de : Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze p131)

Mais même si les résultats de ses travaux ne sont pas publiés, il existe entre les savants une communication qui transporte l'information au-delà des frontières. Le Père Marin MERSENNE est parmi ces grands voyageurs Européens qui sont à l'affût de toute information nouvelle. Il va la chercher sur place et correspond avec beaucoup de savants. En 1644, il reçut une missive de RICCI comportant des extraits de la lettre de TORRICELLI sur la nouvelle expérience du vide. Sa première réaction fut de réaliser cette expérience. Face à un résultat infructueux, il entreprit fin octobre un voyage en Italie qui dura 5 mois. Au cours du mois de décembre il rencontra TORRICELLI à Florence et assista à l'expérience. A Rome, il s'entretint avec MAGIOTTI; celui-ci lui donna des détails sur l'expérience de BERTI.

Pourquoi MERSENNE a-t-il attendu fin mars 1645 pour son départ? Est-ce pour assister à l'expérience reproduite à Rome devant FERDINAND II? De retour à Paris début juillet 1645, il tenta de reproduire la même expérience avec son ami CHANUT, mais ne réussit pas. Ce ne sera pas MERSENNE qui réussira cette expérience en France, mais Pierre PETIT qui bénéficia des conseils de MERSENNE. Elle eut lieu à Rouen en octobre 1646 en présence de ETIENNE et de Blaise PASCAL (1623-1662). PASCAL prit le relais, et toujours à Rouen, il répéta cette expérience en public durant l'hiver 1646-1647 avec des baromètres à mercure, à eau, et à vin (21). Il associa DESCARTES et ROBERVAL. Son beau frère Florin PERIER (1605-1672) put y assister également.

DESCARTES fut le premier à utiliser l'instrument de TORRICELLI comme baromètre. Il en informa aussitôt MERSENNE en 1647 (22) :

"DESCARTES qui fut le premier à utiliser l'instrument de TORRICELLI comme baromètre, envoya à MERSENNE, une bande de papier graduée dont il se sert pour ses relevés afin de comparer les données."

(Tiré de Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze)

Malgré quelques erreurs, DESCARTES observa les fluctuations de la pression atmosphérique. Probablement, il ne tenait pas compte de l'influence de la température qui est de l'ordre de 1,4 mm de mercure pour une variation de température de 10 degrés CELSIUS. Par ailleurs, la présence d'eau sous forme vapeur et sous forme liquide par condensation perturbait la justesse des mesures. Quant aux autres conditions, gravité et correction instrumentale, elles étaient encore ignorées. Néanmoins, c'est la plus ancienne mesure de la pression atmosphérique connue. Pour des raisons d'ordre religieux, elle a été faite en France. A la manière des thermomètres DESCARTES a accolé au tuyau une bande de papier graduée. Elle transforme le tube de TORRICELLI en baromètre et permet ainsi de mesurer, avec quelques erreurs certes, la pression exercée par l'atmosphère.

Tout comme pour les mesures thermométriques, DESCARTES a le souci de vouloir comparer les données observées par plusieurs personnes en des lieux différents. C'est pour cela qu'il propose son échelle à MERSENNE sachant qu'il la diffusera à travers l'Europe parmi les savants avec lesquels il est en relation.



## 4 LA GRANDE EXPERIENCE

### DE L'EQUILIBRE DES "LIQUEURS" DE 1648

La question de l'existence du vide devint si préoccupante, qu'une grande expérience prouvant, que l'ascension du mercure dans le tube est occasionnée par la pression de l'air, fut projetée par PASCAL en 1647 (23) : *"la grande expérience de l'équilibre des liqueurs"* (les liquides et les gaz étaient appelés des liqueurs).

"Lorsque je mis au jour mon abrégé sous ce titre: *"expériences nouvelles touchant le vide, ect."*, où j'avais employé la maxime de l'horreur du vide, parce qu'elle était universellement reçue, et que je n'avais point encore de preuves convaincantes du contraire, il me resta quelques difficultés qui me firent grandement défier de la vérité de cette maxime, pour l'éclaircissement desquelles je méditais dès lors l'expérience dont je fais voir ici le récit, qui me pouvait donner une parfaite connaissance de ce que j'en devais croire. Je l'ai nommée la grande expérience de l'équilibre des liqueurs, parce qu'elle est la plus démonstrative de toutes celles qui peuvent être faites sur ce sujet, en ce qu'elle fait voir l'équilibre de l'air avec le vif-argent, qui sont, l'un la plus légère, et l'autre la plus pesante de toutes les liqueurs qui sont connues dans la nature. Mais parce qu'il était impossible de la faire en cette ville de Paris, qu'il n'y a que très peu de lieux en France propres pour cet effet, et que la ville de Clermont en Auvergne est un des plus commodes, je priais M. PERIER, conseiller en la cour des aides d'Auvergne, mon beau frère, de prendre la peine de l'y faire. On verra qu'elles étaient mes difficultés, et quelle est cette expérience par cette lettre que je lui en écrivis alors."

(Tiré de MASSAIN p 48)

En octobre 1647, PASCAL émit l'idée que *"si la hauteur du mercure du baromètre correspond à la pression de l'air, le mercure doit descendre si l'on monte"* (24). Habitant Rouen, PASCAL ne pouvait pas réaliser cette expérience dans cette région, celle-ci étant trop plate. Il s'adressa à son beau frère PERIER de Clermont-Ferrand. Par lettre du 15 novembre 1647, il le pria de bien vouloir réaliser cette expérience:

Monsieur,

"Je n'interromprai pas le travail continuel ou vos emplois vous engagent, pour vous entretenir de méditations physiques, si je ne savais qu'elles serviraient à vous délasser en vos heures de relâche, et qu'au lieu que d'autres en seraient embarrassés, vous en aurez du divertissement. J'en fais d'autant moins de difficulté que je sais le plaisir que vous recevez en cette sorte d'entretien. Celui-ci ne sera qu'une continuation de ceux que nous avons eus ensemble touchant le vide. Vous savez quel sentiment les philosophes ont eu sur ce sujet : tous ont tenu pour maxime que la nature abhorre le vide, et presque tous, passant plus avant, ont soutenu qu'elle ne peut l'admettre, et qu'elle se détruirait elle-même plutôt que de le souffrir. Ainsi les opinions ont été divisées; les uns se sont contentés de dire qu'elle l'abhorrait seulement, les autres ont maintenu qu'elle ne le pouvait souffrir. J'ai travaillé, dans mon abrégé du traité du vide, à détruire cette dernière opinion, et je crois que les expériences que j'y ai rapportées suffisent pour faire voir manifestement que la nature peut souffrir et souffre en effet un espace, si grand que l'on voudra, vide de toutes les matières qui sont en notre connaissance et qui tombent sous nos sens. Je travaille maintenant à examiner la vérité de la première, et à chercher des expériences qui fassent voir si les effets que l'on attribue à l'horreur du vide doivent être véritablement attribués à cette horreur du vide, ou s'ils doivent l'être à la pesanteur et pression de l'air; car pour vous ouvrir franchement ma pensée, j'ai peine à croire que la nature, qui n'est point animé, ni sensible, soit susceptible d'horreur, puisque les passions présupposent une âme capable de les ressentir; et j'incline bien plus à imputer tous ces effets à la pesanteur et pression de l'air, parce que je ne les considère que comme des cas particuliers d'une proposition universelle de l'équilibre des liqueurs, qui doit faire la plus grande partie du traité que j'ai promis. Ce n'est pas que je n'eusse ces mêmes pensées lors de la production de mon abrégé; et toutefois, faute d'expériences convaincantes, je n'osais pas alors (et je n'ose pas encore) me départir de la maxime de l'horreur du vide, et je l'ai même employée pour maxime dans mon abrégé, n'ayant alors d'autre dessein que de combattre l'opinion de ceux qui soutiennent que le vide est absolument impossible, et que la nature souffrirait plutôt sa destruction que le moindre espace vide. En effet, je n'estime pas qu'il nous soit permis de nous départir légèrement des maximes que nous tenons de l'antiquité, si nous y sommes obligés par des preuves convaincantes et invincibles. Mais, en ce cas, je tiens que ce serait une extrême faiblesse d'en faire le moindre scrupule, et qu'enfin nous devons avoir plus de vénération pour les vérités évidentes que d'obstination pour ces opinions reçues. Je ne saurais mieux vous témoigner la circonspection que j'apporte avant que de m'éloigner des anciennes maximes, que de vous remettre dans la mémoire l'expérience que je fis ces jours passés, en votre présence, avec deux tuyaux l'un dans l'autre, qui montre apparemment le vide dans le vide. Vous vîtes que le vif-argent du tuyau intérieur demeura suspendu à la hauteur où il se tient par l'expérience ordinaire, quand il était contre-balancé et pressé par la pesanteur de la masse entière de l'air; et qu'au contraire il tomba entièrement sans qu'il lui resta aucune hauteur ni suspension, lorsque, par le moyen du vide dont il fut environné, il ne fut plus du tout pressé ni contre balancé d'aucun air, en ayant été destitué de tous côtés. Vous vîtes ensuite que cette hauteur de suspension du vif-argent augmentait ou diminuait à mesure que la pression de l'air augmentait ou diminuait, et qu'enfin toutes ces diverses hauteurs de suspension du vif-argent se trouvaient toujours proportionnées à la pression de l'air.

Certainement, après cette expérience, il y avait lieu de se persuader que ce n'est pas l'horreur du vide, comme nous estimons, qui cause la suspension du vif-argent dans l'expérience ordinaire, mais bien que la pesanteur et pression de l'air qui contre-balance la pesanteur du vif-argent. Mais parce que tous les effets de cette

dernière expérience des deux tuyaux, qui s'expliquent si naturellement par la seule pression et pesanteur de l'air, peuvent encore être expliqués assez probablement par l'horreur du vide, je me tiens dans cette ancienne maxime : résolu néanmoins de chercher l'éclaircissement entier de cette difficulté par une expérience décisive. J'en ai imaginé une qui pourra seule suffire pour nous donner la lumière que nous cherchons, si elle peut être exécutée avec justesse. C'est de faire l'expérience ordinaire du vide plusieurs fois en même jour, dans un même tuyau, avec le même vif-argent, tantôt au bas et tantôt au sommet d'une montagne, élevée pour le moins de cinq ou six cents toises (environ 1000 mètres), pour éprouver si la hauteur du vif-argent suspendu dans le tuyau se trouvera pareille ou différente dans ces deux situations. Vous voyez déjà, sans doute, que cette expérience est décisive de la question et que, s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'au bas de la montagne (comme j'ai beaucoup de raisons pour le croire, quoique tous ceux qui ont médité sur cette matière soient contraire à ce sentiment), il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de cette suspension du vif-argent, et non pas l'horreur du vide, puisqu'il est bien certain qu'il y a beaucoup plus d'air qui pèse sur le pied de la montagne, que non pas sur son sommet, au lieu qu'on ne saurait dire que la nature abhorre le vide au pied de la montagne plus que sur son sommet.

Mais comme la difficulté se trouve d'ordinaire jointe aux grandes choses, j'en vois beaucoup dans l'exécution de ce dessein, puisqu'il faut pour cela choisir une montagne excessivement haute, proche d'une ville dans laquelle je trouve une personne capable d'apporter à cette épreuve toute l'exactitude nécessaire. Car si la montagne était éloignée, il serait difficile d'y porter les vaisseaux, le vif-argent, les tuyaux et beaucoup d'autres choses nécessaires, et d'entreprendre ces voyages pénibles, autant de fois qu'il le faudrait, pour rencontrer en haut de ces montagnes le temps serein et commode qui ne s'y voit que peu souvent. Et comme il est aussi rare de trouver des personnes hors de Paris, qui aient ces qualités, que des lieux qui aient ces conditions, j'ai beaucoup estimé mon bonheur d'avoir en cette occasion rencontré l'un et l'autre, puisque notre ville de Clermont est au pied de la haute montagne du Puy-de-Dôme, et que j'espère de votre bonté que vous m'accorderez la grâce d'y vouloir faire vous-même cette expérience; et sur cette assurance, je l'ai faite espérer à tous nos curieux de Paris, et entre autres au R.P. MERSENNE qui s'est déjà engagé par lettres, qu'il en a écrites en Italie, en Pologne, en Suède, en Hollande, etc., d'en faire part aux amis qu'il s'y est acquis par son mérite. Je ne touche pas aux moyens de l'exécuter, parce que je sais bien que vous n'omettez aucune des circonstances nécessaires pour la faire avec précision.

Je vous prie seulement que ce soit le plus tôt qu'il vous sera possible, et d'excuser cette liberté, ou m'oblige l'impatience que j'ai d'en apprendre le succès, sans lequel je ne puis mettre la dernière main au traité que j'ai promis au public, ni satisfaire au désir de tant de personnes qui l'attendent, et vous en seront infiniment obligés. Ce n'est pas que je veuille diminuer ma reconnaissance, par le nombre de ceux qui la partageront avec moi, puisque je veux, au contraire, prendre part à celle qu'ils vous auront et en demeurer d'autant plus."

De paris ce 15 novembre 1647

Monsieur,

Votre très humble et très obéissant serviteur."

Signé PASCAL

Cette lettre (25) montre l'aspect physicien de PASCAL, et sa vocation pour la recherche. Toute affirmation doit être prouvée par l'expérience : ainsi, il propose à son beau-frère PERIER d'effectuer l'expérience du "vif-argent" à différentes altitudes.

Après presque un an d'attente, l'expérience fut réalisée le 19 septembre 1648. Ce jour là les "nuées" n'envahissaient pas le sommet de la montagne et tôt le matin PERIER accompagné de personnes "très capables" entreprirent ces mesures (Fig A1.5).

Copie de la lettre de PERIER à PASCAL du 22 septembre 1648 (3 jours après l'expérience), (26) :

"Enfin j'ai fait l'expérience que vous avez si longtemps souhaitée. Je vous aurais plus tôt donné cette satisfaction, mais j'en ai été empêché autant par les emplois que j'ai eus en Bourbonnais, qu'à cause que, depuis mon arrivée, les neiges ou les brouillards ont tellement couvert la montagne du Puy-de-Dôme, où je la devais faire, que même en cette saison qui est ici la plus belle de l'année, j'ai eu peine à rencontrer un jour où l'on pût voir le sommet de cette montagne, qui se trouve d'ordinaire au-dedans des nuées, et quelquefois au-dessus, quoique au même temps il fasse beau dans la campagne, de sorte que je n'ai pu joindre ma commodité avec celle de la saison, avant le 19 de ce mois. Mais le bonheur avec lequel je la fis ce jour-là m'a pleinement consolé du petit déplaisir que m'avaient donné tant de retardements que je n'avais pu éviter.

Je vous en donne ici une ample et fidèle relation, où vous verrez la précision et les soins que j'y ai apportés, auxquels j'ai estimé à propos de joindre encore la présence de personnes aussi savantes qu'irréprochables, afin que la sincérité de leur témoignage ne laissât aucun doute de la certitude de l'expérience.

La journée de samedi dernier, 19 de ce mois, fut fort inconstante; néanmoins, le temps paraissait assez beau sur les cinq heures du matin, et le sommet du Puy-de-Dôme se montrant à découvert, je me résolus d'y aller pour y faire l'expérience. Pour cet effet, j'en donnais avis à plusieurs personnes de condition de cette ville de Clermont, qui m'avaient prié de les avertir du jour que j'irais, dont quelques-unes sont ecclésiastiques, et les autres séculières : entre les ecclésiastiques étaient le T.R.P. BANNIER, l'un des Pères Minimes de cette ville, qui a été plusieurs fois

correcteur (c'est à dire supérieur), et M. MOSNIER, chanoine de l'église cathédrale de cette ville; et entre les séculiers, MM. LA VILLE et BEGON, conseillers en la cour des aides, et M. LA PORTE, docteur en médecine et la professant ici, toutes personnes très capables, non seulement en leur charge, mais encore dans toutes les belles connaissances, avec lesquelles je fus ravi d'exécuter cette belle partie. Nous fûmes donc ce jour-là tous ensemble sur les huit heures du matin dans le jardin des Pères Minimes, qui est presque le plus bas lieu de la ville, où fut commencée l'expérience en cette sorte.

Premièrement je versai dans un vaisseau [vase] seize livres de vif-argent que j'avais rectifié durant les trois jours précédents; et ayant pris deux tuyaux de verre de pareille grosseur, et long de quatre pieds chacun, scellés hermétiquement par un bout et ouvert par l'autre, je fis, en chacun d'eux, l'expérience ordinaire du vide dans ce même vaisseau, et ayant approché et joint les deux tuyaux l'un contre l'autre, sans les tirer hors de leur vaisseau, il se trouva que le vif-argent qui était resté en chacun d'eux était à même niveau, et qu'il y en avait en chacun d'eux, au-dessus de la superficie de celui du vaisseau, vingt-six pouces trois lignes et demie (71,2 cm). Je refis cette expérience dans ce même lieu, dans les mêmes tuyaux, avec le même vif-argent et dans le même vaisseau deux autres fois, et il se trouva toujours que le vif-argent des deux tuyaux était à même niveau et en la même hauteur que la première fois.



Fig A1.5 L'expérience de TORRICELLI effectuée par PERIER sur le Puy-de-Dôme en 1648 (Illustration tirée de Figuiet, de Massain p 55)

Cela fait j'arrêtai à demeure l'un de ces deux tuyaux sur son vaisseau en expérience continuelle : je marquais au verre la hauteur du vif-argent, et, ayant laissé ce tuyau en sa même place, je priais le R. Père CHASTIN, l'un des religieux de la maison, homme aussi pieux que capable, et qui raisonne très bien en ces matières, de prendre la peine d'y observer, la journée, s'il y arriverait du

changement; et avec l'autre tuyau et une partie de ce même vif-argent, je fus, avec tous ces Messieurs, au haut du PUY-DE-DOME, élevé au-dessus des Minimes environ de 500 toises (975 m), où il se trouva qu'il ne resta plus dans ce tuyau que la hauteur de 23 pouces deux lignes de vif-argent (62,7 cm), au lieu qu'il s'en était trouvé aux Minimes, dans ce tuyau, la hauteur de 26 pouces 3 lignes et demie, et qu'ainsi entre les hauteurs du vif-argent de ces deux expériences il y eut 3 pouces 1 ligne et demie de différence (8,5 cm), ce qui nous ravit tous d'admiration et d'étonnement et nous surprit de telle sorte que, pour notre satisfaction propre, nous voulûmes la répéter. C'est pourquoi je la fis encore cinq autres fois très exactement en divers endroits du sommet de la montagne, tantôt à couvert dans la petite chapelle qui y est, tantôt à découvert, tantôt à l'abri, tantôt au vent, tantôt en beau temps, tantôt pendant la pluie et les brouillards qui venaient nous y voir parfois, ayant à chaque fois purgé très soigneusement d'air le tuyau; et il s'est toujours trouvé la même hauteur de vif-argent de 23 pouces 2 lignes, qui font les 3 pouces une ligne et demie de différence d'avec les vingt-six pouces trois lignes et demie qui s'étaient trouvés aux Minimes, ce qui nous satisfît pleinement.

Après en descendant la montagne, je refis en chemin la même expérience, toujours avec le même tuyau, le même vif-argent et le même vaisseau, en un lieu appelé Lafon-de-l'Arbre, beaucoup au-dessus des Minimes, mais beaucoup plus au-dessous du sommet de la montagne et là, je trouvai que la hauteur du vif-argent resté dans le tuyau était de vingt-cinq pouces (67,5 cm). Je la refis une seconde fois en ce même lieu, et M. MOSNIER, un des ci-devant nommés, eut la curiosité de la faire lui même : il la fit donc aussi en ce même lieu, et il se trouva toujours la même hauteur de vingt-cinq pouces qui est moindre que celle qui s'était trouvée aux Minimes, d'un pouce trois lignes et demie, et plus grande que celle que nous venions de trouver au haut du Puy-de-Dôme, d'un pouce dix lignes; ce qui n'augmenta pas peu notre satisfaction, voyant la hauteur du vif-argent se diminuer suivant la hauteur des lieux.

Enfin étant revenu aux Minimes, j'y trouvais le vaisseau que j'avais laissé en expérience continuelle, en la même hauteur où je l'avais laissé, de vingt-six pouces trois lignes et demie, à laquelle hauteur le R.P. CHASTIN, qui y était demeuré pour l'observation, nous rapporta n'être arrivé aucun changement pendant toute la journée, quoique le temps eût été fort inconstant, tantôt serein, tantôt pluvieux, tantôt plein de brouillard et tantôt venteux.

J'y refis l'expérience avec le tuyau que j'avais porté au Puy-de-Dôme et dans le vaisseau où était le tuyau en expérience continuelle; j'y trouvais que le vif-argent était au même niveau dans ces deux tuyaux et à la même hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie, comme il s'était trouvé le matin dans ce même tuyau en expérience continuelle.

Je la répétai encore pour la dernière fois, non seulement dans le même tuyau où je l'avais faite sur le Puy-de-Dôme, mais encore avec le même vif-argent et dans le même vaisseau que j'y avais porté, et je trouvais toujours le vif-argent à la même hauteur de vingt six-pouces trois lignes et demie, qui s'y était trouvée le matin : ce qui acheva de nous confirmer dans la certitude de l'expérience.

Le lendemain, le T.R.P. de la Mare, prêtre de l'Oratoire et théologal de l'église cathédrale, qui avait été présent à ce qui s'était passé le matin du jour précédent dans le jardin des Minimes, et à qui j'avais rapporté ce qui était arrivé au Puy-de-Dôme, me proposa de faire la même expérience au pied et sur le haut de la plus haute des tours de Notre-Dame de Clermont, pour éprouver s'il y arriverait de la différence. Pour satisfaire à la curiosité d'un homme de si grand mérite, et qui a

donné à toute la France des preuves de sa capacité, je fis le même jour l'expérience ordinaire du vide, en une maison particulière qui est au plus haut lieu de la ville, élevé par-dessus le jardin des Minimes de six ou sept toises, et à niveau du pied de la tour : nous y trouvâmes le vif-argent à la hauteur d'environ vingt-six pouces trois lignes, qui est moindre que celle qui s'était trouvée aux Minimes d'environ demie-ligne.

Ensuite je la fis sur le haut de la même tour, élevée par-dessus son pied de vingt toises, et par-dessus le jardin des Minimes d'environ 26 ou 27 toises (environ 52 m); j'y trouvai le vif-argent à la hauteur d'environ 26 pouces une ligne (70,6 cm), qui est moindre que celle qui s'était trouvée au pied de la tour d'environ deux lignes, et que celle qui s'était trouvée aux Minimes d'environ deux lignes et demie.

De sorte que pour reprendre et comparer ensemble les différentes élévations des lieux, où les expériences ont été faites avec les diverses hauteurs du vif-argent, qui est resté dans les tuyaux, il se trouve :

-Qu'en l'expérience faite au plus bas lieu, le vif-argent restait à la hauteur de 26 pouces 3 lignes et demie.

-En celle qui a été faite en un lieu plus élevé au-dessus du plus bas d'environ sept toises, le vif-argent est resté à la hauteur de 26 pouces 3 lignes.

-En celle qui a été faite en un lieu élevé au-dessus du plus bas d'environ 27 toises, le vif-argent s'est trouvé à la hauteur de 26 pouces une ligne.

-En celle qui a été faite en un lieu élevé au-dessus du plus bas d'environ 150 toises, le vif-argent s'est trouvé à la hauteur de 25 pouces.

-En celle qui a été faite en un lieu élevé au-dessus du plus bas d'environ 500 toises, le vif-argent s'est trouvé à la hauteur de 23 pouces 2 lignes.

-Et partant, il se trouve qu'environ 7 toises d'élévation, donnent de différence en la hauteur du vif-argent, demi-ligne.

-Environ 27 toises : 2 lignes et demie.

-Environ 150 toises : Quinze lignes et demie, qui font un pouce trois lignes et demie.

-Et environ 500 toises : 37 lignes et demie, qui font 3 pouces une ligne et demie.

Voilà au vrai tout ce qui s'est passé en cette expérience, dont tous ces Messieurs qui y ont assisté, vous signeront la relation quand vous le désirerez.

Au reste, j'ai à vous dire que les hauteurs du vif-argent ont été prises fort exactement, mais celles des lieux où les expériences ont été faites, l'ont été bien moins.

Si j'avais eu assez de loisir et commodité, je les aurais mesurées avec plus de précision, et j'aurais même marqué des endroits en la montagne de cent en cent toises, en chacun desquels j'aurais fait l'expérience, et marqué les différences qui se seraient trouvées à la hauteur du vif-argent en chacune de ces stations pour vous donner [ensuite] la différence qu'auraient produite les premières cent toises,

celle qu'auraient donnée les secondes cent toises, et ainsi des autres, ce qui pourrait servir pour en dresser une table, dans la continuation de laquelle ceux qui se voudraient se donner la peine de le faire, pourraient peut-être arriver à la parfaite connaissance de la juste grandeur du diamètre de toute la sphère de l'air.

Je ne désespère pas de vous envoyer quelque jour ces différences de cent en cent toises, autant pour notre satisfaction que pour l'utilité que le public en pourra recevoir.

Si vous trouvez quelques obscurités dans ce récit, je pourrai vous en éclaircir de vive voix dans peu de jours, étant sur le point de faire un petit voyage à Paris, où je vous assurerai, que je suis.

De Clermont, ce 22 septembre 1648.

Monsieur,

Votre très humble et très affectionné serviteur.

Périer.

Les hauteurs signalées par PERIER sont indiquées en pied de roi ou pied de Paris, valant 32,5 cm (27). La toise est égale à 1,949 m, le pouce à 2,707 cm, et la ligne à 2,255 mm. La dénivellation entre la ville de Clermont et le sommet du Puy-de-Dôme est de 1058 m. La différence de pression trouvée par PERIER (37 lignes et demie soit 84,6 mm) montre l'exactitude de cette expérience. La loi de LAPLACE prévoit une différence de pression de 87 mm.

Satisfait de cette expérience, PASCAL voulut vérifier la première loi qu'il a déduite de l'expérience du Puy-de-Dôme. Pour cela il a recommencé son expérience à la tour Saint Jacques de la Boucherie, haute de 50 mètres environ. La hauteur trouvée au sommet de cette tour parisienne, et celle qu'il a



trouvé en haut d'une maison particulière haute de 90 marches, sont en accord avec le contenu de la relation de PERIER (28).

"Cette relation ayant éclairci toutes mes difficultés, je ne dissimule pas que j'en reçus beaucoup de satisfaction et ayant vu que la différence de vingt toises d'élévation faisait une différence de deux lignes à la hauteur du vif-argent, et que six à sept toises en faisaient une d'environ demi-ligne, ce qu'il était facile d'éprouver en cette ville, je fis l'expérience ordinaire du vide au haut et au bas de la tour Saint-Jacques-de-la-Boucherie, haute de vingt-quatre à vingt-cinq toises (48 mètres environ); je trouvais plus de deux lignes (plus de 4,5 mm) de différence à la hauteur du vif-argent; et ensuite, je la fis dans une maison particulière, haute de quatre-vingt-dix marches, où je trouvais sensiblement demi-ligne de différence; ce qui se rapporte parfaitement au contenu en la relation de M. PERIER. Tous les curieux pourront l'éprouver eux mêmes, quand il leur plaira."

Alors, PASCAL a définitivement chassé de son esprit l'idée répandue depuis l'antiquité sur celle du vide. Très rapidement PASCAL énonce quelques conséquences importantes (29) :

"De cette expérience se tirent beaucoup de conséquences comme :

-Le moyen de connaître si deux lieux sont au même niveau, c'est à dire également distants du centre de la terre, ou lequel des deux est le plus élevé, si éloigné qu'ils soient l'un de l'autre, quand même ils seraient antipodes, ce qui serait comme impossible par tout autre moyen.

-Le peu de certitude qui se trouve au thermomètre pour marquer les degrés de chaleur (contre le sentiment commun), et que son eau hausse parfois lorsque la chaleur augmente, et que parfois elle baisse lorsque la chaleur diminue, bien que toujours le thermomètre soit demeuré au même lieu.

-L'inégalité de la pression de l'air, qui en même degré de chaleur [à la même température], se trouve toujours beaucoup plus pressé dans les lieux les plus bas.

-Toutes ces conséquences seront déduites au long dans le Traité du vide, et beaucoup d'autres, aussi vraies que curieuses."

PASCAL a bien ressenti l'action des variations de la pression atmosphérique sur les thermoscopes en usage. Par cette expérience il a mis un coup d'arrêt aux thermoscopes car il a divulgué l'information démontrant que leurs mesures étaient inutilisables.

Tout comme pour les thermomètres un important travail instrumental attendait les savants, et il fallut près de deux siècles pour que l'instrument devienne fiable, fidèle et qu'il ait la précision requise pour son utilisation. Les baromètres à échelle compensée furent construits au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle : modèle de l'Observatoire de Kew en 1854, modèle TONNELOT utilisé en France en 1864 (30).

Le baromètre eut plusieurs applications. Les plus importantes seront l'exploitation de l'atmosphère et l'étude de la thermodynamique.

Les premières cartes barométriques auraient été dressées par BRANDES en 1816. Elles représentaient les isoplèthes (écarts de pression égaux à la normale) sur une partie de l'Europe pour 1783 (31). Depuis, KINGTON a fait de nombreuses recherches sur le climat de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle et il a tracé les cartes de pression atmosphérique de plusieurs années (32).

## LA DECOUVERTE DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

- 1586 Simon STEVIN pense que la pression de l'air limite l'action des pompes.
- 1613 GALILEE démontre que l'air a un poids.
- 1615 Isaac BEECKMAN pense que la pression atmosphérique qui se propage en tous sens est la cause de la limite des pompes aspirantes.
- 1619 Isaac BEECKMAN prétend que la densité de l'air varie en un même lieu.
- Il prétend que les couches d'air inférieures de l'air sont chargées d'un plus grand poids que les couches supérieures.
- Rien ne prouve que le vide n'existe pas. BEECKMAN se sert de cette affirmation pour admettre cette possibilité.
- 1630 GALILEE est informé des possibilités limitées des pompes aspirantes.
- 1630 BALIANI signale que la pression est due au poids de l'air.
- 1631 René DESCARTES tente une expérience qui lui montre qu'il ne peut y avoir d'espace libre sans que celui soit occupé par de l'air.
- 1641 Le cas des pompes est étudié scientifiquement lors d'une expérience à Rome organisée par BERTI.
- 1644 Première expérience réussie de la pression atmosphérique par TORRICELLI assisté de VIVIANI.
- Pierre PETIT sur les conseils de MERSENNE réussit à Rouen l'expérience de TORRICELLI.
- 1646-1647 PASCAL répète l'expérience de TORRICELLI durant l'hiver.
- 1647 DESCARTES fut le premier à utiliser l'instrument de TORRICELLI comme baromètre.
- 1647 PASCAL propose de faire l'expérience de TORRICELLI à différentes hauteurs pour prouver que l'ascension du mercure dans le tube est bien occasionnée par le poids de l'air.
- 1648 L'expérience du Puy-de-Dôme conduite par PERIER montre que la pression atmosphérique diminue lorsqu'on s'élève.

RBA1

## NOTES DE RENVOI

- (1) ALLEN Olivier E. (Cote : 346)  
L'atmosphère.  
La planète terre, 3è édition, version française, page : 22  
AMSTERDAM, Time Life, 1987
- (2) STEVIN Simon "Hydrodynamique", d'après AUBERGER
- (3) AUBERGER Jean Louis (Cote : 342)  
Sur l'origine du baromètre.  
La Météorologie, 3è série, N° 46-48, Juillet-décembre, page : 182  
PARIS, 1943
- (4) MIDDLETON William Edgar Knowles (Cote : 345)  
The history of the barometer.  
BALTIMORE, The John Hopkins Press, 1964, Page : 7
- (5) AUBERGER Jean Louis (Cote : 79)  
Histoire de la météorologie.  
Manuscrit non publié  
PARIS, 1988
- (6) MIDDLETON William Edgar Knowles, Page : 9
- (7) SCHNEIDER-CARIUS Karl (Cote : 78)  
Weather science weather research. History of their problems and  
findings from documents during three thousand years  
Traduit de l'Allemand, page : 71  
NEW DELHI (USA), INSDC, 1955
- AUBERGER Jean Louis, Sur l'origine du baromètre, page : 182
- (8) MIDDLETON William Edgar Knowles, Pages : 7-8
- (9) AUBERGER Jean Louis, Sur l'origine du baromètre, pages : 182-183
- (10) AUBERGER Jean Louis, Histoire de la météorologie.
- (11) DETTWILLER Jacques (Cote : 05)  
Chronologie de quelques évènements météorologiques en France et  
ailleurs.  
Monographie de la Météorologie Nationale N°1, page : 8  
BOULOGNE, Météorologie Nationale, 1982

- (12) AUBERGER Jean Louis, Sur l'origine du baromètre, page : 183
- (13) AUBERGER Jean Louis, Sur l'origine du baromètre, page : 183
- (14) MIDDLETON William Edgar Knowles, Page : 15
- (15) ALLEN Olivier E., page : 23
- (16) AUBERGER Jean Louis, Histoire de la météorologie
- (17) AUBERGER Jean Louis, Sur l'origine du baromètre, page : 183
- (18) MIDDLETON William Edgar Knowles, Pages : 23-24
- (19) AUBERGER Jean Louis, Sur l'origine du baromètre, page : 182
- (20) MINIATI Mara, CASATI Stefano, PRINCIPE Franca (Cote : 116)  
L'età di GALILEO, Il secolo d'oro della scienza in Toscana.  
Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze, page : 131  
FLORENCE (Italie), Istituto e Museo di Storia della Scienza, 1987
- (21) DETTWILLER Jacques, page : 9
- (22) MINIATI Mara, page : 128
- (23) MASSAIN Robert (Cote : 30)  
Physique et physiciens.  
PARIS, Magnard, 1979, 5è édition page 48
- (24) DETTWILLER Jacques, page : 9
- (25) MASSAIN Robert, Pages : 48-52
- (26) MASSAIN Robert, Pages : 52-54
- (27) HUMBERT P. (Cote : 343)  
Les deux récits de l'expérience du Puy de Dôme.  
La Météorologie, 3è série, N° 46-48, Juillet-décembre, page : 223  
PARIS, 1943
- (28) MASSAIN Robert, Page : 57

- (29) MASSAIN Robert, Pages : 57-58
- (30) AUBERGER Jean Louis, Sur l'origine du baromètre, page : 193
- (31) AUBERGER Jean Louis, Sur l'origine du baromètre, page : 193
- (32) KINGTON J., ALEXANDRE P., VRIES J. DE, MARTIN P. (Cote : 556)  
Fluctuations climatiques : une étude synoptique, fin du XVIIIè -  
début du XIXè siècle.  
Annales Economies Sociétés Civilisations, 1977, 32è année, N°2,  
mars-avril, page : 230

## ANNEXE 2

# 1 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

## SUR LES THERMOSCOPIES

Dans un premier lieu nous nous intéressons à la variation de la hauteur du liquide du thermoscope occasionnée par les variations de température. On suppose qu'il n'y a pas d'autre influence extérieure. La température à l'intérieur du thermoscope est supposée uniforme et en équilibre avec le milieu ambiant.

L'air emprisonné à l'intérieur du thermoscope est compressible. Son volume est sujet aux variations de la pression atmosphérique car le thermoscope est ouvert à l'air extérieur. On admettra pour ce premier cas que la pression atmosphérique ( $P_a$ ) ne varie pas. Le développement qui va suivre a pour objet de préciser quelle sera la variation de la température en fonction de la variation de la hauteur du liquide dans le tuyau.

Pour cela, utilisons le modèle de thermoscope le plus simple. De type italien, il est appelé *ThI*, (Fig A2.1). le tube, de section intérieure ( $S$ ), surmonté d'un bulbe, est retourné au-dessus d'un vase plein d'eau. Il n'y a pas de défaut de calibration. Après les opérations de mise en route de l'instrument, le niveau du liquide dans le tube s'arrête en ( $A$ ). Ce point est à une hauteur ( $h$ ) au-dessus du niveau de l'eau contenue dans le vase. Ce niveau, où la pression est la



pression atmosphérique ( $P_a$ ), est repéré par le point ( $B$ ) sur le tube ( $h=BA$ ).

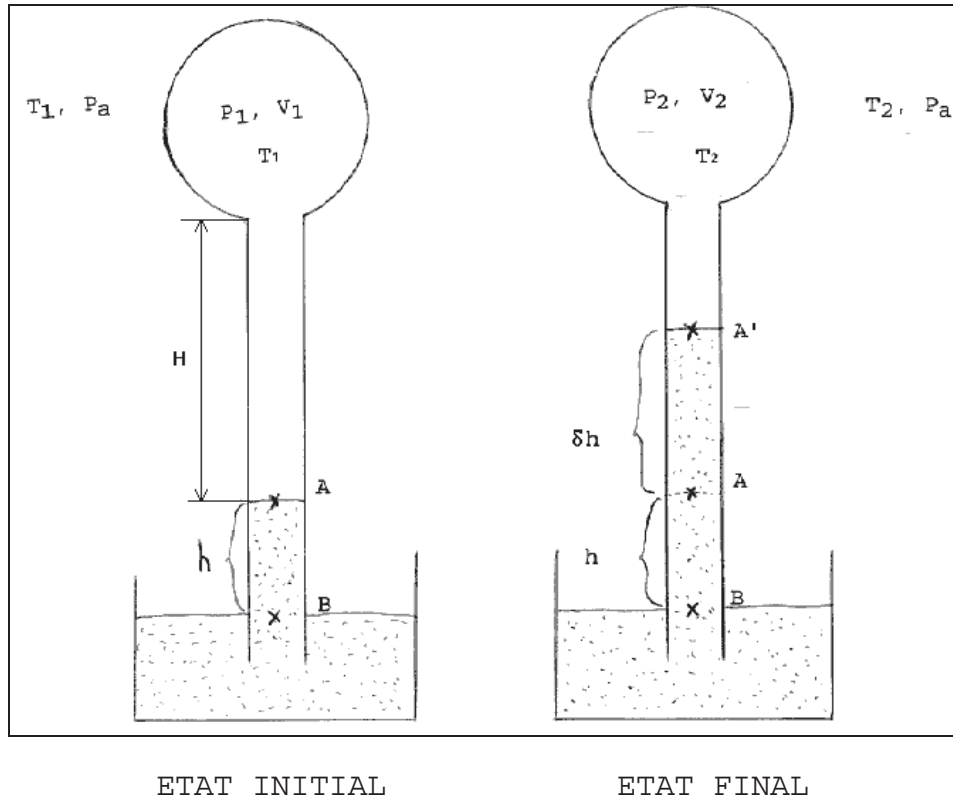


Fig A2.1 Thermoscope subissant une diminution de température

Le volume interne de la partie émergée du thermoscope ( $V_0$ ) est égal au volume interne du tube ( $V_t$ ) augmenté du volume de la sphère ( $V_s$ ).

La température ( $T$ ) est la température absolue. Elle sera exprimée en degrés KELVIN ( $^{\circ}K$ ). La température absolue  $T$  est égale à la température ( $t$ ) exprimée en degrés CELSIUS ( $^{\circ}C$ ) augmentée de 273,15 degrés. Par exemple à  $20^{\circ}C$ , la température absolue est de  $293,15^{\circ}K$ .

Ce thermoscope a les dimensions définies ci-dessous. Elles correspondent aux dimensions classiques des thermoscopes utilisés. La longueur du tube émergé est de 100 cm, son diamètre intérieur est de 5 mm. Il est terminé par un bulbe de 3 cm de rayon interne. A la température initiale  $T_1$  (293,15°C), l'eau est élevée dans le tuyau d'une hauteur  $h$  égale à 30 cm.

Les hauteurs d'eau dans le tube sont mesurées et comptées positivement depuis le niveau de l'eau dans le vase (**B**).

On considère que le vase est suffisamment large pour qu'une variation de hauteur d'eau dans ce dernier, due à une variation du niveau de l'eau dans le tuyau puisse être négligée. Si le diamètre du vase est 10 fois plus grand que le diamètre intérieur du tuyau, l'erreur commise sur la hauteur sera de 1/100<sup>e</sup> de sa variation soit 0,1 mm dans le vase pour une variation de 1 cm dans le tube. Il n'est pas difficile de choisir un vase dont le diamètre intérieur est supérieur à 5 cm.

### *ETAT INITIAL*

A l'état initial, le point (**A**) (surface de la limite eau-air du tuyau) est à une hauteur ( $h$ ) au-dessus du niveau de l'eau contenue dans le vase.

Le volume d'air à la température ( $T_1$ ) contenu dans le tuyau et le bulbe, est ( $V_1$ ).

Il est égal au volume de la partie émergente  $V_0$  diminué du volume occupé par l'eau dans le tuyau au-dessus du niveau **B** :

$$V_1 = V_0 - (h.S)$$

La pression ( $P_1$ ) est inférieure à la pression atmosphérique telle que :

$$P_1 = P_a - (r.g.h) \quad \text{où :}$$

$r$  : est la masse volumique de l'eau,  $r = 1000 \text{ Kg/m}^3$

$g$  : est l'accélération de la pesanteur,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

### *ETAT FINAL*

Après une variation de la température de l'air autour de l'instrument, l'eau s'est déplacée dans le tuyau et se trouve en **A'** à une hauteur égale à :  $(h + \delta h)$ .

On suppose que la température a diminué de  $\delta T$ . La température  $T_2$  est inférieure à la température  $T_1$  :

$$T_2 = T_1 - \delta T$$

On admet un équilibre thermique permanent entre l'air à l'intérieur du thermoscope et l'air avoisinant.

### *Volume occupé par l'air*

Du fait que la température a diminué, le volume initial occupé par l'air ( $V_1$ ) occupe un espace plus étroit. L'eau s'est élevée d'une hauteur  $\delta h$  dans le tuyau.

Le volume d'air à la température  $T_2$  est :

$$V_2 = V_1 - \delta V$$

$\delta V$  est égal au volume d'eau à l'intérieur du tuyau dont la hauteur est  $\delta h$  :  $\delta V = (S \cdot \delta h)$

Ainsi le volume  $V_2$  peut s'exprimer en fonction du volume initial  $V_1$  :

$$V_2 = V_1 - S \cdot \delta h$$

Soit en fonction du volume initial :

$$V_2 = V_0 - S \cdot (h + \delta h)$$

### ***Pression de l'air à l'intérieur du thermoscope***

Du fait qu'il y a équilibre avec la pression atmosphérique, la pression à l'intérieur du bulbe  $P_2$  est égale à la pression atmosphérique diminuée de la pression correspondant à la colonne d'eau de hauteur  $(h + \delta h)$ , soit :

$$P_2 = P_1 - r \cdot g \cdot \delta h$$

Ainsi en fonction de la pression initiale :

$$P_2 = P_a - r \cdot g \cdot (h + \delta h)$$

Pour une certaine masse, invariable, de gaz parfait, la température, la pression et le volume sont liés par la relation suivante :

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \text{soit : } T_2 = T_1 \cdot \frac{P_2 \cdot V_2}{P_1 \cdot V_1}$$

En substituant  $P_2$  et  $V_2$  en fonction de leur évolution par rapport à l'état initial  $P_1$  et  $V_1$  :

$$T_2 = T_1 \cdot \frac{(P_1 - r.g.\delta h) \cdot (V_1 - S.\delta h)}{P_1.V_1}$$

La variation de la température observée ( $T_2 - T_1$ ) s'exprime en fonction de la variation de la hauteur de l'eau ( $\delta h$ ) dans le tube du thermoscope. :

$$T_2 - T_1 = \frac{T_1}{P_1.V_1} \cdot \delta h \cdot (r.g.S.\delta h - P_1.S - V_1.r.g)$$

Equation du thermoscope dans le cas où la pression atmosphérique est constante.

Cette expression est du second degré en  $\delta h$ . La variation de la température n'est pas une fonction linéaire de la variation de la hauteur de l'eau dans le tuyau. Les calculs montrent que cette non-linéarité est très faible. Elle est à peine perceptible pour les thermoscopes classiques (tableau 1) lorsque la variation de température n'est pas trop importante.

Pour de faibles variations de la température le terme  $(r.g.S.\delta h)$  est très inférieur à  $(P_1.S + V_1.r.g)$  car  $\delta h$  est petit.

Une simplification de l'équation du thermoscope est alors envisageable à condition de bien en préciser les limites.

$(r.g.S.\delta h - P_1.S - V_1.r.g)$  peut s'exprimer :

$$r.g.(S.\delta h - V_1) - P_1.S$$

Du fait que  $V_1$  est égal au volume de la sphère  $V_s$  du thermoscope augmenté du volume de la partie du tuyau occupé par l'air à l'état initial, dont la longueur est  $H$  :  $V_1 = V_s + S.H$

$$r.g.(S.\delta h - V_1) - P_1.S = - r.g.(V_s + S.(H-\delta h)) - P_1.S$$

On peut admettre, que tant que la variation  $\delta h$  est inférieure d'une puissance de dix à la longueur  $H$ , le terme  $\delta h$  peut être négligé devant  $H$ . Dans ce cas on remplacera  $V_s + S.(H-\delta h)$  par  $V_s + S.H$ .

Cette approximation est d'autant plus valable que le volume de la boule est très supérieur à celui du tube. Plus la boule du thermoscope est grosse et plus le diamètre de son tube est faible, alors plus l'erreur commise par la suppression de  $\delta h$  est faible.

Cette relation a l'avantage de permettre le calcul de la hauteur  $\delta h$  prévisible pour une variation de température connue. Ce calcul s'avère intéressant pour la détermination des dimensions du thermoscope.

Alors, la variation de la température et le déplacement du niveau de l'eau dans le tuyau du thermoscope sont liés par la relation suivante :

$$T_2 - T_1 = - \frac{T_1}{P_1.V_1} . (P_1.S + V_1.r.g) . \delta h$$

Equation simplifiée du thermoscope lorsque la pression atmosphérique est constante.

Afin de préciser l'ordre de grandeur de la différence introduite en supprimant le terme  $\delta h$  du second degré, le calcul de la variation de la température en fonction de la variation de la hauteur d'eau a été effectué en utilisant les deux équations. Le tableau 1 ci-dessous, indique pour différentes variations de hauteurs d'eau dans le tuyau le rapport qui existe entre  $(r.g.S.\delta h)$  et  $(P_1.S + V_1.r.g)$ , puis par rapport à la température initiale pour un  $\delta h$  donné, l'écart réel de température et l'écart de température approché si on néglige le terme  $r.g.S.\delta h$ , et enfin la différence entre ces deux écarts de température. Les degrés de température sont exprimés en unité Celsius.

Les valeurs du tableau 1 correspondent au thermoscope défini ( $ThI$ ), son tuyau a un diamètre intérieur de 5 mm.

La température  $T_1 = 293,15$  °K, la pression  $P_1 = 984$  hPa.

Le volume d'air initial  $V_1$  est de  $127$  cm<sup>3</sup>

$\delta h$ en cm	$\frac{r.g.S.\delta h}{P_1.S + V_1.r.g}$	$\delta T$ réel en °C	$\delta T$ approché en °C	Différence en °C
10	0,006	7,41	7,46	0,05
16,5	0,010	12,2	12,3	0,1
20	0,012	14,7	14,9	0,2
50	0,030	36,2	37,3	1,1

Tableau 1 : variation de la température en fonction de la variation de la hauteur du liquide dans le tuyau du thermoscope.

Ce tableau confirme la très faible non-linéarité de la variation de température avec la variation de hauteur d'eau

dans le tube du thermoscope. Le calcul approché de la variation de température en fonction du déplacement de l'eau dans le thermoscope surestime la valeur réelle d'environ 3%. Elle devient sensible pour des variations importantes de la température.

Pour le thermoscope *ThI*, la hauteur d'air dans le tuyau est de 70 cm. D'après l'hypothèse énoncée,  $\delta h$  peut être négligé tant qu'il est inférieur à 7cm. Comme le diamètre de la boule est assez gros,  $\delta h$  ne devient sensible (écart égal ou supérieur à 0,1°C sur la différence des deux températures) que pour des valeurs supérieures au double du dixième de la longueur du tube  $H$  (14 cm).

L'écart entre les deux températures, calculé selon les deux méthodes dépasse 1°C pour une variation de hauteur d'eau de 50 cm et plus. Elle correspond à une différence de température de 36°C. Si le thermoscope est réalisé à une température proche de 20°C, comme en météorologie la quasi-totalité des observations effectuées sont comprises dans l'intervalle  $20^\circ \pm 36^\circ\text{C}$  (les problèmes liés au gel ne sont pas pris en compte), l'équation simplifiée convient pour déterminer les caractéristiques du thermoscope.

Pour le repérage de la température de l'air, la variation de la hauteur du liquide dans le thermoscope peut être considérée comme proportionnelle à la variation de la température. Son expression est donnée par l'équation simplifiée du thermoscope.



L'erreur commise approche le degré CELSIUS pour des chaleurs ou des froids extrêmes.

Pour le thermoscope *ThI*, le calcul précise qu'une variation de température de un degré Celsius déplace l'eau dans le tube de 1,4 cm. Sur le thermoscope construit d'après ce modèle, mais dont les dimensions sont légèrement différentes, l'espace d'un degré Celsius est représenté par une distance de 1,8 cm.

***Fiche technique du thermoscope ThI***

Thermoscope <i>ThI</i>		
Longueur du tube émergé	L	1 M
Diamètre intérieur du tube	d	5 mm
Diamètre intérieur de la sphère	D	6 cm
Température initiale	T <sub>1</sub>	293 °K
Élévation de l'eau à l'état initial	h	30 cm
Volume de la partie émergente	V <sub>0</sub>	133 cm <sup>3</sup>
Volume d'air à l'état initial	V <sub>1</sub>	127 cm <sup>3</sup>
Surface interne du tube	S	19,6 cm <sup>2</sup>
Volume du tube	V <sub>t</sub>	19,6 cm <sup>3</sup>
Volume de la sphère	V <sub>s</sub>	113 cm <sup>3</sup>
Volume d'eau à l'état initial		5,9 cm <sup>3</sup>
Pression atmosphérique	Pa	1013 hPa
Pression interne à l'état initial	P <sub>1</sub>	984 hPa
Masse volumique de l'eau	r	1000 Kg/M <sup>3</sup>
Constante de gravité	g	9,81 M/S <sup>2</sup>

Pour le thermoscope *ThI* (hauteur 100 cm, diamètre intérieur du tuyau 5 mm, diamètre intérieur du bulbe 6 cm) réalisé à une température de 20°C, le graphique indiquant la température en fonction de l'écart entre le niveau de l'eau dans le tuyau et le niveau qu'elle occupait lors de la réalisation du thermoscope est le suivant : (La pression atmosphérique est supposée stable).

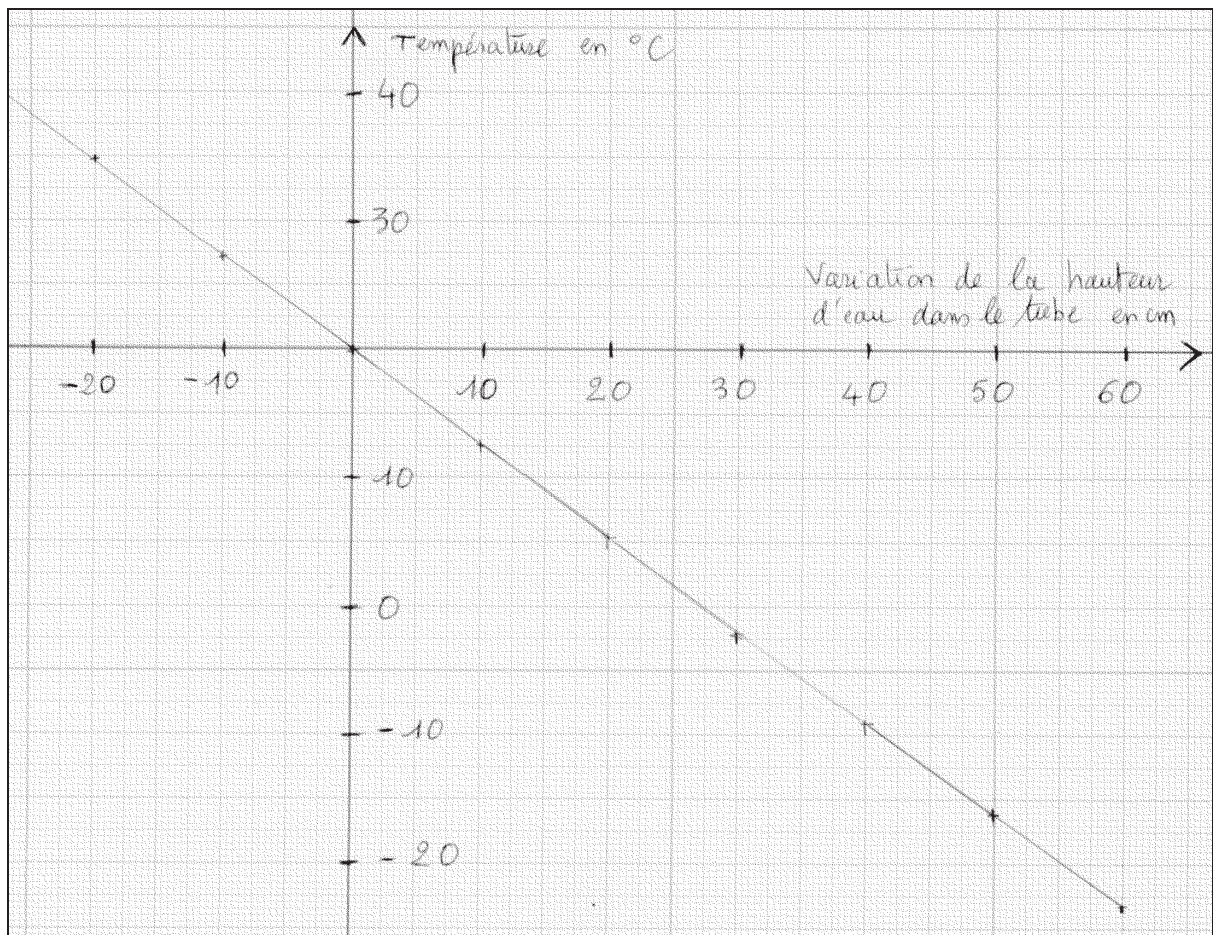


Fig A2.2 Indication du thermoscope *ThI* suivant le déplacement du liquide à l'intérieur.

Echelle : 2mm sur le graphique représentent 1°C, et 1cm du tube.

L' écart de non-linéarité de 1,5°C pour un déplacement d'eau de 60 cm est représenté sur le graphique par 3 mm.

***Sensibilité thermique du thermoscope***

La sensibilité ou variation de la hauteur du liquide pour une variation de température unitaire (1°C) est la suivante :

A partir de l'équation simplifiée.

$$\frac{\delta h}{\delta T} = - \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot C_1} \quad \text{où } C_1 = P_1 \cdot S + V_1 \cdot r \cdot g$$

A température constante,  $P_1 \cdot V_1 / T_1$  est constant, la variation de la sensibilité est donc inversement proportionnelle à :

$$(P_1 \cdot S + V_1 \cdot r \cdot g)$$

Soit, lorsque  $\delta T$  est égal à 1°C :

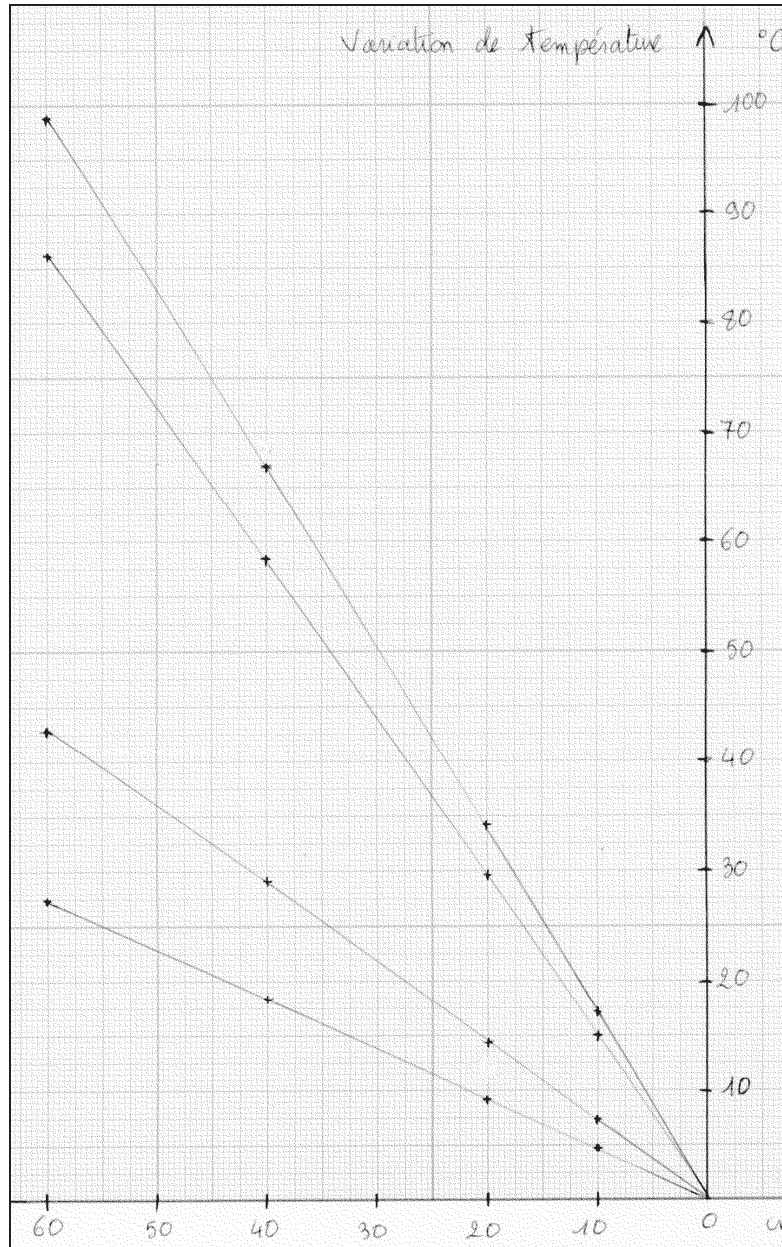
$\delta h = - \frac{K}{P_1 \cdot S + V_1 \cdot r \cdot g}$
--

Sensibilité du thermoscope à la température

Où K est une constante.

La sensibilité du thermoscope est d'autant plus grande que la section S du tube est petite. Pour un volume initial  $V_1$  identique, la sensibilité du thermoscope est quatre fois plus grande si le diamètre intérieur du tube est de moitié. Le signe moins précise qu'un échauffement provoque une baisse du liquide dans le tube.

VARIATION DE LA TEMPÉRATURE POUR DES THERMOSCOPIES DE DIFFÉRENTE TAILLE.



Déplacement de l'eau dans le tube du thermoscope en cm

Fig A2.3 Variations de la température en fonction du déplacement du liquide dans le tube, pour divers thermoscopes.

La température  $T_1$  est égale à  $293^\circ\text{K}$ . La non-linéarité n'est perçue qu'aux valeurs extrêmes; elle est voisine du degré.

*Caractéristiques techniques des quatre thermoscopes*

Paramètre	Th1	Th2	Th3	Th4
Longueur du tube émergé en cm	100	100	100	100
Diamètre intérieur du tube en mm	2	5	3	5
Diamètre intérieur de la sphère en cm	2	4	6	6
Température initiale en °K	293	293	293	293
Élévation de l'eau à l'état initial en cm	30	30	30	30
Pression atmosphérique en hPa	1013	1013	1013	1013
Pression interne à l'état initial ( $P_1 = P_a - \rho gh$ )	984	984	984	984
Masse volumique de l'eau	1000	1000	1000	1000
Constante de gravité	9.81	9.81	9.81	9.81
Ecart de température pour une hauteur de 10 cm	17.2	15	4.7	7.4
Ecart de température pour une hauteur de 20 cm	34.1	29.7	9.3	14.7
Ecart de température pour une hauteur de 40 cm	67	58.5	18.4	29.1
Ecart de température pour une hauteur de 50 cm	83	72.4	22.9	36.1
Ecart de température pour une hauteur de 60 cm	98.8	86.1	27.4	43
Sensibilité du thermoscope à 20°C en cm/deg	0.58	0.66	2.13	1.34

## 2 INFLUENCE DE LA PRESSION

### ATMOSPHERIQUE SUR LES THERMOSCOPIES.

Dans un premier temps nous avons précisé l'influence de la variation de la température sur les thermoscopes lorsque la pression atmosphérique est constante. Dans la réalité, celle-ci ne l'est pas, et ses variations perturbent le fonctionnement de cet appareil. Le développement suivant montre quelle est l'importance de la variation de la pression atmosphérique sur l'indication du thermoscope.

Pour cette étude, les thermoscopes ont les mêmes caractéristiques. Les réserves concernant l'homogénéité thermique, et la constance du niveau de l'eau dans le vase, sont identiques. Cette fois seule la pression atmosphérique varie. La température ( $T_1$ ) reste constante et égale à 293°K.

#### *ETAT INITIAL*

A l'état initial, le point (**A**) (surface limite eau-air du tuyau) est à une hauteur (**h**) au dessus du niveau de l'eau contenue dans le vase (Fig A2.4).

Le volume d'air à la température ( $T_1$ ) contenu dans le tuyau et le bulbe, est ( $V_1$ ). Il est égal au volume de la partie émergente ( $V_0$ ) diminué du volume occupé par l'eau dans le tuyau au dessus du niveau **B** :

$$V_1 = V_0 - (h.S)$$

La pression ( $P_1$ ) est inférieure à la pression atmosphérique telle que :

$$P_1 = P_a - (r.g.h) \quad \text{où :}$$

$r$  est la masse volumique de l'eau,  $r = 1000 \text{ Kg/m}^3$

$g$  est la constante de gravité,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

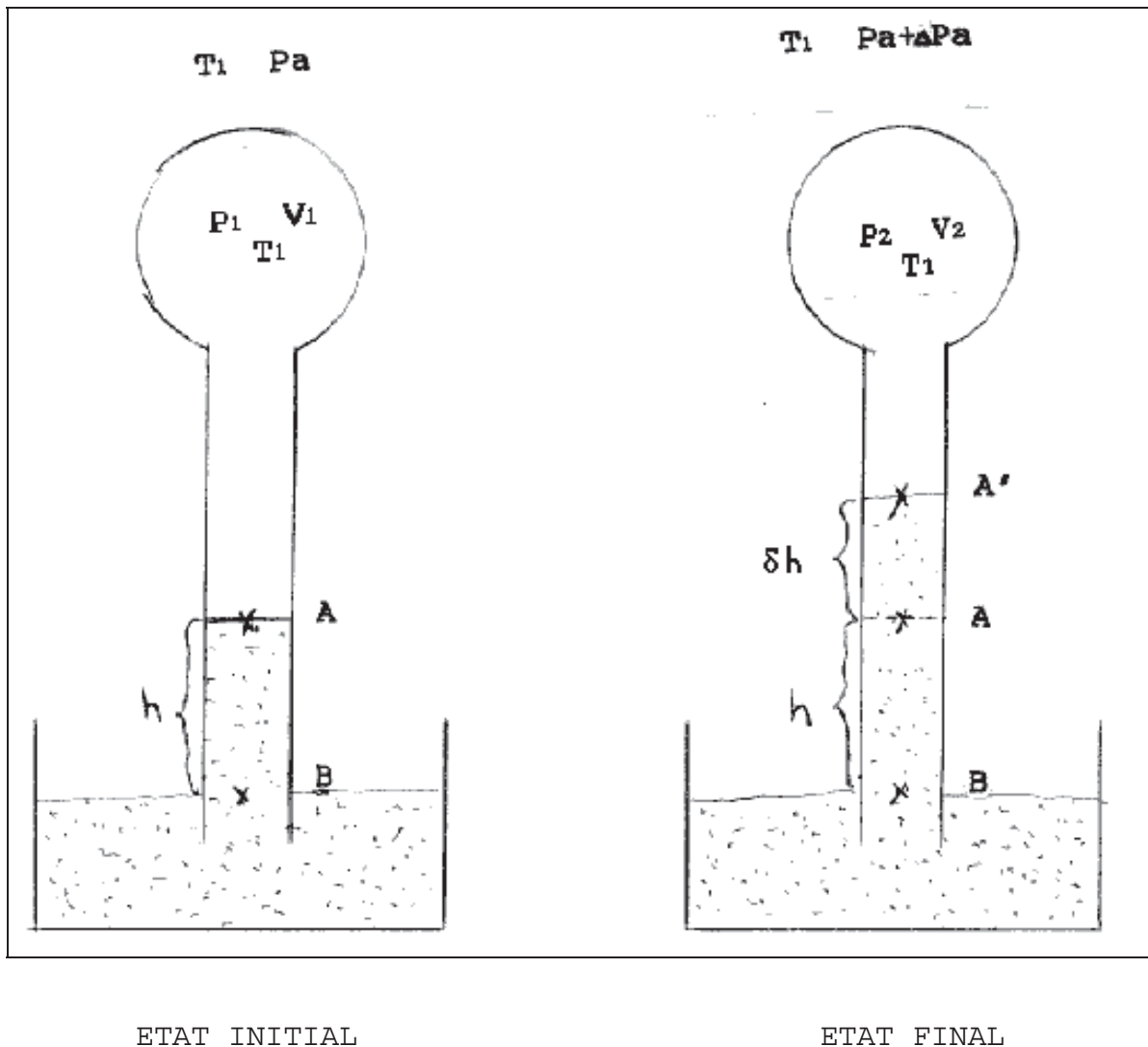


Fig A2.4 Thermoscope subissant une augmentation de pression atmosphérique.

*ETAT FINAL*

Après une variation de la pression atmosphérique de  $\delta Pa$ , l'eau s'est déplacée dans le tuyau et se trouve en **A'** à une hauteur égale à :  $(h + \delta h)$ . La température n'a pas changé. La pression atmosphérique est égale à :  $P_a + \delta Pa$ .

*Volume occupé par l'air*

Du fait que la pression atmosphérique a augmenté, l'eau s'est élevé d'une hauteur  $\delta h$  dans le tube du thermoscope, et le volume initial ( $V_1$ ) occupé par l'air a diminué de  $\delta V$ . Ce volume d'air  $V_2$  à la pression  $P_2$  est égal à :

$$V_2 = V_1 - \delta V$$

$\delta V$  est égal au volume d'eau à l'intérieur du tuyau dont la hauteur est  $\delta h$  soit :  $\delta V = S \cdot \delta h$

Ainsi le volume  $V_2$  peut s'exprimer en fonction du volume initial  $V_1$  :  $V_2 = V_1 - S \cdot \delta h$

Soit en fonction du volume initial :

$$V_2 = V_0 - S \cdot (h + \delta h)$$



### *Pression de l'air à l'intérieur du thermoscope*

Du fait qu'il y a équilibre avec la pression atmosphérique, la pression ( $P_2$ ) à l'intérieur du bulbe, est égale à la pression atmosphérique de l'état final ( $P_a + \delta P_a$ ) diminuée de la pression correspondant à la colonne d'eau de hauteur ( $h + \delta h$ ), soit :

$$P_2 = (P_a + \delta P_a) - r.g.(h + \delta h)$$

Expression qui est aussi égale à :

$$P_2 = P_1 + \delta P \quad (\text{où } \delta P \text{ est différent de } \delta P_a)$$

On en déduit que :  $\delta P_a = \delta P + r.g.\delta h$

### *INFLUENCE DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE*

La loi de MARIOTTE précise que, lorsque la température est constante, et que la masse de gaz ne varie pas, le produit (pression x volume) est constant. Ainsi :

$$P_1.V_1 = P_2.V_2$$

$$\text{D'où } V_2 = \frac{P_1.V_1}{P_2}$$

En remplaçant  $P_2$  et  $V_2$  par leurs évolutions subies en fonction de la variation de la pression atmosphérique, par rapport à l'état initial ( $P_2 = P_1 + \delta P$ , et  $V_2 = V_1 - \delta V$ ), la variation de volume s'écrit :

$$\delta V = V_1 - \frac{P_1.V_1}{(P_1 + \delta P)} \quad \text{soit : } \delta V = \frac{V_1.\delta P}{(P_1 + \delta P)}$$

Comme la variation de volume  $\delta V$  ne concerne qu'une partie du tube de section  $S$ , la variation de hauteur  $\delta h$  est :

$$\delta h = \frac{V_1 \cdot \delta P}{S \cdot (P_1 + \delta P)}$$

En substituant  $P_1$  par sa valeur en fonction de  $P_a$  : ( $P_1 = P_a - r \cdot g \cdot H$ ) :

$$\delta h = \frac{\delta P \cdot V_1}{S \cdot (P_a + (\delta P - r \cdot g \cdot h))}$$

Influence de la pression atmosphérique sur le thermoscope

La recherche d'une simplification est souhaitable. Dans le cas présent, comme les variations de la pression atmosphérique sont faibles (amplitudes maximales voisines de 100 hPa) et que la pression atmosphérique reste voisine de  $10^3$  hPa, (car l'appareil est utilisé au niveau du sol), la valeur de  $(\delta P - r \cdot g \cdot h)$  peut être négligée devant celle de  $P_a$ .

Avec cette approximation, la variation de hauteur d'eau ( $\delta h$ ) du thermoscope en fonction de la variation de pression atmosphérique devient :

$$\delta h = \frac{\delta P \cdot V_1}{P_a \cdot S}$$

Alors, en remplaçant  $\delta P$  par sa valeur en fonction de  $\delta P_a$  :

$$\delta h = \frac{V_1 \cdot \delta P_a}{P_a \cdot S + r \cdot g \cdot V_1}$$

Equation simplifiée de la variation de la hauteur d'eau du thermoscope en fonction de la pression atmosphérique

Compte tenu des approximations, la variation de la hauteur du liquide dans le thermoscope lorsque la pression atmosphérique

varie, est proportionnelle à la variation de cette dernière, et au volume d'air interne ( $V_1$ ) du thermoscope. Elle est inversement proportionnelle à la section du tube ( $S$ ).

### ***Sensibilité du thermoscope à la pression atmosphérique***

La sensibilité du thermoscope à la pression atmosphérique est la suivante :

$$\frac{\delta h}{\delta Pa} = \frac{V_1}{P_1 \cdot S + r \cdot g \cdot V_1}$$

Sensibilité du thermoscope à la pression atmosphérique

Elle est directement proportionnelle au volume d'air à l'intérieur du thermoscope à l'état initial  $V_1$ .

Le tableau 2 ci-dessous indique la sensibilité à la pression atmosphérique  $\delta h/\delta Pa$  pour différents thermoscopes (1ère ligne). Le rappel de la sensibilité thermique (2è ligne du tableau) permet de voir que le rapport  $\delta Pa/\delta T$  (3è ligne) est quasiment le même pour tous les thermoscopes.

Paramètre	Th1	Th2	Th3	Th4
Sensibilité à la pression atmosphérique $\delta h/\delta Pa$ , en cm/hPa	0.17	0.19	0.63	0,39
Sensibilité thermique $\delta h/\delta T$ en cm/degré	0.58	0.66	2.13	1.34
Rapport $\delta Pa/\delta T$	3.46	3.42	3.38	3.44

Tableau é : Sensibilité de différents thermoscopes à la pression atmosphérique et à la température.

*Base fixe de fabrication*

Nous avons vu que :

La sensibilité thermique du thermoscope est égale à :

$$\frac{\delta h}{\delta T} = - \frac{P_1 \cdot V_1}{C_1 \cdot T_1} \quad \text{avec } C_1 = S \cdot P_1 + r \cdot g \cdot V_1$$

La sensibilité à la pression atmosphérique est égale à :

$$\frac{\delta h}{\delta Pa} = \frac{V_1}{P_1 \cdot S + r \cdot g \cdot V_1} \quad \text{soit : } \frac{\delta h}{\delta Pa} = \frac{V_1}{C_1}$$

$$\text{ainsi, } \frac{\delta h}{\delta T} = - \frac{P_1 \cdot \delta h}{T_1 \cdot \delta Pa}$$

De ceci nous déduisons que :

$$\frac{\delta Pa}{\delta T} = - \frac{P_1}{T_1}$$

Constante du thermoscope

Compte tenu des approximations admises, pour un thermoscope, le rapport de la variation de la pression atmosphérique à la variation de la température, mesurée avec la même échelle du thermoscope, est égale au rapport pression température. Ces valeurs sont celles qui précèdent la variation observée. Ce rapport est égal à 3,46 pour  $P_1 = 1013 \text{ hPa}$  et  $T_1 = 293^\circ\text{K}$ . Pour un état donné ( $P$  et  $T$ ), la variation de la pression atmosphérique à le même effet (aux approximations retenues) sur tous les thermoscopes. Une variation de 3,5 hPa déplace le liquide du thermoscope d'une même distance que le ferait une variation de 1 degré de chaleur. L'exactitude de cette correction a été vérifiée sur le thermoscope utilisé.

Cette expression montre que la sensibilité à la pression atmosphérique est d'autant plus forte que la température est basse. Il n'était pas étonnant que certains jours le liquide du thermoscope s'élevait alors que la température augmentait.

Sur le thermoscope utilisé dans les laboratoires, les valeurs ci-dessous ont été relevées :

Elévation du liquide dans le thermoscope en cm	Température réelle T en °K	Pression atm. Pa en hPa	Correction $\frac{I \cdot (1000 - Pa) \cdot 1.8}{Pa}$	Elévation corrigée du liquide dans le thermoscope en cm
6,8	295	998,8	0,6	6,2
9,0	295	995	2,7	6,3
8,3	296	1000,1	0,1	8,2
10,5	296	995,4	2,5	8,0
9,0	296	998,3	0,9	8,1
10,0	297	999,6	0,2	9,8
11,5	297	997,6	1,3	10,2
15,2	299	996,9	1,7	13,5

Sensibilité du thermoscope : 1,8 cm/ degré

En appliquant la correction pour s'affranchir de la pression atmosphérique, déduite de la constante du thermoscope, le niveau du liquide dans le tube du thermoscope ainsi calculé est fonction de la température.

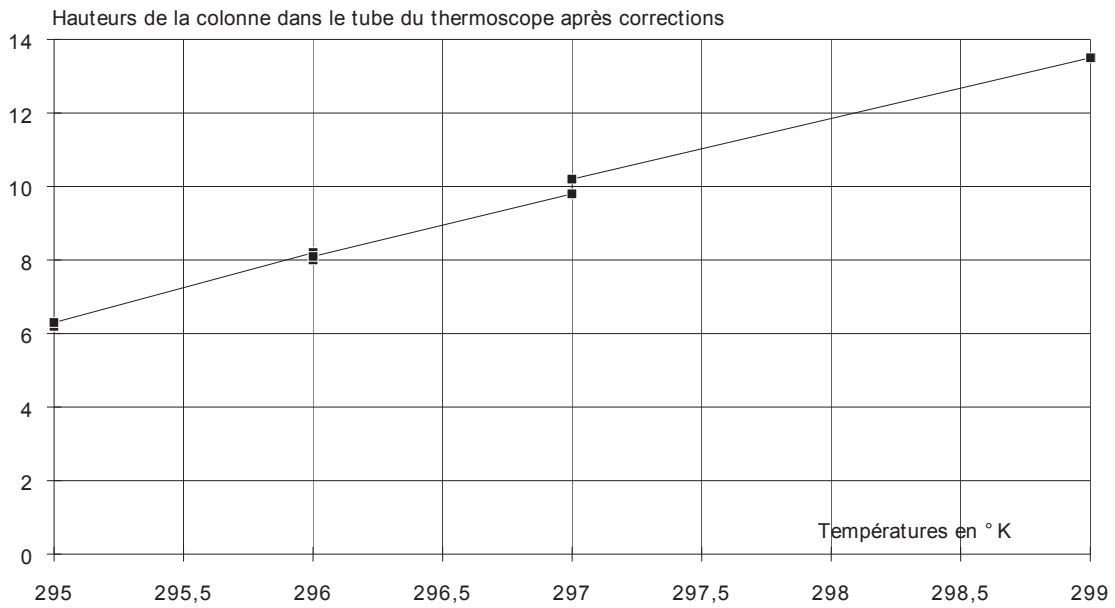
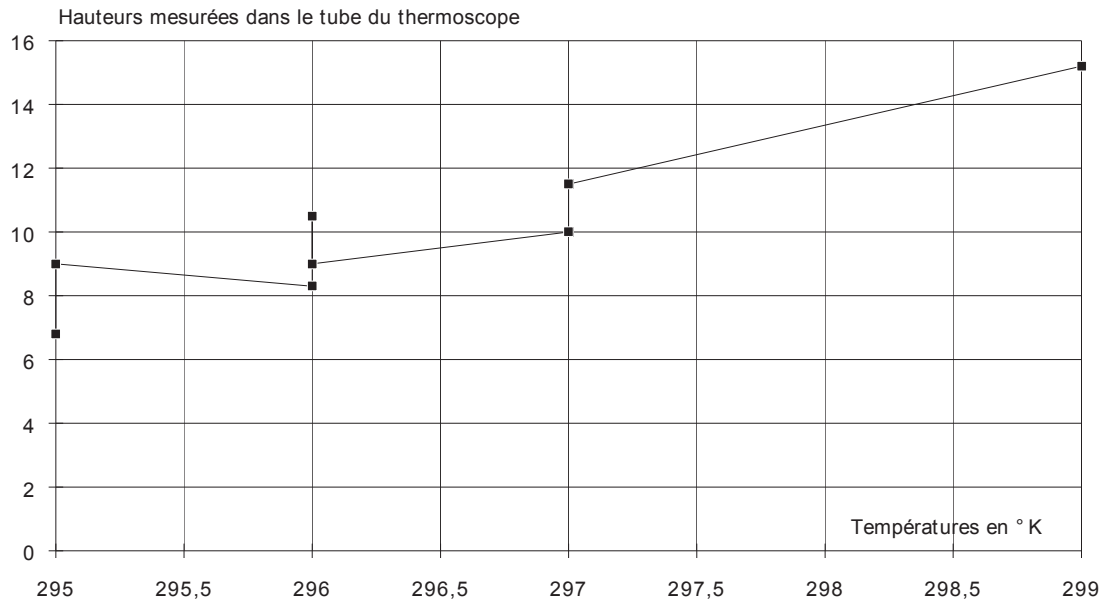


Fig A2.5 Ces graphiques montrent l'amélioration obtenue après la correction en fonction de la pression atmosphérique.

Ces calculs simples, dont l'approfondissement n'a pas été recherché, montrent que le thermoscope est un instrument très sensible à la température et à la pression atmosphérique.

RBGG

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## Sources manuscrites

- AUBERGER Jean Louis  
Histoire de la météorologie.  
Manuscrit non publié  
PARIS, 1988  
Bibliothèque S3C; Cote : **79**  
Mots clé : HISTOIRE DE LA METEOROLOGIE
- AUBERGER Jean Louis  
Dictionnaire biographique.  
Manuscrit non publié  
1988  
Bibliothèque S3C; Cote : **126**  
Mots clé : BIOGRAPHIES
- AUBERGER Jean Louis  
Lexique météorologique.  
Manuscrit non publié  
1988  
Bibliothèque S3C; Cote : **127**  
Mots clé : LEXIQUE
- BOYER  
Réponse au questionnaire de 1775 et rapport.  
LIMOGES, 1775  
Bibliothèque SRM 172 dr 14 N°1-2; Cote : **226**  
Mots clé : QUESTIONNAIRE 1775, RAPPORT
- CHAPTAL J. A.  
Mémoires de son oncle.  
MONTPELLIER,  
Bibliothèque SRM 198 dr 02; Cote : **260**  
Mots clé : RAPPORT
- ESCRIVANO Jean, PORTA Giambattista  
I tre libri de Spiritali di Giambattista PORTA cioè d'inalzar acque  
per forza dell'aria, tradotto da Juan ESCRIVANO.  
NAPLES, 1606  
Bibliothèque BN ResV.1416; Cote : **254**  
Mots clé : DILATATION
- HILDEBRAND HILDEBRANDSON Hugo  
Lettre d'Hildebrand hildebrandson à Teisserenc de Bort.  
UPSAL, 1897  
Bibliothèque SETIM; Cote : **557**  
Mots clé : TEMPERATURE, CENTIGRADE
- LE PECQ DE LA CLOTURE  
Observations météorologiques et nosologiques.  
ROUEN, 1784-1787  
Bibliothèque SRM 152 dr 06; Cote : **284**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## MAHON

Observations et correspondances.  
CHARTRES, 1776-1790  
Bibliothèque SRM 176 dr 08; Cote : **544**  
Mots clé : OBSERVATION, CORRESPONDANCE

## RAZOUX

Observations météorologiques et médecine.  
NIMES, 1784-1785  
Bibliothèque SRM 180 dr 09; Cote : **301**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## THIBAULT

Observations météorologiques, nosologiques et agricoles,  
Correspondance.  
DUNKERQUE, 1783-1791  
Bibliothèque SRM 154 dr 05; Cote : **293**  
Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE



## Sources imprimées

*\_ Ouvrages isolés contemporains*

- ABBOTT P.F.  
Guidelines on the quality control of surface climatological data  
WMO TD N°111 WCP 85  
GENEVE, 1986  
Bibliothèque S3C; Cote : **494**  
Mots clé : TEMPERATURE, CLIMATOLOGIE
- ALLEN Olivier E.  
L'atmosphère.  
La planète terre, 3è édition, version française, pages : 23  
AMSTERDAM, Time Life, 1987  
Bibliothèque ; Cote : **346**  
Mots clé : METEOROLOGIE, ATMOSPHERE
- ASIMOV Isaac  
Biographical encyclopedia of science and technology-second revised  
edition.  
NEW-YORK, 1982  
Bibliothèque CSI; Cote : **87**  
Mots clé : BIOGRAPHIES
- BARNETT M. K.  
The development of thermometry and the temperature concept  
BRUGES, 1956  
Bibliothèque ; Cote : **01**  
Mots clé : TEMPERATURE
- BERTRAND Gille  
Les ingénieurs de la Renaissance  
BORDEAUX, HERMAN, 1967  
Bibliothèque MSH 33526; Cote : **317**  
Mots clé : RENAISSANCE, TECHNIQUE
- BIREMBAUT A.  
Thermodynamique. Histoire de la thermodynamique.  
Encyclopédia Universalis, pages : Tome 22, p537-541  
PARIS, Encyclopedie Universalis, 1989  
Bibliothèque SETIM; Cote : **73**  
Mots clé : THERMOMETRIE, CHALEUR
- BIREMBAUT Arthur  
THERMODYNAMIQUE A Histoire de la thermodynamique.  
Encyclopédie Universalis, Vol 22, pages : 538a  
PARIS, Universalis, 1990  
Bibliothèque SETIM; Cote : **555**  
Mots clé : THERMODYNAMIQUE, TEMPERATURE HISTORIQUE
- BRUYERE  
La formule barométrique.  
PARIS, 1947  
Bibliothèque SETIM; Cote : **341**  
Mots clé : PRESSION ATMOSPHERIQUE, BAROMETRIE

- BURCKHARDT Jacob  
 Civilisation de la Renaissance en Italie : la résurrection de  
 l'antiquité, la découverte du monde et de l'homme, la sociabilité et  
 les fêtes.  
 3 tomes, pages : Tome 2  
 PLON, 1958  
 Bibliothèque Montrouge 94505BUR; Cote : **110**  
 Mots clé : RENAISSANCE, ITALIE
- CAVERNI Raffaello  
 Storia del metodo sperimentale in Italia.  
 Reproduit dans l'édition de Florence de 1891-1900, pages : 284  
 NEW-YORK, 1972  
 Bibliothèque CSI X0 414; Cote : **189**  
 Mots clé : METHODE EXPERIMENTALE, HISTOIRE DES SCIENCES
- CERON Jean Pierre, DESROZIER Maryse  
 Les régions thermiques en France  
 La météorologie, VII<sup>e</sup> série, N°18, juin-août, pages : 9-16  
 BOULOGNE, 1987  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **492**  
 Mots clé : REGION THERMIQUE, TEMPERATURE
- COSTABEL Pierre  
 GALILEE 1564-1642  
 Encyclopédie Universalis, Vol 10, pages : 55a  
 PARIS, Universalis, 1990  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **553**  
 Mots clé : BIOGRAPHIE, GALILEE
- CROMBIE A.C.  
 Histoire des sciences de Saint Augustin à Galilée 400-1600.  
 Traduit de l'anglais par Jacques D'HERMIES  
 PARIS, PUF, 1959  
 Bibliothèque CSI R13CROMAC; Cote : **31**  
 Mots clé : HISTOIRE DES SCIENCES, SCIENCES
- DAUMAS Maurice  
 Les instruments scientifiques aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles.  
 PARIS, PUF, 1953  
 Bibliothèque JUSSIEU 53(091)DAU; Cote : **159**  
 Mots clé : INSTRUMENTS, ATELIERS
- DELUMEAU Jean  
 L'Italie de Botticelli à Bonaparte.  
 Collection U, pages : 246  
 PARIS, Armand Colin, 1973  
 Bibliothèque Montrouge 94505DEL; Cote : **111**  
 Mots clé : ITALIE
- DELUMEAU jean  
 La civilisation de la Renaissance.  
 PARIS, Arthaud, 1984  
 Bibliothèque Montrouge 94021DEL; Cote : **148**  
 Mots clé : RENAISSANCE, CIVILISATION

- DESAIVE J.P., GOUBERT E., LEROY LADURIE E., MEYER J., MULLER O., PETER J.P.  
 Médecins, climat épidémies à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle  
 PARIS, Mouton, 1972  
 Bibliothèque S3C; Cote : **285**  
 Mots clé : CLIMATOLOGIE XVIII<sup>e</sup>, EPIDEMIES
- DETTWILLER Jacques  
 Chronologie de quelques évènements météorologiques en France et ailleurs.  
 Monographie de la Météorologie Nationale N°1, pages : 8  
 BOULOGNE, Météorologie Nationale, 1982  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **05**  
 Mots clé : HISTOIRE METEO, CHRONOLOGIE
- DUMAS Maurice  
 Histoire générale des techniques.  
 Collection Tomes  
 PARIS, PUF, 1962  
 Bibliothèque Montrouge; Cote : **06**  
 Mots clé : TECHNIQUES
- EASTON C.  
 Les hivers dans l'Europe occidentale étude statistique et historique sur leur température 1205-1916.  
 LEYDE, 1928  
 Bibliothèque BN 4°G2259; Cote : **237**  
 Mots clé : HIVERS ETE, CLIMATOLOGIE
- FIERO Alfred  
 Histoire de la météorologie  
 PARIS, Denöel, 1991  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **340**  
 Mots clé : HISTOIRE DE LA METEOROLOGIE
- FINLEY Moses I.  
 Les anciens Grecs  
 Traduit de l'anglais par Monique ALEXANDRE  
 PARIS, François Maspero, 1981  
 Bibliothèque Montrouge 938FIN; Cote : **105**  
 Mots clé : GRECE ANTIQUE, ANTIQUITE
- FONTENELLE  
 Choix d'éloge de Savants. II physiciens-médecins.  
 PARIS, Librairie philosophique J. VRIN, 1981  
 Bibliothèque CSI; Cote : **211**  
 Mots clé : BIOGRAPHIES, SAVANTS
- FRINSINGER Howard  
 The history of meteorology to 1800.  
 Science history publication, Monographie de l'AMS, pages : 47-48  
 NEW-YORK, AMS, 1977  
 Bibliothèque S3C L38334; Cote : **07**  
 Mots clé : METEOROLOGIE, HISTOIRE
- GARNIER M.  
 Climatologie de la France.  
 Mémorial N° 50  
 PARIS, Météorologie nationale, 1967  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **339**  
 Mots clé : CLIMATOLOGIE

GILLISPIE

Concise dictionary of scientific biography.  
NEW-YORK, SCRIBNER'S Sons, 1981  
Bibliothèque CSI X0241CONCIS; Cote : 85  
Mots clé : BIOGRAPHIES

GILLISPIE Charles Coulson

Dictionary of scientific biography.  
NEW-YORK, Scribner's, 1981  
Bibliothèque CSI; Cote : 86  
Mots clé : BIOGRAPHIES, DICTIONNAIRE

GOUX Claude

Guide de thermométrie  
Collection de l'ANRT  
PARIS Eyrolles, Gauthiers Villars, 1959  
Bibliothèque SETIM Cote 566  
Mots clé : THERMOMETRE, MESURE DE LA TEMPERATURE

GROULT Martine

Transfert de vocabulaire dans les sciences.  
PARIS, Editions du CNRS, 1988  
Bibliothèque CSI X069 CERDPD; Cote : 117  
Mots clé : VOCABULAIRE

HART Ivor B.

The mechanical investigations of Leonardo da VINCI.  
Document original de 1889, pages : 47  
WESTPORT CONNECTICUT (USA), Greenwood Press, 1982  
Bibliothèque CSI X0 343VINCL; Cote : 178  
Mots clé : LEONARD DE VINCI

HART Ivor Blashka

The world of Leonard da VINCI.  
LONDON (G.B.), Macdonald, 1961  
Bibliothèque CSI Z0 343LEONDV; Cote : 268  
Mots clé : LEONARD DE VINCI

JOYAL M.

Chaleur  
Collection M. JOYAL, P. PROVOST  
Paris, Masson, 1967, Cote 565  
Mots clé : PHYSIQUE, CHALEUR

LAPEYRE Henri

Les monarchies Européennes du XVI<sup>e</sup> siècle. Les relations  
internationales.  
Nouvelle Clio, pages : 104  
PARIS, PUF, 1973  
Bibliothèque Montrouge 940.2LAP; Cote : 104  
Mots clé : MONARCHIES EUROPEENNES, RENAISSANCE

LEBRUN François

Le XVII<sup>e</sup> siècle.  
Collection U, pages : 11  
PARIS, Armand COLIN, Sans date  
Bibliothèque Montrouge 909.6LEB; Cote : 103  
Mots clé : XVII<sup>e</sup> SIECLE

- LEMOINE J., GUYOT J.  
Cours de physique à l'usage des élèves de mathématiques supérieures  
et de mathématiques spéciales.  
PARIS, Vuibert, 1944  
Bibliothèque SETIM; Cote : **559**  
Mots clé : TEMPERATURE, PHYSIQUE
- MAGALOTTI Lorenzo  
I saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento  
sotto la protectione del Serenissimo Principe Leopoldo Di Toscana.  
Reproduction de l'édition de Florence de 1667, pages : II-IV  
PISE, 1957  
Bibliothèque BN Fol R883; Cote : **326**  
Mots clé : THERMOMETRES, ACADEMIE DEL CIMIENTO
- MASSAIN Robert  
Physique et physiciens.  
PARIS, Magnard, 1979  
Bibliothèque Montrouge; Cote : **30**  
Mots clé : METEOROLOGIE, PHYSIQUE
- MCGEE Thomas Donald  
Principles and methods of temperature measurement.  
NEW-YORK, John Wiley & sons, 1988  
Bibliothèque S3C L44277; Cote : **233**  
Mots clé : THERMOMETRES, TEMPERATURE
- Météorologie nationale  
Thermomètre exactitude 0,25°C  
Cahier de Recette Technique M N T 03 1210 P 0000  
TRAPPES, Météorologie nationale, 1993  
Bibliothèque SETIM; Cote : **558**  
Mots clé : THERMOMETRE, NORME
- MICHAUD  
Biographie universelle ancienne et moderne.  
PARIS, Michaud, 1811-1828  
Bibliothèque Beaubourg; Cote : **83**  
Mots clé : BIOGRAPHIE UNIVERSELLE
- MIDDLETON W.E.Knowles  
A history of the thermometer and its use in meteorology.  
BALTIMORE (USA), 1966  
Bibliothèque SETIM; Cote : **10**  
Mots clé : TEMPERATURE, ABRI
- MIDDLETON William Edgar Knowles  
The history of the barometer.  
BALTIMORE, The John Hopkins Press, 1964  
Bibliothèque S3C L40024; Cote : **345**  
Mots clé : PRESSION ATMOSPHERIQUE, HISTOIRE DU BAROMETRE
- MINIATI Mara, CASATI Stefano, PRINCIPE Franca  
L'età di GALILEO, Il secolo d'oro della scienza in Toscana.  
Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze, pages : 131  
FLORENCE (Italie), Istituto e Museo di Storia della Scienza, 1987  
Bibliothèque CSI X072 ETADI; Cote : **116**  
Mots clé : GALILEE, RENAISSANCE SCIENTIFIQUE

NICOLAS J.P.

L'abbé COTTE et ses papiers.  
91è congrès des sociétés savantes  
RENNES, 1966  
Bibliothèque SETIM; Cote : 560  
Mots clé : COTTE

OMM

Calculation of monthly and annual 30-years standard normals  
World climate programme, WMO TD N° 341  
GENEVE, 1989  
Bibliothèque S3C; Cote : 500  
Mots clé : NORMALES, STATISTIQUES

PARAIN Charles

Marc AURELE.  
Editions complexes, 1957  
Bibliothèque Montrouge 93703PAR; Cote : 112  
Mots clé : ITALIE

PETIT Paul

La paix romaine.  
PARIS, PUF, 1967  
Bibliothèque Montrouge 93703PET; Cote : 113  
Mots clé : ITALIE, ROME

PETIT Paul

Le haut empire I 27 avant J.C., 161 après.  
SEUIL, 1974  
Bibliothèque Montrouge 93707PET; Cote : 114  
Mots clé : ITALIE, EMPIRE ROMAIN

RACHET G., RACHET M.F.

Dictionnaire de la civilisation grecque.  
PARIS, Larousse, 1985  
Bibliothèque Montrouge 938RAC; Cote : 108  
Mots clé : GRECE ANTIQUE, DICTIONNAIRE

RICHTER Jean Paul

The notebooks of Leonardo da VINCI compiled from the original  
manuscripts.  
NEW-YORK (USA), Dover publication Inc, 1970  
Bibliothèque CSI X0 343VINCL; Cote : 179  
Mots clé : LEONARD DE VINCI

RIPERT Lillette

GALILEE l'expérience sensible.  
PARIS, Hologramme, 1988  
Bibliothèque ; Cote : 270  
Mots clé : GALILEE, BIOGRAPHIE

SALVATORELLI Luigi

Histoire de l'Italie des origines à nos jours.  
ROANNE, HORVATH, 1973  
Bibliothèque Montrouge 945SAL; Cote : 115  
Mots clé : ITALIE, HISTOIRE

- SAMBURSKY S.  
The physical world of the Greeks.  
LONDON, Paperback edition, 1963  
Bibliothèque ; Cote : **106**  
Mots clé : GRECE ANTIQUE, ANTIQUITE
- SARGENT II Frédérick  
A history of ideas about weather and human health.  
NEW-YORK (USA), Pergamon Press, 1982  
Bibliothèque S3C; Cote : **69**  
Mots clé : HISTOIRE DES IDEES, TEMPS SANTE
- SARTON Georges  
Introduction to history of science.  
WASHINGTON, 1927-1948  
Bibliothèque ; Cote : **15**  
Mots clé : HISTOIRE DES SCIENCES
- SCHNEIDER-CARIUS Karl  
Weather science weather research. History of their problems and findings from documents during three thousand years  
Traduit de l'Allemand  
NEW DELHI (USA), INSDC, 1955  
Bibliothèque S3C; Cote : **78**  
Mots clé : HISTOIRE DE LA METEOROLOGIE
- SNEYERS R.  
Sur la détermination de l'homogénéité des séries climatologiques  
Journal scientifique de la météorologie N° 28, octobre décembre,  
pages : 360  
PARIS, 1955  
Bibliothèque SETIM; Cote : **517**  
Mots clé : HOMOGENEITE, STATISTIQUES
- TATON René  
Histoire générale des sciences.  
Collection Tomes, pages : Tome I, p 250  
PARIS, PUF, 1969  
Bibliothèque Montrouge U509HIS; Cote : **18**  
Mots clé : SCIENCES, HISTOIRE
- THORNDIKE Lynn  
A history of magic and experimental science.  
Copyright 1941, pages : 16  
NEW-YORK (USA), Columbia University Press, 1987  
Bibliothèque CSI X0 02THORL; Cote : **180**  
Mots clé :
- TREVOR Williams I.  
A biographical dictionary of scientists.  
LONDRES, Adam & Charles Black, 1982  
Bibliothèque CSI X0241 BIOGRA; Cote : **95**  
Mots clé : DICTIONNAIRE BIOGRAPHIQUE
- VAN EFFENTERRE Henri  
L'age grec 550-270 avant J.C.  
Larousse, 1968  
Bibliothèque Montrouge 938VAN; Cote : **107**  
Mots clé : GRECE ANTIQUE, ANTIQUITE

WAARD Cornelis DE  
Correspondance du Père Marin MERSENNE.  
PARIS, 1946  
Bibliothèque CSI X0343MERSM; Cote : **372**  
Mots clé : MERSENNE, CORRESPONDANCE

WAARD Cornelis DE  
Journal tenu par Isaac BEECKMANN de 1604 à 1634, publié avec une  
introduction et des notes.  
LA HAYE, 1939-1953  
Bibliothèque BN 4°M4655; Cote : **390**  
Mots clé : TEMPERATURE, JOURNAL DE BORT



\_ *Ouvrages isolés*

## ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES

Histoire de la Société Royale de Médecine.  
 PARIS, 1779  
 Bibliothèque CSI; Cote : **182**  
 Mots clé : SOCIETE ROYALE DE MEDECINE

## ALENCE Joachim D'

Traité des baromètres thermomètres et notiomètres ou hygromètres  
 AMSTERDAM, 1688  
 Bibliothèque S3C L422; Cote : **33**  
 Mots clé : BAROMETRES, THERMOMETRES

## ARAGO François

Oeuvre de François ARAGO, Notices scientifiques.  
 PARIS, Gide, sous la direction J.A. Barral, 1858  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **141**  
 Mots clé : TEMPERATURE

## BEAUSSIEU

Mémoire sur la réforme des thermomètres, Avec des avis particuliers,  
 & des Notes justificatives, critiques & instructives  
 TOURS, VAUQUER, 1779  
 Bibliothèque S3C; Cote : **309**  
 Mots clé : THERMOMETRE

## COTTE Louis

Traité de Météorologie  
 PARIS, 1774  
 Bibliothèque S3C L1694; Cote : **162**  
 Mots clé : HISTOIRE, METEOROLOGIE

## COTTE Louis

Mémoires sur la météorologie pour servir de suite & de supplément au  
 Traité de Météorologie publié en 1774.  
 PARIS, Imprimerie Royale, 1788  
 Bibliothèque S3C 1694; Cote : **323**  
 Mots clé : METEOROLOGIE

## DELUC J. A.

Recherches sur les modifications de l'atmosphère.  
 GENEVE, 1784  
 Bibliothèque S3C DOC; Cote : **52**  
 Mots clé : TEMPERATURES, PRESSION ATMOSPHERIQUE

## FIGUIER Louis

Vie des savants illustres depuis l'antiquité jusqu'au 19<sup>e</sup> siècle.  
 XIX<sup>e</sup>  
 Bibliothèque CSI Q5 24462; Cote : **40**  
 Mots clé : SAVANTS

## FONTENELLE DE

Eloges des académiciens avec l'histoire de l'Académie Royale des  
 Sciences en 1699.  
 PARIS, Isaac Vander KLOOT, 1740  
 Bibliothèque CSI; Cote : **190**  
 Mots clé : BIOGRAPHIES, SAVANTS

## GALILEE Galileo

Le opere di Galileo Galilei.  
 Première édition complète, pages : 16 volumes  
 FLORENCE, 1842-1856  
 Bibliothèque CNAM 8°R26; Cote : **164**  
 Mots clé : GALILEE, OEUVRE

## GAUSSEN

Dissertation sur le thermomètre de REAUMUR.  
 BEZIER, 1789  
 Bibliothèque S3C DOC; Cote : **231**  
 Mots clé : THERMOMETRE, REAUMUR

## GOUBERT

Recherches sur les différences qui existent entre les thermomètres  
 de mercure et ceux d'esprit de vin, et sur les moyens d'y remédier  
 PARIS, MERIGOT, 1789  
 Bibliothèque S3C L306; Cote : **542**  
 Mots clé : THERMOMETRES, MERCURE & ESPRIT DE VIN

## GUILLAUME Ch. Ed.

La convention du mètre et le bureau international des poids et  
 mesures.  
 PARIS, Gautier Villars, 1902  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **387**  
 Mots clé : MESURES, TEMPERATURE

## LIBRI Guillaume

Histoire des sciences mathématiques en Italie depuis la Renaissance  
 des lettres jusqu'à la fin du XVIII<sup>e</sup>.  
 PARIS, Paulin, 1838-1841  
 Bibliothèque CNAM8°Py39; Cote : **165**  
 Mots clé : THERMOMETRE, HISTOIRE DES SCIENCES

## MARTINE Georges

Essais sur la construction et la comparaison des thermomètres sur la  
 communication de la chaleur et sur les différents degrés de la  
 chaleur des corps.  
 PARIS, Durand, 1751  
 Bibliothèque S3C 423; Cote : **32**  
 Mots clé : THERMOMETRES, CHALEUR

## NELLI Giovanni

Vita e commercio di Galileo.  
 LOSANNA, 1793  
 Bibliothèque BN; Cote : **172**  
 Mots clé : GALILEE, THERMOSCOPE

## OFFICE NATIONAL METEOROLOGIQUE DE FRANCE

Extraits des mémoires de LAVOISIER concernant la météorologie et  
 l'aéronautique.  
 PARIS, Etienne Chiron,  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **366**  
 Mots clé : LAVOISIER, METEOROLOGIE

## PARCHAPPE DE VINAY Maximien B.

GALILEE, sa vie, ses découvertes et ses travaux.  
 PARIS, Hachette, 1866  
 Bibliothèque BN K12922; Cote : **255**  
 Mots clé : BIOGRAPHIE, GALILEE

- PETIT Pierre  
 Dissertations académiques sur la nature du froid et du chaud.  
 PARIS, O. de Varennes, 1671  
 Bibliothèque CSI T383-6; Cote : **41**  
 Mots clé : CHALEUR
- PUJOULX J.B.  
 Leçons de physique de l'école polytechnique.  
 PARIS, 1805  
 Bibliothèque CSI; Cote : **55**  
 Mots clé : THERMOMETRIE, PHYSIQUE
- ROCHAS Albert DE  
 La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans  
 l'antiquité.  
 PARIS, 1882  
 Bibliothèque BN 8°R4784; Cote : **13**  
 Mots clé : ANTIQUITE, PNEUMATIQUES
- ROCHAS Albert DE  
 Les origines de la science et ses premières applications.  
 PARIS, Masson, Sans date  
 Bibliothèque CNAM 8°Y57; Cote : **220**  
 Mots clé : SCIENCE, ANTIQUITE
- ROHAULT Jacques  
 Traité de physique.  
 PARIS, Savreux et Desprez, 1672  
 Bibliothèque CSI RT383.9; Cote : **34**  
 Mots clé : PHYSIQUE
- ROHAULT Jacques  
 Traité de physique.  
 4è édition Tome second, pages : Tome 2, p 164-165  
 LYON, 1696  
 Bibliothèque S3C; Cote : **145**  
 Mots clé : PHYSIQUE
- TELIOUX Bartolomeo  
 Mathematica Maravigliosa.  
 ROME, 1611  
 Bibliothèque Arsenal MS8525; Cote : **160**  
 Mots clé : THERMOMETRE
- SWINDEN VAN J. H.  
 Dissertation sur la comparaison des thermomètres.  
 AMSTERDAM, Marc michel REY, 1778  
 Bibliothèque S3C DOC; Cote : **230**  
 Mots clé : THERMOMETRES, COMPARAISONS

## \_ Périodiques contemporains

AUBERGER J.L.

Les anciens reseaux climatologiques.  
 Notice d'information technique, pages : 2  
 PARIS, Météorologie nationale, X  
 Bibliothèque SETIM; Cote : 548  
 Mots clé : RESEAUX METEOROLOGIQUES, XVIIIÈ SIECLE

AUBERGER Jean Louis

Sur l'origine du baromètre.  
 La Météorologie, 3è série, N° 46-48, Juillet-décembre, pages : 182  
 PARIS, 1943  
 Bibliothèque SETIM; Cote : 342  
 Mots clé : PRESSION ATMOSPHERIQUE, BAROMETRIE

BEAUREPAIRE Michel

En 1611 le thermomètre était décrit par Bartoloméo TELIOUX  
 Bulletin d'information de l'association des anciens de la  
 météorologie N° 105, pages : 6-9  
 TRAPPES, 1991  
 Bibliothèque SETIM; Cote : 534  
 Mots clé : THERMOMETRE, TELIOUX

BEAUREPAIRE Michel

L'origine du thermoscope, De la philosophie antique aux  
 développements de la Renaissance.  
 Bulletin d'information de l'association des anciens de la  
 météorologie N°102, pages : 12-15  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1990  
 Bibliothèque SETIM; Cote : 536  
 Mots clé : ANTIQUITE, CHALEUR

BETOUT P.

A propos de l'évolution de la température en France lors des 50  
 dernières années.  
 La Météorologie VIè série, N° 14, Septembre  
 PARIS, Météorologie nationale, 1978  
 Bibliothèque SETIM; Cote : 265  
 Mots clé : TEMPERATURE, VARIATIONS SECULAIRES

BRYANT G.W.

Archiving and quality control of climatological data  
 The meteorological magazine, vol 108, N° 1287, Octobre, pages :  
 309-315  
 BRACKNELL (U.K.), 1979  
 Bibliothèque S3C P0511; Cote : 502  
 Mots clé : ARCHIVAGE, CLIMATOLOGIE

CERON Jean Pierre, DESROZIER Maryse

Régions climatiques en France. Températures, précipitations,  
 insolation  
 Monographie de la Météorologie Nationale N°4  
 BOULOGNE, M. N., 1991  
 Bibliothèque SETIM; Cote : 489  
 Mots clé : REGION CLIMATIQUE, TEMPERATURE PRECIPITATION INSOLATION

## CHALDECOTT

Bartolomeo TELIOUX and the early history of the thermometer.  
Annals of science, vol 8, N° 3 Septembre, pages : 195-201  
1952  
Bibliothèque Arsenal 4°NF25951; Cote : **161**  
Mots clé : THERMOSCOPE, THERMOMETRE

## COCHETIERE P. DE LA

Le chevalier DE BORDA.  
Met Mar, N° 100, Septembre, pages : 23-29  
BOULOGNE, Météorologie nationale, 1978  
Bibliothèque SETIM; Cote : **547**  
Mots clé : BORDA, XVIIIÈ SIECLE

## DETTWILLER Jacques

Les températures annuelles à Paris durant les 300 dernières années  
La météorologie VIè série, N° 25, juin, pages : 106  
BOULOGNE, 1981  
Bibliothèque SETIM; Cote : **205**  
Mots clé : TEMPERATURES, LONGUES SERIES

## DETTWILLER Jacques

Il y a 200 ans la société météorologique de Mannheim.  
Bulletin d'information de la Météorologie nationale, N° 49,  
octobre, pages : 22  
PARIS, Météorologie nationale, 1980  
Bibliothèque SETIM; Cote : **383**  
Mots clé : MANNHEIM, XVIIIÈ SIECLE

## DETTWILLER Jacques

LE VERRIER et la naissance de la météorologie moderne en France.  
La météorologie VIè série, N° 12, mars, pages : 149-171  
BOULOGNE, Météorologie nationale, 1978  
Bibliothèque SETIM; Cote : **198**  
Mots clé : LE VERRIERE

## DETTWILLER Jacques

Errata et compléments : l'échelle Celsius.  
Bulletin d'information de la Météorologie nationale, N° 38, janvier  
1978, p 39  
BOULOGNE, Météorologie nationale, 1978  
Bibliothèque SETIM; Cote : **567**  
Mots clé : THERMOMETRE CENTIGRADE, CELSIUS

## HELLMANN Gustav

The dawn of the meteorology.  
Quarterly journal of the Royal Meteorological Society Vol 34  
LONDRES, 1908  
Bibliothèque S3C P157; Cote : **08**  
Mots clé : THERMOMETRES, HISTOIRE

## HUMBERT P.

Les deux récits de l'expérience du Puy de Dôme.  
La Météorologie, 3è série, N° 46-48, Juillet-décembre, pages : 223  
PARIS, 1943  
Bibliothèque SETIM; Cote : **343**  
Mots clé : PRESSION ATMOSPHERIQUE, Puy DE DOME

- KINGTON J., ALEXANDRE P., VRIES J. DE, MARTIN P.  
 Fluctuations climatiques : une étude synoptique, fin du XVIIIè -  
 début du XIXè siècle.  
 Annales Economies Sociétés Civilisations, 32è année, N°2, mars-  
 avril, pages : 230  
 1977  
 Bibliothèque S3C P4492; Cote : **556**  
 Mots clé : VARIATIONS CLIMATIQUES, RESEAUX
- KINGTON J.A.  
 Meteorological observing in scandinavia and Iceland during the  
 eighteenth century.  
 Weather, 27, pages : 222-233  
 1972  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **392**  
 Mots clé : OBSERVATIONS XVIIIè SIECLE, SCANDINAVIE
- KINGTON John  
 The Societas meteorologica palatina : an eighteenth century  
 meteorological society.  
 Weather, 29, 11, pages : 416  
 Cambridge University Press, 1974  
 Bibliothèque S3C P1347; Cote : **434**  
 Mots clé : RESEAUX D'OBSERVATION, XVIIIè SIECLE
- KINGTON John  
 Daily weather Mapping for the 1780s.  
 Cambridge University Press, 1988  
 Bibliothèque S3C P4517; Cote : **435**  
 Mots clé : RESEAUX D'OBSERVATION, XVIIIè SIECLE
- LANDSBERG H. E.  
 The early Wroclaw (Breslau) temperature observation 1710-1721.  
 Mai  
 University of Maryland, College park, 1983  
 Bibliothèque S3C P4338A; Cote : **426**  
 Mots clé : TEMPERATURE, OBSERVATION
- LEGRAND Jean Pierre, LEGOFF Maxime  
 Louis MORIN et les observations météorologiques sous Louis XIV.  
 La vie des sciences, Tome 4, N° 3, mai-juin, pages : 260  
 PARIS, 1987  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **158**  
 Mots clé : OBSERVATEUR ISOLE, XVIIè SIECLE
- MAJOR Ralph.H.  
 Santorio Santorio.  
 Annals of medical history, volume 10, N°5, Septembre, pages : 377  
 NEW-YORK, 1938  
 Bibliothèque Fac Medecine; Cote : **98**  
 Mots clé : SANCTORIO, BIOGRAPHIE
- MANLEY Gordon  
 Central England Temperature monthly means 1659 to 1973  
 Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 100,  
 pages : 393  
 LONDRES, 1974  
 Bibliothèque S3C P0157; Cote : **375**  
 Mots clé : TEMPERATURES, LONGUES SERIES

- MANLEY Gordon  
 Mean temperature of central England 1698-1952  
 Quaterly journal of the Royal Meteorological Society, Vol 79, pages  
 : 242-261  
 LONDRES, 1953  
 Bibliothèque S3C P157; Cote : **503**  
 Mots clé : TEMPERATURES, HISTORIQUE
- MERLIER Christophe, SCHNEIDER Michel  
 Détermination des régions climatiques et des saisons thermiques  
 associées  
 Stage d'approfondissement de 3è année ITM  
 TOULOUSE, 1986  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **491**  
 Mots clé : REGION CLIMATIQUES, TEMPERATURES
- METEOROLOGIE NATIONALE  
 Abri météorologique grand modèle BMO - 1152  
 Recueil de fiches instrumentales, pages : B1  
 TRAPPES, 1991  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **541**  
 Mots clé : INSTRUMENTS
- MEYER Jean  
 L'enquête de l'Académie de Médecine sur les épidémies 1774-1794  
 Etudes rurales, MOUTON, avril-juin 1969, N° 34, p 7-69  
 Cote : **563**  
 Mots clé : ACADEMIE DE MEDECINE, TEMPERATURE
- SCHERWOOD TAYLOR F.  
 The origin of the thermometer.  
 Annals of sciences, vol 5, pages : 148  
 1942  
 Bibliothèque MSH; Cote : **17**  
 Mots clé : THERMOSCOPE
- SPACKMAN E., SINGLETON F.  
 Recent developments in the quality control of climatological data  
 The meteorological magazine, Vol 111, N° 1325, Décembre, pages :  
 301-311  
 CAMBRIDGE, 1982  
 Bibliothèque S3C P0511; Cote : **499**  
 Mots clé : CLIMATOLOGIE
- TURNER Anthony  
 Early scientific instruments in Europe 1400-1800.  
 NEW-YORK, Sotheby's publications, 1987  
 Bibliothèque CSI X072 TURNA; Cote : **99**  
 Mots clé : INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES, 1400-1800
- VOLLMANN R. Dr  
 Le thermomètre.  
 CIBA, mars, pages : 1760  
 BALES, Ciba C°, 1946  
 Bibliothèque BN 8°Z31650(50); Cote : **171**  
 Mots clé : THERMOMETRE, THERMOSCOPE

## \_ Périodiques

ANGOT Alfred

Etudes sur le climat de la France, Températures : 1ère partie  
 Stations de comparaison  
 Annales du B.C.M. 1897, pages : B93-B170  
 PARIS, 1899  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **473**  
 Mots clé : TEMPERATURE, CLIMAT

ANGOT Alfred

Etudes sur le climat de la France : températures deuxième partie :  
 variation diurne de la température  
 Annales du BCM 1902, pages : 41-130  
 PARIS, 1905  
 Bibliothèque S3C P0610; Cote : **509**  
 Mots clé : TEMPERATURE DIURNE, CLIMATOLOGIE

BRAVAIS M.A.

Remarques sur la manière d'observer la température de l'air  
 Annuaire de la Société Météorologique de France, pages : 128  
 PARIS, 1853  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **537**  
 Mots clé : TEMPERATURE, OBSERVATION

DEVILLE Charles Sainte Claire

Note sur les discordances qu'on observe dans les indications des  
 thermomètres à alcool et à mercure, à l'air libre et à l'ombre  
 Annuaire de la Société Météorologique de France, pages : 135-141  
 PARIS, 1853  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **538**  
 Mots clé : THERMOMETRES, OBSERVATION

DUHAMEL

Observations botanico météorologiques faites au château de Denain  
 villier proche Pluviers en Gâtinois.  
 Compte rendus de l'Académie Royale des Sciences  
 PARIS, Académie Royale des Sciences, 1741-1751  
 Bibliothèque CSI; Cote : **152**  
 Mots clé : OBSERVATION, BOTANIQUE

GRELLOIS Dr

Exposition de la doctrine d'Aristote  
 Annuaire de la Société Météorologique de France, Tome XII, pages :  
 57  
 PARIS, SMF, 1864  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **222**  
 Mots clé : ARISTOTE

HUBIN

Machines nouvellement inventées par le sieur HUBIN.  
 Journal des savants, pages : 11-13  
 PARIS, 1674  
 Bibliothèque BN Z 4075; Cote : **239**  
 Mots clé : INSTRUMENTS, THERMOMETRE



## LA HIRE

Dissertation sur les baromètres et thermomètres.  
Mémoire de l'Académie Royale des Sciences, pages : 434-435  
PARIS, 1706  
Bibliothèque S3C; Cote : **140**  
Mots clé : THERMOMETRIE, METEOROLOGIE

## MAZE C.

Sur le premier thermomètre à alcool utilisé à Paris.  
Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, Juillet,  
pages : 230  
PARIS, 1895  
Bibliothèque SETIM; Cote : **80**  
Mots clé : THERMOMETRE ALCOOL, XVIIÈ SIECLE

## MAZE Abbé

Communications sur le premier thermomètre utilisé à Paris.  
Annuaire de la Société Météorologique de France, Tome 45, pages : 11  
PARIS, Gautier Villars, 1896  
Bibliothèque SETIM; Cote : **551**  
Mots clé : THERMOMETRE, 1848

## REAUMUR

Règles pour construire des thermomètres dont les degrés soient  
comparables, et qui donnent des idées d'un chaud ou d'un froid qui  
puisse être rapporté à des mesures connues.  
Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, page(s) : 452-507  
PARIS, 1730  
Bibliothèque S3C Cote **561**  
Mot clé : THERMOMETRE

## REAUMUR

Second mémoire sur la construction des thermomètres dont les degrés  
sont comparables.  
Compte rendu de l'Académie Royale des Sciences, pages : 250-296  
PARIS, Académie Royale des Sciences, 1731  
Bibliothèque CSI; Cote : **153**  
Mots clé : THERMOMETRE

## RENOU Emilien

Histoire du thermomètre.  
Annuaire de la Société Météorologique de France Tome XXIV, page : 32  
SMF, 1876  
Bibliothèque SETIM; Cote : **12**  
Mots clé : THERMOMETRE, HISTOIRE

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

## MANUSCRITS CONSULTES A LA BIBLIOTHEQUE

## DE L'ACADEMIE NATIONALE DE MEDECINE

## ASSIER PERICA

Rapport sur les thermomètres pour les bains.  
PARIS, 1781  
Bibliothèque SRM 136 dr 04; Cote : **277**  
Mots clé : THERMOMETRE BAINS

## BAGOT

Observations météorologiques, nosologiques et agricoles,  
Correspondance.  
SAINT BRIEUX, 1776-1789  
Bibliothèque SRM 169 dr 01; Cote : **288**  
Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## BARBARET

Météorologie.  
TOULON, 1778-1779  
Bibliothèque SRM 169 dr 07; Cote : **299**  
Mots clé : METEOROLOGIE

## BARRERA

Observations météorologiques.  
MONT LOUIS, 1779-1782  
Bibliothèque SRM 169 dr 09; Cote : **305**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## BARRERA

Observations météorologiques.  
MONT LOUIS, 1789  
Bibliothèque SRM 141 dr 01; Cote : **305**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## BASSIN

OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES.  
CLERMONT-FERRAND, 1776-1783  
Bibliothèque SRM 140 dr 04; Cote : **263**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## BEJAULT

Prédictions du temps.  
  
Bibliothèque SRM 191 dr 25 N°4-9; Cote : **252**  
Mots clé : PREVISION

## BONAFOS

Constitution des températures.  
COLLIOURE, 1777  
Bibliothèque SRM 196dr 01; Cote : **253**  
Mots clé : TEMPERATURES, CONSTITUTION

## BOUCHER

Observations météorologiques et nosologiques, Correspondance.  
LILLE, 1778-1790  
Bibliothèque SRM 145 dr 03 N°1-10; Cote : **227**  
Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## BOUEROT

Barométrographe et instruments pour la météorologie.  
PEAUGRE, 1787-1788  
Bibliothèque SRM 134 dr 15; Cote : **228**  
Mots clé : INSTRUMENTATION, BAROMETROGRAPHE

## BOUGOURD

Observations météorologiques, Correspondance, Constitution.  
SAINT MALO, 1778-1787  
Bibliothèque SRM 155 dr 05; Cote : **292**  
Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## BOURDON

Echelle pour le thermomètre.  
PARIS St ANTOINE,  
Bibliothèque SRM 133 N°3; Cote : **251**  
Mots clé : THERMOMETRE

## BOYER

Réponse au questionnaire de 1775 et rapport.  
LIMOGES, 1775  
Bibliothèque SRM 172 dr 14 N°1-2; Cote : **226**  
Mots clé : QUESTIONNAIRE 1775, RAPPORT

## BRET

Observations météorologiques, nosologiques, agricoles, oiseaux,  
Tableaux de synthèse.  
ARLES, 1782-1788  
Bibliothèque SRM 156 dr 05; Cote : **303**  
Mots clé : OBSERVATIONS, SYNTHESE

## BUDAN

Météorologie.  
NANTES, 1782-1783  
Bibliothèque SRM 154 dr 11; Cote : **273**  
Mots clé : METEOROLOGIE

## BUDEAU

Météorologie.  
NANTES, 1782-1783  
Bibliothèque SRM 154 dr 11; Cote : **273**  
Mots clé : METEOROLOGIE

## CHANDON

Observations météorologiques et nosologiques.  
MONTDIDIER, 1791-1793  
Bibliothèque SRM 156 dr 04; Cote : **281**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## CHANDON

Observations météorologiques et nosologiques, et agriculture.  
MONTDIDIER, 1791-1792  
Bibliothèque SRM 155 dr 03; Cote : **281**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## CHANOINE

Observations météorologiques.  
GRENOBLE, 1783-1784  
Bibliothèque SRM 175 dr 04; Cote : **302**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## CHAPTAL J. A.

Mémoires de son oncle.  
MONTPELLIER,  
Bibliothèque SRM 198 dr 02; Cote : **260**  
Mots clé : RAPPORT

## COTTE Père

Observations faites au châteaux de Versailles.  
 VERSAILLES, 1787  
 Bibliothèque SRM 131 dr 14; Cote : 279  
 Mots clé : OBSERVATIONS, VERSAILLES

## CUEL

Effet du froid de l'hiver 1788-1789.  
 CLERMONT FERRAND, 1789  
 Bibliothèque SRM 158 dr 12 N°9; Cote : 274  
 Mots clé : FROID, HIVER 1788-1789

## DE LA MAZIERE

Observations météorologiques et nosologiques, Topographie.  
 POITIERS, 1775-1791  
 Bibliothèque SRM 184 dr 08; Cote : 272  
 Mots clé : OBSERVATIONS, TOPOGRAPHIE

## DE LAMAZIERE

Observations météorologiques et nosologiques, Topographie.  
 POITIERS, 1775-1791  
 Bibliothèque SRM 184 dr 08; Cote : 272  
 Mots clé : OBSERVATION, TOPOGRAPHIE

## DE LAMAZIERE

Réponses aux questions posées par le contrôleur général.  
 POITIERS, 1775  
 Bibliothèque SRM 184 dr 08; Cote : 272  
 Mots clé : QUESTIONNAIRE

## DE LAMAZIERE

Observations météorologiques et nosologiques.  
 POITIERS, 1791  
 Bibliothèque SRM 196 dr 03; Cote : 272  
 Mots clé : OBSERVATIONS

## DEHORNE

Journal médical militaire, Rapport de la SRM sur les principaux articles.  
 1781-1788  
 Bibliothèque SRM 154 dr 02; Cote : 266  
 Mots clé : JOURNAL, MILITAIRE

## DELABRE, SEGRETIER

Observations météorologiques.  
 CLERMONT FERRAND, 1784-1789  
 Bibliothèque SRM 155 dr 01; Cote : 263  
 Mots clé : OBSERVATIONS

## DELABRE, SEGRETIER

Météorologie.  
 CLERMONT FERRAND, 1788  
 Bibliothèque SRM 167 dr 13; Cote : 263  
 Mots clé : METEOROLOGIE

## DELARBRE Curé

Correspondance, constitution nationale.  
 CLERMONT FERRAND, 1783-1791  
 Bibliothèque SRM 184 dr 10; Cote : **263**  
 Mots clé : CORRESPONDANCE, CONSTITUTION

## DELARBRE Curé

Observations météorologiques (fragmentaires).  
 CLERMONT FERRAND, 1787-1790  
 Bibliothèque SRM 184 dr 10; Cote : **263**  
 Mots clé : OBSERVATIONS

## DELARBRE Médecin

Observations météorologiques.  
 CLERMONT FERRAND, 1785-1789  
 Bibliothèque SRM 155 dr 01; Cote : **263**  
 Mots clé : OBSERVATIONS

## DELARUE

Observations météorologiques et nosologiques, correspondance.  
 MAYENNE, 1779-1792  
 Bibliothèque SRM 192 dr 04; Cote : **275**  
 Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## DELARUE

Observations météorologiques et nosologiques.  
 MAYENNE, 1783-1791  
 Bibliothèque SRM 192 dr 04; Cote : **275**  
 Mots clé : OBSERVATIONS

Observations météorologiques faites au château de Versailles.  
 VERSAILLES, 1786-1787  
 Bibliothèque SRM 154 dr 14; Cote : **279**  
 Mots clé : OBSERVATIONS

## DEMARQUE

Réponses à l'enquête du ministère.  
 CLERMONT en Beauvaisis, 1775  
 Bibliothèque SRM 133 dr 21; Cote : **262**  
 Mots clé : QUESTIONNAIRE 1775

## DEMESTRE

Correspondance et météorologie.  
 LIEGE (BELGIQUE), 1781  
 Bibliothèque SRM 133 dr 22; Cote : **278**  
 Mots clé : CORRESPONDANCE, METEOROLOGIE

## DUFU

Observations météorologiques et nosologiques, Correspondance.  
 DAX, 1780-1791  
 Bibliothèque SRM 159 dr 03; Cote : **304**  
 Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## JEANCOURT prêtre

Observations météorologiques et nosologiques.  
 MONTMORENCY, 1783-1787  
 Bibliothèque SRM 154 dr 09; Cote : **283**  
 Mots clé : OBSERVATIONS

## KELLER

Observations météorologiques et nosologiques.  
HAGUENAU, 1780-1791  
Bibliothèque SRM 177 dr 04; Cote : **287**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## KELLER

Observations météorologiques et nosologiques, et correspondance.  
HAGUENAU, 1792-1793  
Bibliothèque SRM 120 dr 09; Cote : **287**  
Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## KELLER

Observations météorologiques.  
HAGUENAU, 1793  
Bibliothèque SRM 194 dr 20; Cote : **287**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## LE BOUTILLIER

Météorologie, mémoire des 5 années, Lettres SRM.  
TROYES, 1779-1783  
Bibliothèque SRM 191 dr 01; Cote : **276**  
Mots clé : CORRESPONDANCE, STATISTIQUES 5 ANS

## LE BOUTILLIER

Observations météorologiques, nosologiques et agriculture.  
TROYES, 1784-1788  
Bibliothèque SRM 191 dr 02; Cote : **276**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## LE PEC DE LA CLOTURE

Observations météorologiques et nosologiques.  
ROUEN, 1777-1790  
Bibliothèque SRM 162 dr 05; Cote : **284**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## LE PEC DE LA CLOTURE

Observations météorologiques et nosologiques.  
ROUEN, 1784-1787  
Bibliothèque SRM 152 dr 05; Cote : **284**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## LE PECQ DE LA CLOTURE

Observations météorologiques et nosologiques.  
ROUEN, 1784-1787  
Bibliothèque SRM 152 dr 06; Cote : **284**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## MAGNAN

Observations météorologiques.  
MARSEILLE, 1777-1779  
Bibliothèque SRM 176 dr 07; Cote : **300**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## MAHON

Observations et correspondances.  
CHARTRES, 1776-1790  
Bibliothèque SRM 176 dr 08; Cote : **544**  
Mots clé : OBSERVATION, CORRESPONDANCE

## MARET

Observations météorologiques.  
DIJON, 1782-1785  
Bibliothèque SRM 162 dr 07; Cote : **282**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## MARET, DURANDE

Historique météorologique et nosologique de l'année.  
DIJON, 1777-1780  
Bibliothèque SRM 166 dr 05; Cote : **291**  
Mots clé : HISTORIQUE

## MASSIE

Température des Landes, Correspondance.  
BORDEAUX HABAS, 1776-1778  
Bibliothèque SRM 195 dr 26; Cote : **296**  
Mots clé : TEMPERATURE, CORRESPONDANCE

## MEYER fils

Observations météorologiques.  
MULHOUSE, 1783-1784  
Bibliothèque SRM 162 dr 09; Cote : **286**  
Mots clé : OBSERVATION

## MEYER fils

Observations météorologiques.  
MULHOUSE, 1784-1786  
Bibliothèque SRM 166 dr 07; Cote : **286**  
Mots clé : OBSERVATION

## MOIGNON

Observations météorologiques, nosologiques et agricoles,  
Correspondance.  
CHALON SUR MARNE, 1785-1790  
Bibliothèque SRM 173 dr 12; Cote : **289**  
Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## PARTY

Observations météorologiques.  
BREST, 1788-1789  
Bibliothèque SRM 178 dr 17; Cote : **297**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## PERREAU

Observations météorologique et agriculture, Correspondance.  
FONTENAY LE COMTE, 1782-1789  
Bibliothèque SRM 183 dr 03; Cote : **261**  
Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## RAZOUX

Observations météorologiques et médecine.  
NIMES, 1784-1785  
Bibliothèque SRM 180 dr 09; Cote : **301**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## RETZ

Observations météorologiques et nosologiques.  
ARRAS, 1777  
Bibliothèque SRM 167 dr 09; Cote : **267**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## ROUDEAU prêtre

Observations météorologiques.  
MONTMORENCY, 1788-1789  
Bibliothèque SRM 154 dr 09; Cote : **283**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## SALADIN

Observations météorologiques, Correspondance.  
LILLE, 1781-1791  
Bibliothèque SRM 168 dr 05 N°3-12; Cote : **295**  
Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## SEGRETIER

Observations météorologiques.  
CLERMONT FERRAND, 1784-1789  
Bibliothèque SRM 155 dr 01; Cote : **263**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## SEGRETIER, DELARBRE

Observations météorologiques et agriculture envoyées par DELARBRE.  
CLERMONT FERRAND, 1787-1788  
Bibliothèque SRM 167 dr 13; Cote : **263**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## TERREDE

Observation météorologiques nosologiques et agricoles.  
L'AIGLE, 1784-1788  
Bibliothèque SRM 152 dr 02; Cote : **294**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## THIBAULT

Observations météorologiques, nosologiques et agricoles,  
Correspondance.  
DUNKERQUE, 1783-1791  
Bibliothèque SRM 154 dr 05; Cote : **293**  
Mots clé : OBSERVATIONS, CORRESPONDANCE

## VITALIS

Observations météorologiques.  
VIVIERS, 1777-1778  
Bibliothèque SRM 141 dr 35 N°1-12; Cote : **298**  
Mots clé : OBSERVATIONS

## X

Réponse enquête 1775, Températures.  
CLERMONT en Beauvaisis, 1772-1775  
Bibliothèque SRM 133 dr 21; Cote : **262**  
Mots clé : QUESTIONNAIRE 1775, TEMPERATURES

## X

Observations météorologiques et nosologiques.  
POITIERS, 1792  
Bibliothèque SRM 196 dr 03; Cote : **272**  
Mots clé : OBSERVATIONS





BIBLIOGRAPHIE COMPLEMENTAIRE
------------------------------

## Sources Manuscrites

ASSIER PERICA

Nouveau thermomètre pour les bains présenté à l'Académie.

Sans date

Bibliothèque S3C; Cote : **353**

Mots clé : THERMOMETRE

CHAPPE Abbé

Recueil de diverses pièces et mémoires sur le thermomètre et le baromètre.

Sans date (vers 1760)

Bibliothèque S3C; Cote : **143**

Mots clé : THERMOMETRE

HILDEBRAND HILDEBRANDSON Hugo

Lettres adressées à Léon TEISSERENC DE BORT.

UPSAL, 1893-1913

Bibliothèque SETIM; Cote : **256**

Mots clé : TEMPERATURE

X

Observations météorologiques faites à Pékin avec le thermomètre REAUMUR et LUBIN dans les années 1740.

Sans date

Bibliothèque SETIM; Cote : **362**

Mots clé : THERMOMETRE, HUBIN

## Sources imprimées

*\_ Ouvrages isolés contemporains*

- ALPHANDERY Marie Fernande  
 Dictionnaire des Inventeurs français.  
 Collection Seghers  
 NENDELM (Liechtenstein), Krausreprint, 1979  
 Bibliothèque CSI R19; Cote : **90**  
 Mots clé : INVENTEURS, DICTIONNAIRE
- BACCOT Maurice  
 Thermomètres à Liquide dans le verre.  
 Techniques de l'ingénieur, Mesures et contrôle, Fascicule R2530,  
 pages : 1-12  
 PARIS, 1969  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **77**  
 Mots clé : THERMOMETRES
- BARBERA Gasparo  
 Réimpression de l'édition nationale des oeuvres de Galileo GALILEI.  
 FLORENCE, G Barbéra, 1929  
 Bibliothèque Paris IV; Cote : **365**  
 Mots clé : GALILEE
- BARET J.  
 Tableau des unités de mesure Anciennes mesures Mesures étrangères.  
 PARIS, Vuibert, 1938  
 Bibliothèque S3C L36990; Cote : **22**  
 Mots clé : UNITES DE MESURE, ANCIENNES MESURES
- BARRELET James  
 Verre.  
 Encyclopédie Universalis, Vol 23, pages : 476-490  
 1989  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **374**  
 Mots clé : VERRE
- BERTRAND Gille  
 Histoire des techniques.  
 Encyclopédie La Pléiade  
 Gallimard, 1978  
 Bibliothèque CSI R18GILLB; Cote : **155**  
 Mots clé : HISTOIRE, TECHNIQUE
- BESSEMOULIN Jean, CLAUSSE Roger  
 Vents, nuages et tempêtes.  
 Plon, 1957  
 Bibliothèque S3C L1270; Cote : **121**  
 Mots clé : METEOROLOGIE
- BLONDEL Christine, PAROT Françoise,  
 Studies in the history of scientific instruments.  
 LONDRES, 1989  
 Bibliothèque CSI; Cote : **310**  
 Mots clé : INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES, SYMPOSIUM DE 1987

- BORDONOVE Georges  
 Les rois qui ont fait la France. HENRI IV.  
 PARIS, Pygmalion, 1981  
 Bibliothèque Mge 944.031 HEN; Cote : **264**  
 Mots clé : ROYAUTE, HENRI IV
- BRUNET P., MIELI A.  
 Histoire des sciences antiquité.  
 PARIS, 1935  
 Bibliothèque ; Cote : **02**  
 Mots clé : ANTIQUITE
- BYNUM W. F., BROWNE E.J. PORTER Roy  
 Dictionary of the history of science.  
 The Mac millan Press Ltd, 1983  
 Bibliothèque CSI; Cote : **94**  
 Mots clé : DICTIONNAIRE, HISTOIRE DES SCIENCES
- BYNUM W.F., BROWNE E.J., PORTER Roy  
 Dictionary of the history of science  
 The Mac millan Press, 1983  
 Bibliothèque CSI; Cote : **120**  
 Mots clé : TEMPERATURE, THERMOMETRE
- CASTELLOT André  
 Le calendrier de l'histoire.  
 PARIS, Lib Académique Perrin, 1984  
 Bibliothèque Mge; Cote : **128**  
 Mots clé : HISTOIRE, CALENDRIER
- CONGRES ILFA  
 La médecine et les Sociétés médicales de 1731 à 1820.  
 PARIS, Preprint, 1989  
 Bibliothèque Académie de Médecine 71 849; Cote : **290**  
 Mots clé : MEDECINE
- CROMBIE A.C.  
 Augustine to Galileo : The history of science.  
 CAMBRIDGE (USA), Harvard University Press, 1953  
 Bibliothèque ; Cote : **04**  
 Mots clé : HISTOIRE DES SCIENCES
- DAMIEN J.  
 De la météorologie télégraphique à la météorologie dynamique.  
 Météorologie nationale,  
 Bibliothèque S3C; Cote : **136**  
 Mots clé : HISTOIRE
- DANLOUX DUMESNILS  
 Du thermomètre de Florence au thermomètre de Lyon.  
 1961  
 Bibliothèque S3C; Cote : **21**  
 Mots clé : THERMOMETRE, XVIIè XVIIIè siècles
- DAUMAS Maurice  
 Les Instruments Scientifiques au XVIIe et XVIIIe siècles.  
 PARIS, PUF, 1953  
 Bibliothèque S3C L38334; Cote : **71**  
 Mots clé : INSTRUMENTS

- DAUMAS Maurice  
LAVOISIER théoricien et expérimentateur.  
PARIS, PUF, 1955  
Bibliothèque CSI; Cote : **314**  
Mots clé : LAVOISIER, BIOGRAPHIE
- DIDAY Edwin, LEMAIRE Jacques  
Eléments d'analyse des données.  
PARIS, DUNOD, 1985  
Bibliothèque SETIM/RED; Cote : **475**  
Mots clé : STATISTIQUES
- DUFOUR L.  
Les écrivains français et la météorologie. De l'âge classique à nos  
jours.  
BRUXELLES, Institut Royal de météorologie, 1966  
Bibliothèque Paris IV L32.752; Cote : **257**  
Mots clé : CORRESPONDANCES, ECRIVAINS
- DUVEEN Denis I., KLINKSTEIN Herbert S.  
A bibliography to the works of Antoine Laurent LAVOISIER 1743-1794.  
LONDON, 1954  
Bibliothèque CSI; Cote : **313**  
Mots clé : LAVOISIER, BIBLIOGRAPHIE
- EASTERLING David, PETERSON Thomas  
Techniques for detecting and adjusting for artificial  
discontinuities in climatological.  
12th conference on probability and statistics in the atmospheric  
sciences  
TORONTO, 1992  
Bibliothèque SETIM; Cote : **480**  
Mots clé : CLIMATOLOGIE, DISCONTINUITES
- FOLLAND Chris K., PARKER David E.  
The instrumental record surface temperature:how good is it...  
climate change variability.  
12th conference on probability and statistics in the atmospheric  
sciences  
TORONTO, 1992  
Bibliothèque SETIM; Cote : **483**  
Mots clé : CHANGEMENT CLIMATIQUE, TEMPERATURE SURFACE
- FRANKLIN Alfred  
Dictionnaire historique des arts, métiers et professions exercées  
dans Paris depuis le XIII<sup>e</sup> siècle.  
PARIS, 1906  
Bibliothèque CNAM 4° Ky 112, BN N399; Cote : **235**  
Mots clé : PROFESSIONS, METIERS OUVRIERS
- FUAD EFFENDI GEOFFRIN  
Nouvelle Biographie Générale depuis les temps les plus reculés  
jusqu'à nos jours.  
PARIS, DIDOT Frères, 1857-1866  
Bibliothèque Bg HOE 0.42; Cote : **88**  
Mots clé : BIOGRAPHIES

GEYMONAT Ludovico

Galilée. Traduit de l'italien par Françoise-Marie ROSSET. Ed  
originale, Turin, 1957  
Robert Laffont, 1968  
Bibliothèque Beaubourg 53(091)GALI; Cote : 24  
Mots clé : GALILEE

GLANSDORFF Paul

Thermique : Le rayonnement thermique, la conduction, la convection  
naturelle, forcée.  
Encyclopédie Universalis  
Universalis, 1990  
Bibliothèque SETIM; Cote : 477  
Mots clé : TEMPERATURE, RAYONNEMENT

HER MAJESTY'S STATIONERY

Handbook of meteorological instruments, Part 1 : instruments for  
surface observations.  
LONDRES, 1956  
Bibliothèque S3C; Cote : 363  
Mots clé : INSTRUMENTS

HILDESHEIM Georg Olms

Robert Boyle The works, Reprint de l'édition de Londres de 1772  
(The works of the honourable Robert Boyle)  
6 Volumes  
Birch Thomas, 1966  
Bibliothèque CSI; Cote : 142  
Mots clé : BOYLE

HOCQUET Jean Claude

Métérologie historique.  
Encyclopédie Universalis, vol 15, pages : 237-245  
1989  
Bibliothèque SETIM; Cote : 385  
Mots clé : METROLOGIE

INGLEBY N.B.

The new meteorological quality control System.  
12th conference on probability and statistics in the atmospheric  
sciences  
TORONTO, 1992  
Bibliothèque SETIM; Cote : 485  
Mots clé : QUALITE, CONTROLE

JAYAWARDJENE S.A.

Reference books for the historian of science.  
LONDRES, Science museum, 1982  
Bibliothèque CSI X022 REFERE; Cote : 124  
Mots clé : BIBLIOGRAPHIE, HISTOIRE DES SCIENCES

KINGTON John

The weather of the 1780s. over Europe.  
NEW-YORK, Cambridge University Press, 1988  
Bibliothèque S3C; Cote : 348  
Mots clé : RESEAUX D'OBSERVATION, XVIIIÈ SIECLE

KINGTON John

Daily weather Mapping for the 1780s.  
 Cambridge University Press, 1988  
 Bibliothèque S3C P4517; Cote : 435  
 Mots clé : RESEAUX D'OBSERVATION, XVIIIÈ SIECLE

KOYRE Alexandre

Etudes Galiléennes.  
 PARIS, Hermann, 1966  
 Bibliothèque Mge 509.02 KOY; Cote : 133  
 Mots clé : GALILEE

LACHATRE Maurice

Nouveau dictionnaire universel.  
 2 Tomes  
 PARIS, 1881  
 Bibliothèque SETIM; Cote : 324  
 Mots clé : DICTIONNAIRE

LENOBLE Robert

MERSENNE ou la naissance du mécanisme.  
 PARIS, Vrin, 1971  
 Bibliothèque CSI; Cote : 371  
 Mots clé : MERSENNE

MACCURDY Edward

Les carnets de Léonard de VINCI (traduit de l'italien par Louise  
 SERVICEN).  
 Collection Tel  
 Gallimard, 1942  
 Bibliothèque CSI; Cote : 177  
 Mots clé : VINCI

MATYASOVSKY Istvan

Non parametric regression methods for trend estimation of  
 climatological time series.  
 12th conference on probability and statistics in the atmospheric  
 sciences  
 TORONTO, 1992  
 Bibliothèque SETIM; Cote : 476  
 Mots clé : STATISTIQUES, CLIMATOLOGIE

MATTON Sylvain

FLUDD Robert 1574-1637.  
 Encyclopédie Universalis, pages : Vol 9, P557-559  
 PARIS, 1989  
 Bibliothèque SETIM; Cote : 552  
 Mots clé : BIOGRAPHIE, FLUDD

McCONNELL A.

Historical instruments in oceanography.  
 LONDRES, 1981  
 Bibliothèque CSI; Cote : 370  
 Mots clé : OCEANOGRAPHIE

Meteorological Office

Handbook of meteorological instruments, Part I : instrumrnts for  
 surface observations.  
 LONDRES, Met Office, 1956  
 Bibliothèque SETIM/QMR/ND; Cote : 97  
 Mots clé : INSTRUMENTS

## MICHAUD

Biographie universelle ancienne et moderne, Nouvelle édition.  
 PARIS, Desplaces,  
 Bibliothèque BEAUBOURG; Cote : **84**  
 Mots clé : BIOGRAPHIE UNIVERSELLE

## MIDDLETON William Edgard Knowles

Invention of the meteorological instrument.  
 BALTIMORE, John Hopkins Press, 1969  
 Bibliothèque BN 4 v 28943; Cote : **389**  
 Mots clé : INSTRUMENTS

## MINISTERE DES TRANSPORTS, MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT

Les données pluviométriques anciennes.  
 1991  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **493**  
 Mots clé : DONNEES PLUVIOMETRIQUES, MESURES ANCIENNES

## MONGE, CASSINI, BERTHOLON, HASSENFRATZ

Encyclopédie méthodique de physique.  
 PARIS, 1822  
 Bibliothèque CSI 2587; Cote : **53**  
 Mots clé : PHYSIQUE, THERMOMETRIE

## MONGE, CASSINI, BERTHOLON

Encyclopédie Méthodique de Physique.  
 PARIS, 1819-1822  
 Bibliothèque CSI RT510; Cote : **76**  
 Mots clé : PHYSIQUE

## MOUSNIER Roland

Histoire générale des civilisations, Tome IV les XVI<sup>e</sup> et XVII<sup>e</sup>  
 siècles, 1492-1715.  
 PARIS, PUF, 1954  
 Bibliothèque Mge; Cote : **212**  
 Mots clé : CIVILISATIONS

## NEEDHAM Joseph

La tradition scientifique chinoise.  
 Collection Savoir  
 Hermann, 1974  
 Bibliothèque Mge 509.71 NEF; Cote : **132**  
 Mots clé : CHINE

## NORWICH John Julius

Histoire de Venise. Traduit de l'anglais par B. BLANC et D. BROTOT.  
 PARIS, Payot, 1986  
 Bibliothèque Mge 945.31; Cote : **147**  
 Mots clé : VENISE, HISTOIRE

## OGILIVIE M.B.

Women in science : Antiquity through the nineteenth century.  
 The Mit Press, 1986  
 Bibliothèque CSI X0 241 OGILMB; Cote : **11**  
 Mots clé : BIOGRAPHIE, ANTIQUITE - XIX<sup>e</sup> SIECLE



OMM

Vocabulaire Météorologique international.  
 GENEVE, 1966  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **501**  
 Mots clé : VOCABULAIRE, METEOROLOGIE

PHILIPPE Joseph

Histoire et art du verre.  
 LIEGE, 1982  
 Bibliothèque CSI; Cote : **131**  
 Mots clé : VERRE

PIAGET Jean

Logique et connaissance scientifique.  
 Encyclopédie La pléiade  
 Gallimard, 1967  
 Bibliothèque CSI R12 LOGIQU; Cote : **156**  
 Mots clé :

POPPER Karl R.

La logique de la découverte scientifique. (Traduit de l'anglais par  
 Nicole THYSSEN-RUTTEN et Philippe DEVAUX).  
 PARIS, Payot, 1982  
 Bibliothèque Mge; Cote : **232**  
 Mots clé : SCIENCE, LOGIQUE

PREVOST, ROMAN D'AMAT

Dictionnaire de biographies françaises.  
 PARIS, 1954  
 Bibliothèque BN; Cote : **170**  
 Mots clé : BIOGRAPHIES, DICTIONNAIRE

PROCACCI Giuliano

Histoire des Italiens.  
 FAYARD, 1970  
 Bibliothèque Mge 945PRO; Cote : **191**  
 Mots clé : ITALIE

RATTANSI P.M.

Science and society 1600-1900.  
 University Press  
 CAMBRIDGE, Mathhias Pet, 1972  
 Bibliothèque CSI X081 MATHP; Cote : **125**  
 Mots clé : SCIENCE

SAMBURSKY S.

The physical world of the Greek.  
 1956  
 Bibliothèque ; Cote : **14**  
 Mots clé : GRECE ANTIQUE

SCHOOLEY James F. Ph D.

Thermometry.  
 BOCCA RATON (FLORIDE), CRC Press Inc,  
 Bibliothèque S3C L44612; Cote : **349**  
 Mots clé : THERMOMETRIE

## SCIENCE MUSEUM

Catalogue with historical notes.  
LONDRES, 1922  
Bibliothèque CNAM; Cote : 187  
Mots clé : INSTRUMENTS

## SHAW Napier

The drama of weather.  
CAMBRIDGE, University Press, 1940  
Bibliothèque Paris IV S1203; Cote : 258  
Mots clé : METEOROLOGIE

## SIGAUD DE LA FOND Joseph Aignan

Dictionnaire de physique.  
PARIS, 1781  
Bibliothèque CSI T383 1; Cote : 47  
Mots clé : PHYSIQUE, DICTIONNAIRE

## SNEYERS R.

Sur l'analyse statistique des séries d'observations.  
Note technique de l'OMM N° 143, OMM N° 415  
GENEVE, 1975  
Bibliothèque SETIM; Cote : 495  
Mots clé : STATISTIQUES, OBSERVATIONS

## SNEYERS R.

On the homogeneity of long series of observations.  
Proceeding 4th meeting on statistical climatology, pages : 21-23  
ROTORUA, 1989  
Bibliothèque S3C; Cote : 496  
Mots clé : CLIMATOLOGIE

## SOCIETE DE GENS DE LETTRES

Biographie universelle ou dictionnaire historique.  
PARIS, FURNE, 1833  
Bibliothèque CSI; Cote : 89  
Mots clé : BIOGRAPHIES

## THEVENOT Roger

Essai pour une histoire du froid artificiel dans le monde.  
PARIS, 1978  
Bibliothèque CSI; Cote : 311  
Mots clé : FROID ARTIFICIEL

## VITON Paul

Les abri météorologiques courants.  
Note interne  
TRAPPES, 1969  
Bibliothèque SETIM; Cote : 511  
Mots clé : ABRI

## WATSON Lyaall

Le souffle d'Eole, Traduit de l'anglais par Nicolas BALBO.  
PARIS, Ed française, 1984  
Bibliothèque S3C L43672; Cote : 129  
Mots clé :

YOUSCHKEVITCH Adolf

Les mathématiques arabes, VIII<sup>e</sup>-XV<sup>e</sup> siècles. Traduction française de CAZENAIVE M. et JAOUICHE K.

J. Vrin, 1976

Bibliothèque Mge 509 YOU; Cote : **134**

Mots clé : ARABE, MATHEMATIQUES

X

Température.

La grande encyclopédie, inventaire raisonné de sciences des lettres et des arts, pages : tome 30, 1209-1216

PARIS, 1885

Bibliothèque S3C 11570; Cote : **74**

Mots clé : THERMOMETRE

X

Encyclopédie Britannica

Bibliothèque CSI; Cote : **75**

Mots clé :

X

Enciclopedia Italiana Scienze Lettere ed arti.

ROME, 1949

Bibliothèque Bg 031.50 TRE; Cote : **91**

Mots clé : ENCYCLOPEDIE

X

Encyclopedia Americana.

Edition internationale, pages : 30 volumes

1983

Bibliothèque Bg 031.20 AME; Cote : **92**

Mots clé : ENCYCLOPEDIE

X

Thermodynamique.

Encyclopédie Universalis, vol 22, pages : 536-569

PARIS, 1989

Bibliothèque SETIM; Cote : **386**

Mots clé : THERMODYNAMIQUE, ATMOSPHERE

\_ *Ouvrages isolés*

BELVILLE John Henry

A manual of the Thermometer containing its history and use as a meteorological instrument.

LONDON (GB), Richard and John Edward Taylor, 1850

Bibliothèque S3C 294; Cote : 20

Mots clé : THERMOMETRE

BOLTON Henry Carrington

A select bibliography of chemistry 1492-1892.

WASHINGTON, Smittonaian, 1893

Bibliothèque BN R1605(3); Cote : 167

Mots clé : BIBLIOGRAPHIE, CHIMISTES

BOLTON Henry Carrington

A catalogue of scientific and technical periodicals 1665-1895 together with chronological tables and library check list (2<sup>e</sup> édition).

WASHINGTON, Smithsonian, 1898

Bibliothèque BN; Cote : 168

Mots clé : BIBLIOGRAPHIE, PERIODIQUES SCIENTIFIQUES

BOYLE Robert

The Works of the honourable Robert BOYLE in six volumes to which is prefixed the life of the author.

6 volumes

LONDRES, New Edition, 1772

Bibliothèque CSI; Cote : 157

Mots clé : TEMPERATURE, FROID

BREMONT DE

Transactions philosophiques de la Société Royale de Londres.

PARIS, 1739

Bibliothèque CSI; Cote : 36

Mots clé : PHYSIQUE, SOCIETE ROYALE DE LONDRES

CLERC Alexis

Physique et Chimie Populaires.

PARIS, JULES ROUFF,

Bibliothèque CSI; Cote : 72

Mots clé : PHYSIQUE

COTES R.

Leçons de physique expérimentale sur l'équilibre des liqueurs et sur la nature et les propriétés de l'air (Traduit de l'anglais par COTES).

PARIS, 1742

Bibliothèque CSI; Cote : 181

Mots clé : PHYSIQUE

DAGUIN P.A.

Cours de physique élémentaire avec les applications à la météorologie.

PARIS, Tandou et Cie, 1863

Bibliothèque CSI; Cote : 60

Mots clé : PHYSIQUE, BAROMETRE FORTIN

- DELUC J. A.  
Recherches sur les modifications de l'atmosphère.  
GENEVE, 1772  
Bibliothèque CSI; Cote : **51**  
Mots clé : TEMPERATURES, PRESSION ATMOSPHERIQUE
- FIGUIER Louis  
Principales découvertes scientifiques et modernes.  
PARIS, Langlois et Leclercq, 1858  
Bibliothèque CSI Q5 58462; Cote : **39**  
Mots clé : DECOUVERTES SCIENTIFIQUES
- GANOT A.  
Traité élémentaire de physique expérimentale et appliquée et de  
météorologie.  
PARIS, 1853  
Bibliothèque ; Cote : **43**  
Mots clé : THERMOMETRE, PHYSIQUE EXPERIMENTALE
- GEHLER Johann Samuel Traugott  
Physikalisches Wörterbuch (Dictionnaire de physique).  
LEIPZIG, 1825-1845  
Bibliothèque CSI; Cote : **50**  
Mots clé : DICTIONNAIRE, THERMOMETRIE
- GODWIN Joscelyn  
Robert FLUDD Philosophe hermetique et arpenteur des 2 mondes.  
Traduction de Sylvain MATTON  
  
Bibliothèque S3C; Cote : **82**  
Mots clé : FLUDD, THERMOMETRE
- GOUBERT  
Description et usage du baromètre thermomètre.  
PARIS, 1781  
Bibliothèque S3C DOC 306; Cote : **118**  
Mots clé : THERMOMETRE, BAROMETRE
- GRIMAUX Edouard  
LAVOISIER 1743-1794, Deuxième édition.  
PARIS, 1896  
Bibliothèque CSI; Cote : **312**  
Mots clé : LAVOISIER, BIOGRAPHIE
- GUILLAUME Ch. Ed.  
Traité pratique de la thermométrie de précision.  
PARIS, Gautiers Villars et fils, 1889  
Bibliothèque S3C DOC P31546; Cote : **119**  
Mots clé : THERMOMETRIE
- HENNERT  
Traité des thermomètres où il est parlé d'une nouvelle loi de  
chaleur propre à mesurer la dilatation des liqueurs.  
LA HAYE, 1758  
Bibliothèque BN 16 Ro 14515; Cote : **454**  
Mots clé : CHALEUR, MICHELI DUCREST

- LA HIRE philippe DE  
Mémoires de mathématiques et de physique.  
PARIS, Imprimerie Royale, 1694  
Bibliothèque Mazarine VI 302P; Cote : **146**  
Mots clé :
- LEUTMANN Johann Georg  
Instrumenta meteorognosiae inserventia.  
WITTENBERGAE, BG Zimmermann, 1725  
Bibliothèque S3C; Cote : **28**  
Mots clé : INSTRUMENTS
- MARISSETZ Etienne Claude  
Physique du monde.  
PARIS, Quillau, 1780  
Bibliothèque CSI; Cote : **61**  
Mots clé : PHYSIQUE
- MARTIN B.  
Philosophia Britanica or a new and comprehensive system of the  
Newtonian phylosophy astronomy and geography.  
LONDRES, 1771  
Bibliothèque CSI; Cote : **67**  
Mots clé : PHYSIQUE
- MUSSCHENBROEK Petrus VAN  
Introduction à la physique pour servir aux étudiants.  
Traduit du suédois par KLINGENSTIERNA S.  
STOCKHOLM, 1747  
Bibliothèque CSI; Cote : **42**  
Mots clé : PHYSIQUE
- MUSSCHENBROEK Petrus VAN  
Essais de physique avec un recueil d'expériences.  
Traduit du hollandais par Pierre MASSUET, pages : 2 tomes  
LEYDE (NL), 1751  
Bibliothèque CSI RT383-1; Cote : **37**  
Mots clé : PHYSIQUE
- MUSSCHENBROEK Petrus VAN  
Cours de physique expérimentale et mathématique, Traduit par M.  
SIGAUD DE LA FOND.  
LEYDE, Luchtman, 1769  
Bibliothèque CSI; Cote : **62**  
Mots clé : PHYSIQUE, THERMOMETRIE
- NELLI Giovanni Battista, Clemente  
Saggio di storia litteraria fiorentina del secolo XVII, scritta in  
varie lettere da Giovambatista Clemente NELLI.  
LUCCA, V. Giuntini, 1759  
Bibliothèque BN Z5859; Cote : **174**  
Mots clé : HISTOIRE FLORENTINE, XVIIè siècle
- NOLLET Jean Antoine Abbé  
Leçon de Physique Expérimentale.  
PARIS, GUERIN, 1745-1764  
Bibliothèque CSI RT383.9; Cote : **63**  
Mots clé : PHYSIQUE

OZNAM

Récréations mathématiques.  
 Firmin Didot, 1790  
 Bibliothèque CSI; Cote : **176**  
 Mots clé : THERMOMETRES, CONSTRUCTION

PARENT Antoine

Recherches de Mathématiques et de Physique.  
 PARIS, DELAUBRE, 1705  
 Bibliothèque CSI RT401.5; Cote : **64**  
 Mots clé : PHYSIQUE

PARROT G.F.

Entretiens sur la physique.  
 DORPAT, Université Imp.de Dorpat, 1819-1824  
 Bibliothèque CSI; Cote : **27**  
 Mots clé : PHYSIQUE

PERRAULT P &amp; C

Oeuvres Diverses de Physique et de Mecanique.  
 ALEIDE, PIERRE VANDER, 1721  
 Bibliothèque CSI T383.8; Cote : **65**  
 Mots clé : PHYSIQUE

PIERRE J. Isidore

Recherches sur la thermométrie.  
 CAEN, Leblanc Hardel, 1878  
 Bibliothèque CSI M650; Cote : **26**  
 Mots clé : THERMOMETRIE

POUILLET

Eléments de physique expérimentale et de méréorologie.  
 PARIS, 1844  
 Bibliothèque CSI; Cote : **35**  
 Mots clé : METEOROLOGIE, PHYSIQUE

POURIAU A.F.

Etudes sur l'exposition de 1867. Les appareils météorologiques  
 enregistreurs.  
 PARIS, 1868  
 Bibliothèque S3C; Cote : **234**  
 Mots clé : ENREGISTREURS, EXPOSITION 1867

RETZ Noël Dr

Météorologie appliquée à la médecine et à l'agriculture. Traité du  
 nouvel hygromètre.  
 PARIS, 1779  
 Bibliothèque BN; Cote : **308**  
 Mots clé : MEDECINE, HYGROMETRE

RETZ Noël Dr

Méetrologie appliquée à la médecine et à l'agriculture.  
 PARIS, Méquignon, 1779  
 Bibliothèque BN 8° tc689; Cote : **388**  
 Mots clé : METROLOGIE, MEDECINE

- REVERENO Dominique  
La Physique des Anciens.  
PARIS, J.B.COIGNARD, 1701  
Bibliothèque CSI RT401.3; Cote : 66  
Mots clé : PHYSIQUE
- ROZIER François Abbé  
Démonstrations élémentaires de botanique.  
LYON, 1766-1796  
Bibliothèque CSI; Cote : 56  
Mots clé : BOTANIQUE
- ROZIER François Abbé  
Introduction aux observations sur la physique sur l'histoire  
naturelle et sur les arts.  
PARIS, Le Jay Barrois, 1777  
Bibliothèque CSI; Cote : 57  
Mots clé : BOTANIQUE, PHYSIQUE
- ROZIER François Abbé  
Observations et mémoires sur la physique sur l'histoire naturelle et  
sur les arts.  
PARIS, 1777-1792  
Bibliothèque CSI; Cote : 59  
Mots clé : BOTANIQUE, PHYSIQUE
- SAVERIO POLI Giuseppe  
Elementi di fisica sperimentale.  
NAPLES, 1792  
Bibliothèque CSI M607; Cote : 68  
Mots clé : PHYSIQUE
- SCOTT Robert H.  
Instruction in the use of meteorological instruments.  
LONDRES, Meteorolgical Office, 1875  
Bibliothèque S3C 1794; Cote : 163  
Mots clé : INSTRUMENTS METEOROLOGIQUES
- SIGAUD DE LA FOND Joseph Aignan  
Essais sur différentes espèces d'air qu'on désigne sous le nom d'air  
fixe.  
PARIS, Gueffier, 1779  
Bibliothèque CSI RT383-1; Cote : 38  
Mots clé : AIR
- SIGAUD DE LA FOND Joseph Aignan  
Eléments de physique théorique et expérimentale.  
PARIS, 1787  
Bibliothèque CSI T383 1; Cote : 46  
Mots clé : PHYSIQUE, INSTRUMENTS METEO
- THENARD Louis Jacques  
Traité de chimie élémentaire théorique et pratique.  
PARIS, 1835  
Bibliothèque CSI; Cote : 306  
Mots clé : CHIMIE, POINTS FIXES



VENTURI Giovanni Battista

Memorie e lettere inedute finora o disperse... Parte I : 1857 à fin  
1616, Partie II : de fin 1616 à sa mort 1642.

MODENA, Ed Galilei, 1818-1821

Bibliothèque BN; Cote : **173**

Mots clé : GALILEE

## \_ Périodiques contemporains

- BEAUREPAIRE Michel  
 Dans le passé, Météo et médecine une union historique.  
 Bulletin d'information de l'association des anciens de la  
 météorologie N° 108, pages : 14-16  
 BOULOGNE, 1992  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **535**  
 Mots clé : SOCIETE ROYALE DE MEDECINE, HISTORIQUE
- BONNIER G.  
 La nouvelle échelle de température l'EIT-90.  
 Revue de métrologie pratique et légale, N°1, janvier, Tome 68  
 1990  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **373**  
 Mots clé : TEMPERATURE, ECHELLE
- BORDES Ph., NICOLAS N.  
 Antartique continent science.  
 Ca m'interesse, pages : 4-11  
 1992  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **479**  
 Mots clé : TERRES AUSTRALES
- BOULANGER M.  
 Les climats du passé.  
 La documentation française, N° 39, pages : 9-12  
 1977  
 Bibliothèque S3C L41337; Cote : **431**  
 Mots clé : CLIMATOLOGIE, VARIATIONS
- BROWN P.R.  
 Climatic fluctuation in the Greenland Norwegian Seas.  
 Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 79, pages  
 : 272-281  
 LONDRES, 1953  
 Bibliothèque S3C P0157; Cote : **505**  
 Mots clé : FLUCTUATIONS CLIMATIQUES
- BÜCHER A.  
 Longues séries de mesures de la température aux observatoires de  
 Toulouse, Pic du midi, Bordeaux, Floirac et Sântis.  
 La météorologie VIè série, N° 8, mars, pages : 213-219  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1977  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **200**  
 Mots clé : TEMPERATURE, LONGUES SERIES
- CERON Jean Pierre, DESROZIER Maryse  
 Les saisons thermiques en France.  
 Monographie de la Météorologie nationale N°5  
 BOULOGNE, M.N., 1992  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **490**  
 Mots clé : SAISON, TEMPERATURE

- CHARNEY J., HALEM M., JASTROW R.  
 Use of incomplete historical data to infer the present state of the atmosphere.  
 Journal of the Atmospheric Sciences, 26 (5, Pt.2), Septembre, pages : 1160-1163  
 BOSTON, MIT, 1969  
 Bibliothèque MGA 21-5; Cote : **430**  
 Mots clé : DONNEES ANCIENNES, COMPARAISON
- COCHETIERE P. de LA  
 Historique de la météorologie maritime.  
 MET MAR N°86, janvier, pages : 20-27  
 BOULOGNE, 1975  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **507**  
 Mots clé : METEOROLOGIE MARITIME, HISTORIQUE
- COCHETIERE Cdt de la  
 Historique de la météorologie maritime en France.  
 La météorologie, VI<sup>e</sup> série, N° 1, 2, 3, juin, septembre, décembre, pages : 129-137, 183-190, 213-216  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1975  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **207**  
 Mots clé : METEOROLOGIE MARITIME, HISTORIQUE
- CRUTCHER Harold L.  
 Le vent, les codes et l'amiral BEAUFORT, Traduit de l'anglais (Weatherwise, décembre 1975).  
 Bulletin d'information de la Météorologie nationale, N°36, juillet, pages : 21-23  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1977  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **411**  
 Mots clé : VENT, BEAUFORT
- DADY G.  
 Un météorologiste trop méconnu, le Vendômois Emilien RENO (1818-1902).  
 Bulletin d'information de la Météorologie nationale, N° 42, janvier, pages : 37-40  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1979  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **412**  
 Mots clé : TEMPERATURE, RENO
- DAMIENS J.  
 Quelques livres anciens.  
 La météorologie, VI<sup>e</sup> série, N° 27, décembre, pages : 99-110  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1981  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **203**  
 Mots clé : LIVRES ANCIENS
- DAMIENS Jacques, DESTRUEL Isabelle  
 La météorologie des philosophes et des savants.  
 Monographie N° 1  
 PARIS, Météorologie nationale, 1990  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **549**  
 Mots clé : PHILOSOPHES, XVIII<sup>e</sup> SIECLE

- DAVID P.  
 Contrôle de longues séries de données climatologiques par une  
 méthode d'homogénéité relative.  
 Note du SCEM N° 5  
 Météorologie nationale, 1992  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **471**  
 Mots clé : DONNEES ANCIENNES, CLIMATOLOGIE
- DETTWILLER J.  
 Les températures annuelles à Paris durant les 300 dernières années.  
 La météorologie VI<sup>e</sup> série, N° 25, juin, pages : 103-109  
 BOULOGNE, 1981  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **295**  
 Mots clé : TEMPERATURES, LONGUES SERIES
- DETTWILLER Jacques.  
 L'évolution séculaire de la température à Paris  
 La météorologie VI<sup>e</sup> série, N° 13, juin, pages : 95-130  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1978  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **199**  
 Mots clé : TEMPERATURE, HISTORIQUE
- DETTWILLER Jacques  
 Un météorologiste oublié... Louis COTTE.  
 La météorologie VI<sup>e</sup> série, N° 23, décembre, pages : 99-111  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1980  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **195**  
 Mots clé : COTTE Louis
- DETTWILLER Jacques  
 L'orage du 13 juillet 1788.  
 La météorologie VI<sup>e</sup> série, N° 24, mars, pages : 107-112  
 PARIS, Météorologie nationale, 1981  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **193**  
 Mots clé : ORAGE, 13 JUILLET 1788
- DETTWILLER Jacques  
 La loi de Buys Ballot.  
 La météorologie VI<sup>e</sup> série, N° 28, mars, pages : 61-70  
 PARIS, Météorologie nationale, 1982  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **192**  
 Mots clé : VENT, BUYS BALLOT
- DOBBE M.  
 Le bicentenaire de Lavoisier.  
 La Météorologie, 3<sup>e</sup> série, N° 46-48, Juillet-décembre, pages : 230-  
 231  
 PARIS, 1943  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **344**  
 Mots clé : LAVOISIER, BIOGRAPHIE
- DUFOUR L.  
 Les grandes époques de l'histoire de la météorologie.  
 Ciel et Terre, pages : 355-359  
 BRUXELLES, 1943  
 Bibliothèque S3C; Cote : **122**  
 Mots clé : HISTOIRE, METEOROLOGIE

- GUERLAC Henry  
 Memoir on heat (Lu à l'Académie des Sciences le 28 janvier 1783 par  
 LAVOISIER et LAPLACE.  
 NEW YORK, 1982  
 Bibliothèque CSI; Cote : **315**  
 Mots clé : CHALEUR
- HIGGINS W. F.  
 Changes of zero in spirit thermometers.  
 Professional note N° 51  
 LONDRES, Met Office, 1929  
 Bibliothèque S3C P1063; Cote : **81**  
 Mots clé : THERMOMETRES
- HUMBERT Pierre  
 Un météorologiste oublié, Jean Louis MORIN.  
 La météorologie, N° 119 Février, pages : 59-70  
 PARIS, Météorologie nationale, 1935  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **149**  
 Mots clé : MORIN, BIOGRAPHIE
- JONES Douglas Philip  
 Le climat des mille dernières années.  
 La recherche, N° 219, vol 21, mars, pages : 304-312  
 PARIS, 1990  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **213**  
 Mots clé : CLIMAT
- KARL Thomas, WILLIAMS Claude  
 An approach to adjusting climatological time for discontinuous  
 inhomogeneities.  
 Journal of climate and applied meteorology, Vol 26, N° 12, Décembre,  
 pages : 1744-1763  
 1987  
 Bibliothèque S3C; Cote : **498**  
 Mots clé : CLIMATOLOGIE
- KINGTON John  
 A late eighteenth century source of meteorological data.  
 Weather, 25, 4, pages : 169-175  
 Cambridge University Press, 1970  
 Bibliothèque S3C P1347; Cote : **382**  
 Mots clé : RESEAUX D'OBSERVATION, XVIIIÈ SIECLE
- LADURIE  
 Monarchie du XVIè siècle.  
 Historia N° 484  
 1987  
 Bibliothèque Mge; Cote : **102**  
 Mots clé : HISTOIRE, XVIè
- LAMB H.H.  
 Les fluctuations climatiques à long terme.  
 La météorologie, VIè série, N° 7, décembre, pages : 135-141  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1976  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **208**  
 Mots clé : FLUCTUATIONS CLIMATIQUES

- LANDSBERG H. E., ALBERT J. M.  
 Some aspects of global climatic fluctuations.  
 Archiv Für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie, Vol 23, N° 3,  
 pages : 165-176  
 1975  
 Bibliothèque S3C P1814C; Cote : **436**  
 Mots clé : CLIMAT, FLUCTUATIONS
- LANDSBERG H. E.  
 The early Wroclaw (Breslau) temperature observation 1710-1721.  
 Note technique BN 1003, Mai  
 MARYLAND, University of Maryland, College park, 1983  
 Bibliothèque S3C 4338A; Cote : **135**  
 Mots clé : TEMPERATURE, OBSERVATION
- LEGRAND J.  
 Les variations climatiques en Europe Occidentale depuis le moyen  
 âge.  
 La météorologie, VIè série, N° 16, mars, pages : 167-182  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1979  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **206**  
 Mots clé : VARIATIONS CLIMATIQUES, EUROPE OCCIDENTALE
- LEGRAND J. P.  
 Fluctuations météorologiques, vendanges et activité solaire  
 (première partie).  
 La météorologie VIè série, N° 9, juin, pages : 73-89  
 PARIS, Météorologie nationale, 1977  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **196**  
 Mots clé : BANC DES VENDANGES, ACTIVITE SOLAIRE
- LEGRAND J. P.  
 Fluctuations météorologiques, vendanges et activité solaire  
 (deuxième partie).  
 La météorologie VIè série, N° 12, mars, pages : 173-191  
 PARIS, Météorologie nationale, 1978  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **197**  
 Mots clé : BANC DES VENDANGES, XVIIIè SIECLE
- LEGRAND J.P.  
 Historique de l'Observatoire du Parc saint Maur.  
 La météorologie VIè série, N° 28, mars, pages : 71-79  
 BOULOGNE, Météorologie nationale, 1982  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **201**  
 Mots clé : PARC SAINT MAUR, HISTORIQUE
- LEGRAND Jean Pierre, LEGOFF Maxime  
 Les observations météorologiques de Louis MORIN.  
 Monographie N° 6, pages : 2 volumes  
 PARIS, Météorologie nationale, 1992  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **550**  
 Mots clé : OBSERVATEUR ISOLE, XVIIè SIECLE
- LITTIN Bud  
 Citizen weather observers.  
 Weatherwise, octobre, pages : 254-259  
 1990  
 Bibliothèque S3C; Cote : **331**  
 Mots clé : TEMPS

- MANLEY Gordon  
 Climatic variation.  
 Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 79, pages  
 : 185-209  
 LONDRES, 1953  
 Bibliothèque S3C P0157; Cote : **504**  
 Mots clé : VARIATIONS CLIMATIQUES
- MANLEY Gordon  
 A preleminary note on early meteorological observations in the  
 London Region 1680-1717 with estimates of the Monthly Means  
 temperature.  
 The meteorological magazine Vol 90, pages : 303-310  
 LONDRES, 1961  
 Bibliothèque S3C P0511; Cote : **540**  
 Mots clé : TEMPERATURE, XVIIÈ SIECLE
- MANLEY Gordon  
 Seventeenth century London. Temperature : Some further experiments.  
 Weather, vol 18, pages : 98-105  
 LONDRES, 1963  
 Bibliothèque S3C P1347; Cote : **539**  
 Mots clé : TEMPERATURE, XVIIÈ SIECLE
- McINTOSH D.H.  
 Annual recurrences in Edinburgh temperature.  
 Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol 79, pages  
 : 262-271  
 LONDRES, 1953  
 Bibliothèque S3C P0157; Cote : **506**  
 Mots clé : TEMPERATURE
- METEOROLOGIE NATIONALE  
 Un peu d'histoire.  
 La météorologie VIè série, N° 15, décembre, pages : 169  
 PARIS, Météorologie nationale, 1978  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **194**  
 Mots clé : BALLONS, TEISSERENC DE BORT
- NEUMANN J.  
 Great historical events that where significantly affected by the  
 weather : 2, the year leading to the revolutionj of 1789 in France.  
 Bulletin de l'American Meteorological Society, vio 58, févrirr,  
 pages : 63-168  
 AMS, 1977  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **407**  
 Mots clé : EVENEMEBNTS HISTORIQUES, TEMPS
- OLIVER J., KINGTON J.A.  
 The usefulness of ships' log-books in the synoptic analysis of past  
 climates.  
 Weather, 25, pages : 520-528  
 1970  
 Bibliothèque S3C; Cote : **393**  
 Mots clé : LIVRES DE BORT, CLIMAT

- PUEYO G.  
 La contribution de LAVOISIER à la météorologie. Les observations de  
 ses correspondants sur le grand froid de 1776.  
 Compte rendus des seances de l'Académie d'agriculture de France, vol  
 72, N°1,, pages : 103-109  
 1986  
 Bibliothèque S3C P0060C; Cote : **433**  
 Mots clé : LAVOISIER, FROID 1776
- REED Mary  
 Weather talk.  
 Weatherwise, octobre, pages : 274-276  
 1990  
 Bibliothèque S3C; Cote : **330**  
 Mots clé : TEMPS
- SALLES C., JOURQUIN Jacques  
 Le grand siècle de Rome. (Rome Aeterna, Rome au jour le jour, Rome  
 dans la mémoire des siècles).  
 Historia spécial N° 489, Septembre, pages : 2-126  
 1987  
 Bibliothèque Mge; Cote : **138**  
 Mots clé : ROME, IIÈ SIECLE APRES J.C.
- SNEYERS R.  
 Sur la détermination de l'homogénéité des séries climatologiques.  
 Journal scientifique de la météorologie, N° 28, pages : 359-372  
 1955  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **337**  
 Mots clé : HOMOGENEITE, CLIMATOLOGIE
- SNEYERS R.  
 Les séries climatologiques de Bruxelles Uccle, La vitesse moyenne du  
 vent.  
 Institut Royal Météorologique de Belgique, Série B N° 127, pages :  
 3-23  
 BRUXELLES, 1988  
 Bibliothèque S3C; Cote : **497**  
 Mots clé : VENT, CLIMATOLOGIE
- STASZAK Jean François  
 Naissance de la météorologie : Météores et cosmogonies  
 présocratiques.  
 La météorologie 8è Série N°1, mars, pages : 54-60  
 BOULOGNE, 1993  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **514**  
 Mots clé : HISTOIRE ANTIQUE, ANTIQUITE
- WAVRE Rolin  
 Galilee et le problème du temps.  
 Gesnerus fascicule 1, pages : 25-34  
 1943  
 Bibliothèque BN 8°T7200; Cote : **166**  
 Mots clé : GALILEE, TEMPERATURE
- X  
 Fahrenheit  
 Ciel et terre  
 1932  
 Bibliothèque S3C; Cote : **23**  
 Mots clé : THERMOMETRE, FAHRENHEIT



- X Les hommes du Roi 1774-1789. L'information manuscrite sous l'ancien Régime.  
Historia N° 504, Décembre  
1988  
Bibliothèque Mge; Cote : **139**  
Mots clé :
- X Rome antique.  
Historia N° 489  
1987  
Bibliothèque Mge; Cote : **109**  
Mots clé : HISTOIRE, ITALIE

## \_ Périodiques

ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES, LA HIRE DE  
 Sur un nouveau baromètre. Sur la dilatation de l'air. Observations  
 par M. de la HIRE. Description d'un nouveau baromètre.  
 Histoire et mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pages : 4-  
 13, 13-23, 77-80, 200-216  
 PARIS, 1708  
 Bibliothèque CSI; Cote : **70**  
 Mots clé : BAROMETRE, DILATATION

ACADEMIE ROYALE DES SCIENCES  
 Mémoires de mathématiques et de physique présentés à l'Académie  
 Royale des Sciences.  
 PARIS, 1776  
 Bibliothèque CSI 403 2; Cote : **48**  
 Mots clé : MATHEMATIQUES, PHYSIQUE

AMONTONS  
 Discours sur quelques propriétés de l'air et le moyen d'en connaître  
 la température dans tous les climats de la terre.  
 Mémoire de l'Académie Royale des Sciences, pages : 155-171  
 PARIS, 1702  
 Bibliothèque CSI; Cote : **210**  
 Mots clé : TEMPERATIURE, AIR

AMONTONS  
 Diverses observations de physique générale, échauffement de la boule  
 du thermomètre précédant l'échauffement du liquide.  
 Histoire de l'Académie Royale des Sciences, pages : 11  
 PARIS, 1704  
 Bibliothèque CSI; Cote : **214**  
 Mots clé : THERMOMETRE, PHYSIQUE

AMONTONS  
 Echauffement de la boule du thermomètre précédant celui du liquide  
 thermométrique.  
 Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pages : 75-80  
 PARIS, 1705  
 Bibliothèque CSI; Cote : **215**  
 Mots clé : THERMOMETRE, PHYSIQUE

ANGOT Alfred  
 Premier catalogue des observations météorologiques.  
 Annales du Bureau Central Météorologique, Année 1895  
 PARIS, 1897  
 Bibliothèque S3C; Cote : **130**  
 Mots clé :

ANGOT Alfred  
 Etudes sur le climat de la France : Températures, troisième partie :  
 Température moyenne.  
 Annales du BCM 1903, pages : 119-232  
 PARIS, 1907  
 Bibliothèque S3C P0610; Cote : **508**  
 Mots clé : TEMPERATURE MOYENNE, CLIMATOLOGIE

## ANGOT Alfred

Etude sur le climat de la France, Températures : 4ème partie  
 Températures extrêmes.  
 Annales du B.C.M. 1904, pages : 157-366  
 PARIS, 1908  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **474**  
 Mots clé : TEMPERATURES, EXTREMES

## BEZOUT, LAVOISIER VANDERMONDE

Expériences faites par ordre de l'Académie sur le froid de l'année  
 1776.  
 Mémoire de l'Académie Royale des Sciences, pages : 505-526  
 PARIS, 1777  
 Bibliothèque CSI; Cote : **184**  
 Mots clé : GRANDS FROIDS, 1776

## BREMONT DE

Tables des mémoires imprimés dans les transactions philosophiques de  
 la Société Royale de Londres depuis 1665 jusqu'à 1735.  
 Transactions philosophiques  
 PARIS, 1739  
 Bibliothèque S3C; Cote : **144**  
 Mots clé : TABLES, TRANSACTIONS PHILOSOPHIQUE

## BRISSON

Mémoire sur le rapport dans différentes densités d'esprit de vin.  
 Mémoire de l'Académie Royale des Sciences, pages : 433-  
 PARIS, 1769  
 Bibliothèque CSI; Cote : **188**  
 Mots clé : DENSITE, ESPRIT DE VIN

## BUYS BALLOT Dr C.H.D.

The anomalies in the annual range of temperature. How to detect  
 them.  
 Nature, avril, pages : 104  
 LONDRES, 1885  
 Bibliothèque SETIM; Cote : **378**  
 Mots clé : ANOMALIES THERMIQUES

## CASSINI Comte

Mémoire sur la température des souterrains de l'Observatoire Royal.  
 Mémoire de l'Académie Royale des Sciences, pages : 507-530  
 PARIS, 1786  
 Bibliothèque CSI; Cote : **185**  
 Mots clé : TEMPERATURE, SOUTERRAINS

## CHARLES

Essais sur les moyens d'établir une comparabilité sinon exacte, au  
 moins plus approchée que celle qu'on a obtenue jusqu'à présent.  
 Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pages : 567-574  
 PARIS, 1787  
 Bibliothèque CSI; Cote : **175**  
 Mots clé : THERMOMETRES, COMPARAISON

## CONNAISSANCE DES TEMPS

Observations du baromètre à Paris pour l'année 1678.  
 La connaissance des temps ou calendrier éphéméride, pages : Un  
 volume annuel  
 PARIS, Coignard, 1679  
 Bibliothèque CSI RT398 12; Cote : **25**  
 Mots clé : EPHEMERIDE

- COTTE Louis R.P.  
 Résultats des épreuves faites sur les dilatations et condensations respectives du mercure et de l'esprit de vin dans les thermomètres. Histoire de la Société Royale de médecine, pages : 322-324  
 PARIS, 1780  
 Bibliothèque CSI; Cote : **183**  
 Mots clé : DILATATION
- DELISLE  
 Observations du thermomètre faites pendant les grands froids en Sibérie.  
 Mémoires de mathématiques et de physique de l'Académie Royale des sciences, pages : 1-14  
 PARIS, 1749  
 Bibliothèque CSI; Cote : **150**  
 Mots clé : THERMOMETRE, OBSERVATIONS
- DENTON S.G.  
 On a new mercurial Minimum and Maximum thermometer.  
 Quaterly Journal of meteorological Society Vol 2, pages : 193-195  
 LONDRES, 1875  
 Bibliothèque S3C P0157; Cote : **528**  
 Mots clé : THERMOMETRE, MINI MAXI
- FENWICK W. Stow Rev  
 On temperature in Sun and Shade. An account of experiments made at Harpenden, Herts.  
 Quaterly Journal of meteorological Society Vol 1, pages : 146-154  
 LONDRES, 1873  
 Bibliothèque S3C P0157; Cote : **520**  
 Mots clé : TEMPERATURE, OMBRE ET SOLEIL
- HICKS J.J.  
 An improved vacuum solar radiation thermometer.  
 Quaterly Journal of meteorological Society Vol 2, pages : 99-102  
 LONDRES, 1875  
 Bibliothèque S3C P0157; Cote : **531**  
 Mots clé : THERMOMETRE
- HICKS J.J.  
 New forms of Alcohol thermometers.  
 Quaterly Journal of meteorological Society Vol 2, pages : 96-99  
 LONDRES, 1875  
 Bibliothèque S3C P0157; Cote : **532**  
 Mots clé : THERMOMETRE
- HIRE DE LA le fils  
 Dissertation sur les baromètres et thermomètres.  
 Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pages : 432-441  
 PARIS, 1706  
 Bibliothèque CSI; Cote : **217**  
 Mots clé : THERMOMETRE, BAROMETRE
- LA HIRE  
 Observation du baromètre du thermomètre positionnement emplacement du thermomètre.  
 Mémoire de l'Académie Royale des Sciences, pages : 711  
 PARIS, 1700  
 Bibliothèque CSI; Cote : **209**  
 Mots clé : THERMOMETRE, INSTALLATION

## MARALDI

Observations du baromètre et du thermomètre faites en différentes villes pendant l'année 1705.

Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pages : 12-12  
PARIS, 1706

Bibliothèque CSI; Cote : **216**

Mots clé : THERMOMETRE, OBSERVATIONS

## MESSIER

Mémoire sur le froid extraordinaire que l'on ressentit à Paris dans les provinces du Royaume et dans une partie de l'Europe au commencement de 1776.

Comptes rendus de l'Académie des sciences, Histoire, pages : 1-155  
PARIS, 1776

Bibliothèque CSI; Cote : **186**

Mots clé : FROID 1776

## MICHELI DUCREST

Description d'un thermomètre universel.

Acta Helvetica, pages : Volume III, 23-50  
BASLES, 1758

Bibliothèque BN R 5470; Cote : **240**

Mots clé : THERMOMETRE

## NEGRETTI H., ZAMBRA J.W.

On a new deep-sea and Recording thermometer.

Quarterly Journal of meteorological Society Vol 2, pages : 188-193  
LONDRES, 1875

Bibliothèque S3C P0157; Cote : **529**

Mots clé : THERMOMETRE, EAU PROFONDE

## PASTORELLI Francis

Errors of low range thermometers.

Quarterly Journal of meteorological Society Vol 2, pages : 407-411  
LONDRES, 1875

Bibliothèque S3C P0157; Cote : **525**

Mots clé : THERMOMETRES, ERREURS

## PLUMMER John

On some results of Temperature observations at Durham.

Quarterly Journal of meteorological Society Vol 1, pages : 241-246,  
et 264

LONDRES, 1873

Bibliothèque S3C P0157; Cote : **519**

Mots clé : TEMPERATURE, OBSERVATION

## REAUMUR

Règles pour construire des thermomètres dont les degrés soient comparables, et qui donnent des idées d'un chaud ou d'un froid qui puisse être rapporté à des mesures connues.

Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pages : 452-507  
PARIS, 1730

Bibliothèque S3C inclu dans 140; Cote : **561**

Mots clé : PHYSIQUE, THERMOMETRE

## REAUMUR

Expériences sur les différents degrés de froid qu'on peut produire en mêlant de la glace avec différents sels, ou avec d'autres matières.

Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, pages : 167-195  
PARIS, 1734

Bibliothèque CSI; Cote : **154**

Mots clé : TEMPERATURE, FROID

## ROBERT H., SCOTT F.R.S.

On the deep-sea Thermometer prepared under Admiral FITZROY's Superintendance.

Quarterly Journal of meteorological Society Vol 1, pages : 49-50  
LONDRES, 1873

Bibliothèque S3C P0157; Cote : **522**

Mots clé : THERMOMETRE, EAU PROFONDE

## ROZIER François Abbé

Journal de physique.

PARIS, Sans date

Bibliothèque BN; Cote : **58**

Mots clé : THERMOMETRIE, GRADUATION

## SIGAUD DE LA FOND Joseph Aignan

Calendrier intéressant pour l'année 1778, ou almanach physico économique.

Bouillon, 1778

Bibliothèque CSI RT399 12; Cote : **45**

Mots clé : ALMANACH, PHYSIQUE

## STOW Fenwick W.

The best form of thermometer stand.

Quarterly Journal of meteorological Society Vol 2, pages : 49-52  
LONDRES, 1875

Bibliothèque S3C P0157; Cote : **533**

Mots clé : ABRI

## SYMONS G.J.

On the Sensitiveness of thermometers.

Quarterly Journal of meteorological Society Vol 2, pages : 123-128  
LONDRES, 1875

Bibliothèque S3C P0157; Cote : **530**

Mots clé : THERMOMETRES, SENSIBILITE

## TRIPE John W.

Quelle est la meilleure construction des thermomètres à minima et à maxima.

Quarterly Journal of meteorological Society Vol 1, pages : 224-226  
LONDRES, 1873

Bibliothèque S3C P0157; Cote : **518**

Mots clé : THERMOMETRE, MINIMA MAXIMA

## X

Thermomètres.

Journal des savants

PARIS, 1665-1750

Bibliothèque BN; Cote : **169**

Mots clé : THERMOMETRE

- X      Connaissance des temps ou calendrier éphémérides.  
1682-1977  
Bibliothèque CSI;      Cote : **44**  
Mots clé : EPHEMERIDES
- X      Histoire de l'Académie Royale des Sciences 1666-1699.  
Académie Royale des Sciences, Tomes I et II  
PARIS, 1733  
Bibliothèque CSI;      Cote : **100**  
Mots clé : CHALEUR,      THERMOMETRE
- X      Histoire de l'Académie Royale des Sciences 1666-1699.  
Académie Royale des Sciences, Tomes III à X  
PARIS, 1733  
Bibliothèque CSI;      Cote : **101**  
Mots clé : CHALEUR,      THERMOMETRE

## BIBLIOGRAPHIE COMPLÉMENTAIRE

## FOND VICQ D'AZYR

Extrait du fichier du fond VICQ D'AZYR détenu par la bibliothèque de l'Académie Nationale de Médecine de Paris : Partie météorologie.

Le fichier ci-après, classé par médecin observateur, comprend les quelques références déjà citées. La totalité des fiches signalées montre l'ampleur de ce fichier.



VILLE	MEDECIN	LIBELLE	ANNEES
		OBS METEO- RESEAU DES OBS ENVOYEEES AVEC AUTEURS	1777 1778
ARMET	A?MET	REPONSE QUESTIONNAIRE 1775	1775
BARJOLS	ARNAUD	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1786
ASSELIN	ASSELIN	REPONSE QUESTIONNAIRE 1775	1775
	ASSEMBLEE NATIONALE	CREATION COMITE DE SALUTBRITE ASSEMBLEE NATIONALE	1790
PARIS	ASSIER	RAPPORT SUR THERMOMETRES POUR LES BAINS	
MANTOUE	ASTY Felix	OBS MED PRATIQUE-TOPOGRAPH MED-CONSTITUT.SAISONS	1776
NERECOURT	AUBRY	OBS METEO NOSOLO AGRICULTURE-CORRESP SRM	1784 1786
NERECOURT	AUBRY	OBS METEO NOSOLO AGRICULTURE-CORRESP SRM	1787
GARDES	AUDOUARD	CONSTITUTION ANNEE 1776-TEMP ET MALADIES	1776
CHALON/MARNE	AUCER	CONSTITUTION ANNEE 1786 ET 87-TEMP ET MALADIES	1786 1787
BILLOM	AVINEINT	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1779 1790
MIREBEAU	AYRAULT	OBS METEO NOSOLOGIQUES EFFET DU TONERRE	1775 1781
MIREBEAU	AYRAULT	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	
CREPY EN VALOIS	BAAR de la COSSAYE	LETTRE SUR LA MESURE ET LE MAGNETISME	
CREPY EN VALOIS	BAAR de la COSSAYE	GENERALITES SUR L'EMPIRISME : 2 LETTRES	1788
TOULON	BABBERET	METEOROLOGIE	1778 1779
ST BRIEUX	BAGOT	CONST METEO NOSOLOG CORRESPONDANCE	1777 1784
ST BRIEUX	BAGOT	METEO ET NOSOLOGIE	1777 1789
ST BRIEUX	BAGOT	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775
BRIGNOLES	BALLARDY	EFFET FROID HIVER 1788 1789	1788 1789
DIE	BARETY	UTILITE DE L'INSOLATION	1788
LUCON	BARON	OBSERVATIONS METEO	1777 1778
MONTLOUIS	BARRERA	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES LETTRES A LA SRM	1788 1789
MONTLOUIS	BARRERA	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES SUR L'AGRICULTURE	1783 1785
MONTLOUIS	BARRERA	OBS METEO	1779 1782
CHARTRES	BARRIER	CONSULTATION A LA SRM GRELE EN BEAUCE	1790
CLERMONT FERRAND	BASSIN	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1776 1783
CLERMONT FERRAND	BASSIN	REPONSE QUESTIONNAIRE 1775 ET RAPPORT	1775
BOURG EN BRESSE	BAUDOT	EFFET FROID HIVER 1788 1789	1788 1789
CHAROLLES	BAUDOT	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1788
	BAUDOT	HIVER 1785 TRES RIGOREUX	1785
CHAROLLES	BAUDOT	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1788
VIEILLEVIGUE	BAUDRY	OBSERVATIONS METEO	1787
VIEILLEVIGUE	BAUDRY	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1787
VENDOME	BEAUSSIER de la BOUCHARDIER	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1777 1782
ORLEAN	BEAUVAIS de PREAU	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1779 1784
	BEJAULT voir Le Merle	PREDICTIONS DU TEMPS	
VALENCE	BELLON	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775
MUNSTER	BELTZ	EFFET FROID HIVER 1788 1789	1788 1789
SULTZ	BELTZ	TOPOGRAPHIE MEDICALE + CARTE DE LA REGION	1787
VERCELS	BERGIER	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775
PERPIGNAN	BERINGO et AREGLADA	TOPOGRAPHIE MEDICALE HOPITAL MILITAIRE	1786
CREUSOT	BERNARD	OBSERVATIONS FORMATION DU SALPETRE	
ROZOY EN BRIE	BERTIN	TOPOGRAPHIE MEDICALE FERTE-MILON VILLARS COTERET	
ROZOY EN BRIE	BERTIN	EFFET FROID HIVER 1788 1789	1788 1789
NOZERROY	BESUCHET	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1785 1788
GUERET	BLANDIN DE LONGECHAUD	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775
	BLOM	OBSERVATIONS SUR L'ATMOSPHERE	1772 1773
DALECARLIE	BLOM	ATMOSPHERE ET MALADIES- VEGETATION OISEAUX	1777 1779
MUR DE BARREZ	BO	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775
MUR DE BARREZ	BO	CONST MEDICALE OBS METEO NOSOLOGIQUES	1777 1780
AVAILLES	BOGREAUDE LAFON	TOPOGRAPHIE MEDICALE D'AVAILLES LIMOUSINE	
DOLE	BOILLIN	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775
DOLE	BOILLIN	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET MEDICALES	1776 1777
COLLIOURE	BONAFOS	CONSTITUTION DES TEMPERATURES	1777
PERPIGNAN	BONAFOS	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES	1783 1784
ETAMPES	BONCERF	ORAGE DU 13 JUILLET 1788	1788
ETAMPES	BONCERF	TOPOGRAPHIE S. PUBLIQUE 30/08 1785	1785
ETAMPES	BONCERF	INDICATION METEOROLOGIQUES	1782 1784
HUREPOIX	BONCERF	TOPOGRAPHIE MEDICALE	
CHARTRES	BONCERF	TOPOGRAPHIE MEDICALE- LETRE FABRIQUER DES BAS	
AVIGNON	BONHOMME	LETTRE DU 27/07/1789 SUR LE FROID DE L'HIVER 89	1789
AVIGNON	BONHOMME	EFFETS DU FROID DE L'HIVER 1788 1789	1788 1789
MENDE	BONNEL de la BRAGERESSE	OBSERVATIONS METEO NOSOLOGIQUES- AGRICULTURE	1784
TOULON/ARROUX	BONNOT	TOPOGRAPHIE MEDICALE ET HISTORIQUE	

COUTANCES	BONTE	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
LUCON	BOQUET	TOPOGRAPHIE MEDICALE AVEC PLAN EN COULEUR	1787	
ANGLETERRE	BOUCERF	ORAGE 13/7/1788 QUI A COMMENCE LE 12/7	1788	
LILLE	BOUCHER	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES - CORESPONDANCE	1778	1790
MONTBRISSON	BOUCHETON	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
PEAUGRE	BOUEROT	BAROMETROGRAPHE ET INSTRUMENTS POUR OBS METEO	1787	1788
ARGENTAN	BOUFFEY	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
ARGENTAN	BOUFFEY	CONSTITUTION TEMPERATURES ET MALADIES 20 CAHIERS	1779	1785
ARGENTAN	BOUFFEY	RAPPORT SUR SA QUESTION AU QUESTIONNAIRE DE 1775		
ST MALO	BOUGOURD	OBSERVATIONS METEO NOSOLOGIQUES CORRESPONDANCE	1778	1787
ST MALO	BOUGOURD	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1778	1787
BEZIER	BOUILLET	RAPPORT SUR SA REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
QUINTIN	BOUNIEU	CONSTITUTION DES SAISONS ET MALADIES		
LUCON	BOUQUET	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
LUCON	BOUQUET	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1787	1790
	BOURBON L'ARCHAMBAUT	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
PARIS STANTOINE	BOURDON	ECHELLE POUR LE THERMOMETRE		
FALAISE	BOURGET	TOPOGRAPHIE MEDICALE		
FALAISE	BOURGET	OBS METEO - TOPOGRAPHIE MEDICALE	1782	
SAINTONGE	BOURIGNON	DOUBLE RECOLTE DE BLE EN SAINTONGE	1785	
LUCON	BOUSQUET	ETAT DU CIEL ET MALADIES- OBS METEO NOSOLOGIQUES	1786	1789
DRACUIGNAN	BOUSQUET de GASSENDI	OEUVRES		
MAUREPAS	BOUTEILLE	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE	1776	1784
MANOSQUE	BOUTEILLE	OBS METEO	1778	1784
MANOSQUE	BOUTEILLE	OBS METEO NOSOLOGIQUES ET AGRICOLES	1785	1786
CHOLET	BOUTILLER DELISLE	ATMOSPHERE-TOPOGRAPHIE MEDICALE-CORRESPONDANCE	1778	1786
TROYES	BOUTILLUER	METEOROLOGIE-OBS METEO NOSOLOGIQUES-LETTRE SRM	1779	1788
ARBOIS	BOUVENOT	QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
ARBOIS	BOUVENOT	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
LIMOGES	BOYER	QUALITE AIR - CONSTITUTION METEOROLOGIQUE	1776	1778
LIMOGES	BOYER	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775 ET RAPPORT	1775	
	BRENA IA	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1787	
VIENNE	BREQUIN HASSENFRATZ	OBS METEO	1783	
ARLES	BRET	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES NOSOLOGIQUES	1782	1788
DOLE	BRETON	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
ISSOIRE	BREY	TOPOGRAPHIE MEDICALE - METEOROLOGIE	1777	1785
AURILLAC	BRIEUDE de BROGNIARD	METEOROLOGIE à AURILLAC - EPIDEMIE COQUELUCHE	1779	
		OBS SUR AGRICULTURE ET LABOURAGE AVEC LES VACHES		
TRYE SUR BAISE	BRUN	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES - CORRESPONDANCE	1788	1792
TRYE	BRUN	OBS METEO NOSOL	1780	1790
AMBOISE	BRUNEAU	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES NOSOLOGIQUES	1783	
NANTES	BUDAN	METEOROLOGIE	1782	1783
NANTES	BUDEAU	METEOROLOGIE	1782	1783
BAPAUME	BUISSART	ORAGE DU 13 JUILLET 1788	1788	
ARRAS	BUISSART	OBS METEOROLOGIQUES- NOTICE SUR ORAGE 13/7/1788	1788	
ARRAS	BUISSART	ORAGE DU 13/7/1788	1788	
ARRAS	BUISSART	OBS METEO-CORRESP A VICQ D'AZYR-INVENT HYGROMETRE	1783	1793
ARRAS	BUISSART	OBS METEO ET AGRICULTURE-LETTRE 8 PRAIRIAL AN 2	1793	
AVIGNON	CALVET	CORRESPONDANCE AVEC LA SRM		
REALMONT	CARAYON	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
REALMONT	CARAYON	EFFETS DU FROID HIVER 1788 1789	1788	
PERPIGNAN	CARCASSONNE	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES NOSOLOGIQUES	1783	1785
PERPIGNAN	CARCASSONNE	CHALEUR DE L'HIVER 1783	1783	
PARAY LE MONIAL	CARMOY	TOPOGRAPHIE DE PARAY LE MONIAL	1789	
LUNEVILLE	CASTARA	CONSTITUTION - MEDECINE PRATIQUE	1783	1786
NOLAY	CATTIN	EFFETS DU FROID HIVER 1788 1789	1788	1789
ST PAUL 3 CHATEAUX	CAUDEIRE	METEOROLOGIE ET NOSOLOGIE	1780	1782
ST PAUL 3 CHATEAUX	CAUDEIRE	METEOROLOGIE	1781	1787
ST PAUL 3 CHATEAUX	CAUDEIRON	METEO ET NOSOLOGIE	1781	1792
MONTAUBAN	CAZE	LETTRE A LA SRM	1781	
MONTAUBAN	CAZE	FOND ET ETAT DU CIEL	1777	
MONTAUBAN	CAZE	METEOROLOGIE NOSOLOGIE - MALADIES	1776	1781
MONTAUBAN	CAZE	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	1777	1781
SELESTAT	CAZES	EFFET DU FROID DE L'HIVER	1778	1789
CREST	CHAISE	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
MONTDIDIER	CHANDON	METEOROLOGIE NOSOLOGIE - EPIDEMIES	1778	1791
MONTDIDIER	CHANDON	OBS METEO ET NOSOLOGIE	1791	1792
MONTDIDIER	CHANDON	OBS METEO ET NOSOLOGIE	1791	1793
MONTDIDIER	CHANDON	ORAGE DU 13 JUILLET	1788	
GRENOBLE	CHANOINE	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES NOSOLOGIQUES	1783	1784
MONTPELLIER	CHAPTAL J.A.	MEMOIRES DE SON ONCLE		
MONTDAUPHIN	CHARMEIL	METEOROLOGIE NOSOLOGIE A MONTDAUPHIN- EPIDEMIES	1883	1788

QUEYRAS	CHARMEIL	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
MONTDAUPHIN	CHARMEIL- ARBALESTRIER	METEO ET NOSOLOGIE	1783	1788
SALINS	CHARNAUX	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
WASCLONNE	CHARTOILLET	TOPOGRAPHIE MEDICALE D'ERSTEIN	1788	
MONTDIDIER	CHAUDON	OBSERVATIONS METEO NOSOLOGIQUES	1791	1792
MONTDIDIER	CHAUDON	OBSERVATIONS METEO NOSOLOGIQUES	1791	1793
SEEZ	CLAIREFONTAINES	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
SEEZ	CLAIREFONTAINES	RAPPORT SUR REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
CHAURIAC	CLEDIERE	TOPOGRAPHIE MEDICALE EPIDEMIE	1785	
VERDUESON	CLEDIERE	OBSERVATIONS METEO NOSOLOGIQUES	1786	
VERTAIZON	CLEDIERE	OBS METEO NOSOL	1786	
	CLERMONT (?)	REPONSE ENQUETE 1775- TEMPERATURES	1772	1775
ETAMPES	CLOZIER	ETAT DE L'ATMOSPHERE A ETAMPES	1781	
NIMES	CODOLET	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1786	
CASTELNAUDARY	COFFINIÈRES	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1787	
ST POURCAIN	COINCHON	CONSTITUTION METEO DEMANDE TITRE CORRESPONDANT	1788	1789
ABBEVILLE	COLEGE DES MEDECINS	RAPPORT DE PAULET SUR REPONSE AU QUESTIONNAIRE	1775	
EPINAL	COLIN	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1789	
	COMBRAILLE	HIVER ET PRINTEMPS- MALADIE HOMMES ET BETES	1777	
PERPIGNAN	COSDA	CORRESPONDANCE - AUREORE BOREALE	1777	1792
ST GINIEUX ROUERGUE	COSTY	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES	1784	
St GENIEZ	COSTY	OBS METEO	1784	
	COTTE	CORRESPONDANCE	1777	1788
VERSAILLES	COTTE	EXTRAIT OBS METEO FAITES AU CHATEAU ORDRE DU ROI	1787	
	COTTE	PLAN COUR OBS-OBS METEO-CONSTITUTION	1787	1788
LAON	COTTE	OBSERVATIONS METEO	1782	1783
St DIE	COTTE	NOTE SUR LETTRE DE RENAUT- AUREORE BOREALE	1787	
	COTTE	LETTRE PR REFUER PREDICTIONS TEMPE DE ETCHEVERY	1784	
	COTTE	RAPPORT SUR PREDICTION DU TEMPS DE LEMERLE	1783	1788
MONTMORENCY	COTTE	LETTRES ADD A THOURET SUR TBLX METEO & COND VIE	1787	1789
VERSAILLES	COTTE	OBS METEO PAR LE PERE COTE	1787	
HATTON VILLE	COUDRAY	TOPOGRAPHIE DISTRICT DOURDAN VALLEES RIVIERES PRODU	1791	
CASTELNAUDARY	COURDIATE	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
COURSEL	COURSEL Baron	OBSERVATIONS SUR L'HIVER 1788/1789	1788	1789
S'ELESTAT	COZES	EFFET DU FROID DE L'HIVER 1788/ 1789	1788	1789
	CREPY	TOPOGRAPHIE MEDICALE		
CLERMONT FERRAND	CJEL	EFFET DU FROID DE L'HIVER 1788/ 1789	1788	1789
	CYFFLE	NATURE CHGT VERRE EN PORCELAINE DE REAUMUR		
MILLAU	DALBIS	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
MILLAU	DALBIS	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
RIEUX	DARBAS	CORRESPONDANCE- DEMANDE D'HYGROMETRE THERMOMETRE		
RIEUX	DARBAS	LETTRE A LA SRM DU 2 AOUT	1790	
RIEUX	DARBAS	OBSERVATIONS METEO NOSOL SUR AGRICULTURE	1783	1790
BREST	DARTY	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE	1788	1789
MONCUQ	DAUDE	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
MONCUQ	DAUDE	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE	1772	1775
ROUEN	DAVID	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
POITIERS	DE LA MAZIERE	OBS METEO NOSOL, TOPOGRAPHIE	1775	1791
POITIERS	DE LAMAZIERE	OBS METEO NOSOL TOPOGRAPHIE	1775	1791
POITIERS	DE LAMAZIERE	REP QUESTIONS POSEES PAR LE CONTROLEUR GENERAL	1775	
POITIERS	DE LAMAZIERE	OBS METEO NOSOL	1791	
CUSSET	DEBREST	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
CUSSET	DEBREST	OBSERVATIONS METEO NOSOLOGIQUES	1756	1776
CUSSET	DEBREST	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
BASSONCOURT	DECHAUX fils	TOPOGRAPHIE MEDICALE EPIDEMIES	1787	
	DEHORNE	Jai MED MILIT-RAPPORT SRM SUR PRINCIPAUX ARTICLES	1781	1788
PARIS	DEHORNE	PLAN POUR TOPOGRAPHIE MEDICALE DE PARIS	1785	
CLERMONT FERRAND	DELABRE & SEGRETIER	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES	1784	1789
CLERMONT FERRAND	DELABRE & SEGRETIER	METEOROLOGIE	1788	
MONTBRISSON	DELACROIX	TOPOGRAPHIE PLAINE FOREZ-REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
	DELAPORTE Jean Jacques	RESUME DE SA CARRIERE		
CLERMONT FERRAND	DELARBRE curé	CORRESPONDANCE CONSTITUTION NATIONALE	1783	1791
CLERMONT FERRAND	DELARBRE curé	OBS METEO FRAGMENTAIRES	1787	1790
CLERMONT FERRAND	DELARBRE curé	RAPPT FOUCRAY, JUSSIEU: ESSAI ZOOLOGIQUE AUVERGNE		
CLERMONT FERRAND	DELARBRE medecin	OBS METEO	1785	1789
ARRAS	DELARSE	OBS METEO NOSOL	1776	1777
MAYENNE	DELARUE	OBS METEO NOSOL CORRESPONDANCE	1779	1792
MAYENNE	DELARUE Morice	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1792	1793
MAYENNE	DELARUE Morice	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1783	1791
CHERBOURG	DELAUNAY	TOPOGRAPHIE MEDICALE CONSTITUTION	1777	1789
CHALON / SAONE	DELOISY	TOPOGRAPHIE MEDICALE-INSALUBRITE SAONE MOISSAGE		
NANTES	DELPUECH	REPONSE AU QUESTIONNAIRE & CONSTITUTION	1772	1775

CLERMONT	DEMARQUE	REPONSE A L'ENQUETE DU MINISTERE	1775	
LIEGE	DEMESTRE	CORRESPONDANCE & METEOROLOGIE	1781	
LIMOGES	DEPERET DE MAURY	OBS METEO NOSOL	1781	
TOULOUSE	DEPEYRE	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
NEGREPELISSE	DERUSSY	REP ENQUETE 1775 SUR LA TEMPERATURE ET MALADIES	1775	
CASTELNAUDARY	DESARNAUD	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
MURET EN COMMINGE	DESCLAUX Claude Philippe	EFET DU FROID DE L'HIVER	1788	1789
MURET EN COMMINGE	DESCLAUX Claude Philippe	OBS METEO NOSOL	1782	1785
	DESESSARTZ	DIFFERENTS AVEC LA SRM & FAUTE DE LA SRM	1778	
LYON	DESGRANGES	EXP AEROSPATIALE MONGOLFIERE 19 JANVIER	1784	
LA ROCHELLE	DESTRAPIERES	TOPOGRAPHIE MEDICALE 56p		
NYONS	DEYDIER	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
NYONS	DEYDIER	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775 VILLE ET ENVIRONS	1775	
MOULIN	DIANNYERE de GARMIN	TONERRE GRELE BROUILLARD EN BOURBONNAIS	1783	
REMIREMONT	DIDELOT	CORRESPONDANCE & CONSTITUTION MED & ETE 1777	1771	1791
GUISE	DIEU	CORRESPONDANCE CONSTITUTION & METEO NOSOL	1778	1787
SOISSON	DIEU Claude	OBS METEO NOSOL	1776	1782
FRANCFORT	DINARRE	OBSERVATIONS METEO	1783	
CRECY	DOLIGNON	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
ST GILLES SURVIE	DORION	TEMPERATURES	1777	
ST GILLES/VIE	DORIOU	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
CLISSON	DOUBEIX	EFFET DU FROID DE L'HIVER 1788/ 1789	1788	1789
CLISSON	DOUBEIX	OBS METEO NOSOLOGIQUE ELECTRICITE	1780	1785
VERDUN SUR GARONE	DOUBLE	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
VERDUN SUR GARONNE	DOUBLET	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
FROLOIS	DOUCET	TOPOGRAPHIE MEDICALE DE POISEUL		
CAMBRAI	DRETCOURT	METEOROLOGIE	1780	
TOURS	DU PICHARD	TABL SUR MALADIES,ATMOSPHERE,RECOLTES DEPUIS 1739	1776	
TOULOUSE	DUBERNARD	LETRE DU 13/7 REPROCHE L'INCOMPETANCE DE LA SRM	1782	
TOULOUSE	DUBERNARD	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
CLISSON	DUBONEISSE	EFFET DU FROID DE L'HIVER 1788/89	1788	1789
MONTBRISSON	DUBOUCHET	TOPOGRAPHIE MEDICALE ET CONSTITUTION	1781	1783
	DUBOUSQUETde la ROCHEFOUCA	OBSERVATIONS METEO	1786	1787
VIRE	DUBUSC de la ROBERDIERE	CONSTITUTION MEDICALE	1777	
DAX	DUFAU	ORAGE DU 13/7/1788	1788	
DAX	DUFAU	EFFET DU FROID DE L'HIVER 1788/ 1789	1788	1789
DAX	DUFAU	OBS METEO NOSOL & REM RECH M. DE SEZE MED BDX	1780	1791
DAX	DUFAU	OBS METEO NOSOL	1791	
LOMBEZ	DUFAUR	TEMPERATURES ET MALADIES A LOMBEZ	1778	
ANTILES	DUFOUR	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET MEDICALES	1783	
BRIVES	DUFOUR	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
LOMBEZ	DUFOUR	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
NOYON	DUFOUR	OBS METEO NOSOL	1776	1777
BRIVE	DUFOUR - LAULERIE	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES	1783	1784
St FARGEAU	DUFOUR Charles Louis	TOPOGRAPHIE MEDICALE		
St FARGEAU	DUFOUR Charles Louis	OBS METEO MEDICALE EN MARTINIQUE		
NOYON	DUFOUR Jacques marie louis	EFFET DU TONERRE & OBS METEO NOSOL	1776	1777
NOYON	DUFOUR Jacques marie louis	OBS METEO NOSOL & MEDECINE PRATIQUE	1789	1790
TOURNUS	DUNAND	OBS METEO NOSOL	1791	
TOURNUS	DUNAND	OBS METEO NOSOL	1784	1793
RIEUX	DUPAN	OBS METEO NOSOL AGRICULTURE	1783	1790
CAHORS	DURAND	TOPOGRAPHIE MEDICALE-VINGNE VIN-CHASSE-PECHE		
St SATURNIN D'APT	EMPEREUR	OBS METEO NOSOL	1778	1789
St SATURNIN D'APT	EMPEREUR	HISTOIRE TOPOGRAPHIQUE MEDICALE		
CAMBRAI	FERRET	TABLEAU METEO NOSOL	1784	
BRIANCON	FERRUS	OBS METEO CONSTITUTION ATMOSPHERIQUE HIV 1778	1775	1788
D'ALIGRE	FERRY	CONSTITUTION METEO	1777	1778
VIVIERS	FLANGERGUES	OBS METEO EFFET DU TONNERRE	1757	1785
RODEZ	FLAUGERGUES	OBS METEO	1778	1785
RODEZ	FLAUGERGUES	EXTRAIT JAL TENUE PDT GD FROIDS JANV 1766,OBS MTO	1766	1769
DUNKERQUE	FOCKEY	OBS METEO ET NOSOLOGUES	1783	1786
AGEN	FONTFREDE	OBS METEO	1781	
EPOISSES	FORESTIER	OBS METEO NOSOL SUR TABLEAU, LETTRE DE 1785	1784	1787
BRIANCON	FORRUS	OBS METEO-CONSTITUTION ATMOSPHERIQUE -HIVER 1778	1775	1788
LAROQUEBROCE	FOUR DE BOURRIEU	REM SUR CONST ATM ET MED, CONSTITUTION HIVER 89	1783	1789
AVRANCHES	FRAIN de la BRETONNIERES	METEOROLOGIE EPIDEMIES	1775	1778
BESANCON	FRANCE	CONSTITUTION JUILLET A SEPTEMBRE	1776	
ECRON	FREBET	CONSTITUTION ATMOSPHERIQUE ET MEDICALE	1783	1786
ECRON	FREBET	ATMOSPHERE TEMPERATURES MALADIES,TROUBLES DE 178	1783	1789
ILE D'OLERON	FUSEE AUBLET	OBS METEO ILE D'OLERON, OBS METEO BREST	1775	1784
OLERON ILE D'	FUSEE, AUBLET	OBS METEO NOSOL	1775	1779
OLERON ILE D'	FUSEE, AUBLET	OBS METEO	1786	

MEZIN	CALLE	OBS METEO	1778	1787
MEZIN	CALLE	OBS METEO	1778	1787
CARCASSONNE	GALLET DUPLESSIS	METEO ET NOSOLOGIE HIVER	1778	
ST MAURICE leGIRARD	GALLOT	METEO	1776	
ST MAURICE LE GIRARD	GALLOT	OBS METEO ET RESUME	1776	
ST MAURICE LE GIRARD	GALLOT	OBS METEO	1778	1788
MARCON	GALPIN	CONSTITUTION MEDICALE ET METEO	1777	1778
MONTAUBAN	GATREAU	EFFET DU FROID HIVER	1788	1789
CHAMPAGNE	GELLE & MORETECOT	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
METZ	GENTIL	OBS METEO NOSOL AGRICULTURE	1791	1792
METZ	GENTIL	OBS METEO NOSOL	1783	1792
ANSCONNE	GERAULT	OBS METEO, MALADIES	1783	
JUILHAC	GERMIGNAC	EFFET FROID HIVER	1788	1789
MONCONTOUR	GOGUELIN	OBS METEO NOSOL	1782	1791
VILLEFRANCHE	GONTARD	CONSTITUTION METEO HIVER	1776	
VILLEFRANCHE	GONTARD	OBS METEO, TABLEAU TEMPE EN JANVIER	1776	1781
VILLEFRANCHE	GONTARD	OBS METEO NOSOL	1772	1775
VILLEFRANCHE	GONTARD	METEOROLOGIE	1781	
DOMBES LES	GOURION LORIN	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
MUR DE BARRY	GRAND	OBS METEO	1775	
MURDE BARREZ	GRAND	OBS METEO, TOPOGRAPHIE MEDICALE	1776	
MURDE BARREZ	GRAND	METEO ET NOSOLOGIE	1778	1780
NIMES	GRANIER	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE	1783	
NIMES	GRANIER	EFFET DU FROID HIVER 1788/89	1788	1789
NIMES	GRANIER	CONSTITUTION METEO A NIMES	1784	
DOL de BRETAGNE	GREFFIER	TOPOGRAPHIE MEDICALE ET HISTORIQUE	1784	
DOL DE BRETAGNE	GREFFIER	TOPOGRAPHIE HISTORIQUE ET MECICALE DE DOL		
LONS LE SAUNIER	GUYETANT	OBS METEO NOSOL AGRICULTURE	1783	1789
AUTUN	GUYTON Laurent et Bernard	OBS METEO NOSOL ET MED PRATIQUE	1788	1789
AUTUN	GUYTON Laurent et Bernard	MALADIES A AUTUN ET INFLUENCE DE L'ATMOSPHERE	1786	1790
POINT A PITRE	HAPEL de la CHENAYE	METEOROLOGIE	1790	
RAMSBONNE	HASSENFRATZ	OBS METEO	1783	
WOLFSBERG	HASSENFRATZ	OBS METEO	1783	1784
	HASSENFRATZ, & BREQUIN	OBS METEO A FALAISE, VIENNE FRANCFORT/MAIN	1782	1783
RAMSBONNE	HEINRICH	TOPOGRAPHIE MEDICALE, TABLES METEOROLOGIQUES	1771	1784
RATISBONNE	HEINRICH benédicthin	METEOROLOGIE	1771	1784
CHARLEVILLE	HENNEQUIN	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
AUXERE	HOUSSET et fils de FORBOIS	METEO NOSOLOGIE	1784	1785
AUXERRE	HOUSSET fils	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1784	1785
LORIGLE	HUET de la MARTINIERE	OBS METEO	1776	1777
HONFLEUR	HUREL	OBS METEO NOSOL	1788	1791
BAGNOLS	ICARD	CONSTITUTION METEO ET NOSOLOGIE	1782	1785
NANCY	JADELOT	MEM SUR L'ATMOSPHERE ET MALADIES, 27 FOLIO	1781	1782
MONTMORENCY	JEANCOUR prêtre	OBS METEO	1783	1787
MONTMORENCY	JEANCOUR prêtre	OBS METEO	1783	1787
ERNEE	JENOLRY	CONST METEO NOSOL, COURTE NOTICE PRINTEMPS AUTOMN	1777	1786
MONTMORENCY	JEORUCOUR prêtre	OBS METEO	1783	1787
PARIS LONDRES	JEURAT	JAL HAUTEUR EAUX TOMBEES A LONDRES, ET OBSdePARIS	1773	1777
HAGUENEAU	KELLER	OBS METEO NOSOL	1780	1791
HAGUENEAU	KELLER	OBS METEO NOSOL	1793	
HAGUENEAU	KELLER	METEO ET NOSOL	1782	1793
STRASBOURG	LA CHANSSE	TEMPERATURES, REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
TUNNEINS	LA PERCHE	OBS METEO NOSOL	1784	1785
ANCOULEME	LA ROCHE FOUCAULD	OBS METEO	1786	1787
TARNOS	LABORDE	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
STRASBOURG	LACHOUSSE	CONSTITUTION DES TEMPERATURES DE STRASBOURG		
ST ANTONIN	LACOMBE	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
ST ANTONIN	LACOMBE	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE	1777	1778
MONTIGNAC en PERIGO	LACOSTE	OBS METEO	1776	
	LAFOSSE	CLIMATS + INFLUENCES, DES PAYS CHAUDS St DOMINGUE	1787	
CHATEAUVILLAIN	LAGRESIE	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1788	
METZ	LALLEMANT	LETTRE RELATIVE A SES ENVOIS OBS METEOROLOGIQUES		
VIENNE	LAMANON Rbt Paul DE	OBS SUR LES VENTS QUI ONT REGNE	1777	
POITIERS	LAMAZIERE	ORAGE DU 13 JUILLET	1788	
CASTELNAU de BRASS	LANDHOIS	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
AVRANCHES	LANGARAN	OBS METEO	1781	1786
AVRANCHES	LANGARAU	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1782	1786
METZ	LANIAU	OBS SEULEMENT METEOROLOGIQUES	1783	1784
METZ	LARECEAU	OBS METEO JUIN 83 A MAI 84	1783	1784
ETCHEVERRY Jean	LARESSORE	PREDICTION TEMPE, METEOROLOGIE, QUADRATURE CERCLE	1783	
CASTELNAUDARY	LAROUQUE	METEOROLOGIE	1776	
TARASCON-ARLES	LAUDUN père et deux fils	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	1775	1784

TONNERRE	LE BOUTILLIER	EFFET DU FROID HIVER	1788	1789
TROYES	LE BOUTILLIERdel'ORATOIRE	EFFET DU FROID DE L'HIVER	1788	1789
BASSE TERRE	LE GAUX	OBS METEO COMMENCEES LE 3 FEVRIER	1782	
CALAIS	LE JAN	ORAGE DU 13/7/1788	1788	
CALAIS	LE JAN	EFFETS DU FROID HIVER 1788 1789	1788	1789
CALAIS	LE JAN	ORAGE DU 13 JUILLET	1788	
CALAIS	LE JAN	EFFET DU FROID HIVER	1788	1789
NANTES	LE MERLE	PREDICTION DU TEMPS, VENT TEL: PE,Abbé BEJAULT	1782	1783
ROUEN	LE PECQ DE LA CLOTURE	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
ROUEN	LE PECQ DE LA CLOTURE	OBS METEO NOSOL	1777	1780
ROUEN	LE PECQ de la CLOTURE	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	1784	1787
ROUEN	LE PECQ de la CLOTURE	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	1778	1780
BEAUNE Oratoire	LECOUSTURIER	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES ET AGRICOLES	1784	1785
OLERON	LE ROI	OBS METEO	1786	
ARGENTAT	LESTOURGIE	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1783	1785
LONDRES	LETTSON	CONSTITUTION HIVER,NOTICE SUR ORAGES DE MACGUER	1784	
	LIMBOURG Robert de	TABLES METEO DE JUIN	1777	
	LIMOUX	METEO ET NOSOLOGIE	1783	1784
CHINON	LINACIER	ETAT DU CIEL	1768	1769
THOISSEY	LORIN	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
	LORRAINE	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES		
GRASSE	LUCE	CONSTITUTION METEO ET MORBOLOGIQUE	1790	
NANTES	LUCIOEL le chartler de	HIVER 1776, 18° REAUMUR AU DESSOUS	1776	
LUNEVILLE	LUCON	METEOROLOGIE	1781	1790
DUNKERQUE	MAC NAMARA	OBS METEO	1781	1787
MARSEILLES	MAGNAN	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	1777	1779
BRAY SUR SEINE	MAGUET	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	1783	1784
CHARTRES	MAHON	CONST METEO ET MED,ORAGE 13/7/88,CORRESPONDANCE	1776	1790
NANCY	MAILLETTE	OBS METEO	1779	1781
VABRES en ROUERGUE	MALRIEU	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES SUR L'AGRICULTURE	1784	1785
BESANCON	MARCHANT	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES	1790	1791
BESANCON	MARCHANT	OBS METEO	1790	1791
BESANCON	MARCHANT	CORRESPONDANCE	1781	1791
DIJON	MARET	HISTOIRE METEO ET NOSOLOGIQUE A DIJON	1781	
DIJON	MARET	OBS METEO NOSOLOGIQUE AGRICULTURE		
DIJON	MARET	HISTOIRE METEO NOSOLOGIQUE	1777	1779
DIJON	MARET - DURANDES	HIST METEO NOSOLOGIQUE DE DIJON	1777	1779
CLERMONT FERRAND	MARQUE M de	RAPPORT SUR SA REPOSE AU QUESTIONNAIRE	1775	
CHATELLEREAULT	MARTINEAU	REP AU QUEST 1775, OBS METEO NOSOL	1780	1782
BORDEAUX,HABAS	MASSIE	CONSTITUT. MALADIE TEMP DES LANDES,CORRESPONDANCE	1776	1788
ROMANS	MASSOT	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
ROMANS	MASSOT	REPOSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775, TEMPERATURES	1776	
TRIES SUR BAISE	MAURI ?	OBS METEO	1791	
TRIE-SUR-BAISE	MAURIE (?)	OBS METEO NOSOL	1791	
BLANC le	MAYERUL TURQUET de mayene	TOPOGRAPHIE MEDICALE		
SOULTZ	MEGLIN fils	LETTRE 13 MAI: ORAGE AVEC POUSSIERE ECHANTILLON	1781	
BESANCON	MEILLARDET	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1785	1786
GRAY	MEILLARDET	OBS METEO	1776	
BESANCON	MEILLARDET	OBS METEO ET NOSOLOGIQUE	1785	1786
LUCON	MERLAUD DE CHAILLE	METEOROLOGIE, MEDECINE PRATIQUE		
LUCON	MERLAUD DE CHAILLE	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES DE L'ETE	1785	
LUCON	MERLAUD DE CHAILLE	OBS METEO NOSOL OCT-NOV	1785	
ST JEAN D'AREGELY	MESTADIER	REPOSE AU QUESTIONNAIRE	1775	
MULHOUSE	MEYER fils	OBS METEO NOSOL	1783	1784
MULHOUSE	MEYER fils	OBS METEO NOSOL ET AGRICULTURE	1784	1786
SIGNARINLEM	MEZLER	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE ET NOSOLOGIQUE		
BOISCASSON en DEMOI	MICHAU D'HARBOUVILLE	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	1783	1784
THIERS	MIGNOT de GENETE	CONSTITUTION ATMOSPHERIQUE ET NOSOLOGIQUE	1788	1789
THIERS	MIGUOT DE GENETY- NOYER	CONSTITUTION ATMOSPHERIQUE ET NOSOLOGIQUE	1788	1789
DOLE	MILLET	CONSTITUTION ATMOSPHERIQUE ET MEDICALE, HIVER	1776	
SAINT QUENTIN	MITTAG-MIDY von	REPOSE AU QUESTIONNAIRE PAR FORESTIER, EPIDEMIES	1775	
CHALON	MOIGNON	OBS METEO ET NOSOL,ESSAI ELEVATION VAPEURS DS ATM	1785	1790
LANGRES	MONTECOT	REPOSE AU QUESTIONNAIRE	1775	
LYON	MONTGOLFIER	LES EXPERIENCES AEROSTATIQUES A LYON		
BOURBONNE les BAINS	MONTRON et JUVET	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1778	1780
NEUVILLE SUR SAONE	MOREL	OBS METEO NOSOL LACUNES .	1789	1790
VILLEFRANCHE	MOREL	OBS METEO NOSOL	1790	1791
VILLEFRANCHE	MOREL	OBS METEO NOSOL	1783	1786
MAICHE	MOREL	REPOSE AU QUESTIONNAIRE	1775	
NEUVILLE	MOREL	OBS METEO NOSOL AGRICULT à VILLEFRANCHE,CORRESP	1783	1791
VILLEFRANCHE	MOREL	DISSERT SUR NECESSITE OBS METEO ds PRATIQUE MEDECINE		
MAYENNE	MORICE DE LARUE	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1792	1793

MAYENNE	MORICE DE LARUE	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1793	
MAYENNE	MORICE DE LARUE	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1791	
Gde COURBE des BOIS	MOUCIN	OBS METEO	1783	1788
CAUSSADE	MOULET	DESCRPTON TOPOGRAPHIQUE MED, PRISE D'ENCOURAGEMENT	1785	
CAUSSADE	MOULET	OBS METEO	1783	1790
MONTAUBAN	MOULET	EFET DU FROID HIVER	1788	1789
MONTAUBAN	MOULET	TOPOGRAPHIE MONTAUBAN		
MONTAUBAN	MOULET	OBS METEO NOSOL, CORRESPONDANCE	1790	
MONTAUBAN	MOULET- CATEREAU	EFFET DU FROID HIVER	1788	1789
MONTPELIER	MOURGE de MONTREDON	OBS METEO NOSOLOGIQUE AGRICULTURE	1782	
AGDE	MOUTON	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1778	1781
PROVINS	NAUDOT	OBS METEO EPIDEMIES	1779	1780
MULHOUSE	NEGER	OBS METEO NOSOLOGIQUE AGRICULTURE	1783	1784
MULHOUSE	NEGER	OBS METEO NOSOLOGIQUE AGRICULTURE	1784	1786
BIGORRE Comté de	NORMANDE	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1781	
LOURDES	NORMANDE	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE ET NOSOLOGIQUE	1782	1787
ST MAIXENT (Loudun)	NOSEREAU	OBS METEO NOSOL	1783	1792
CAUSSADE	NOULET	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1785	
CAUSSADE	NOULET	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES	1783	1790
LOUDUN	NOZEREAU	ORAGE DU 13 JUILLET 1788	1788	
	NOZEROY	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
BESANCON	OUDOT	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
BESANCON	OUDOT	TABLEAU DE BESANCON, TOPOGRAPHIE MED FRANCHE COM	1772	1775
BREST	PARTY	OBS METEO	1788	1789
	PAULET	RAPPORT SUR LES REP AUX QUESTIONNAIRES DE 1775	1775	
RIOM	PECHDEVILLENEUVE	OBS METEO	1788	
BEAUGENCY	PELLIEUX	OBS METEO NOSOL	1780	1781
STLAURENT de CHAMO	PEGAZ	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
TURIN	PERANDO	OBS METEO NOSOL	1780	
NOIRMOUTIERS	PERAUD de LA VRIGNAIS	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
TURIN	PERAUO	OBS METEO NOSOL, LETTRE DU 19 NOV 1785	1780	1785
MIRANDE	PEREZ	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
FONTENAY le COMTE	PERREAU	OBS METEO ET AGRICULTURE, CORRESPONDANCE	1782	1789
AVEZAC	PICQUE	DEMOGRAPHIE TOPOGRAPHIE METEOROLOGIE MALADIES	1755	1786
AVEZAC en NEBOUZAN	PICQUE	OBS METEO, METEOROLOGIE	1778	1780
MEZIERES	PIERRE	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
MEZIERES	PIERRE	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
	PIERRUGUET	VENTS DE LA PROVENCE		
MARANS	PINET	OBS METEO NOSOL	1791	
MARANS	PINET	OBS METEO NOSOL + AGRICULTURE	1791	1792
D'ALEGRE	PINET	OBS METEO	1783	1792
VIVIERS	PLANGERGUES fils	JAL GRAND FROID 1776, OBS METEO	1766	1776
VIRE	POLIVIERE de	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
VIRE	POLIVIERE de	TOPOGRAPHIE MED DE VIRE, OBS METEO NOSOL	1775	1780
BRUYERES	POMA	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES NOSOLOGIQUES	1781	1782
St DIE	POMA	CONTRIBUTION METEO ET MEDICALE	1783	
BRUYERE, NANCY	POMA Felix	OBS METEO NOSOL A BRUYERES, OBS A NANCY	1781	1792
PHALSBOURG	POMA Felix	OBS METEO PRATIQUE	1770	1779
COUTANCES	PONTE	CONSTITUTION NOSOLOGIQUES ET METEOROLOGIQUES	1775	
BLAMONT	PORIQUET	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE	1781	
NANCY	PORNA ?	OBS METEO NOSOL LACUNES	1783	1792
LANGRES	POULAIN DUFAY	OBS SUR LA VILLE, CLIMAT MALADIES		
MORTEAU	PRETRE	OBS METEO, REP QUESTIONNAIRE, TOPOGRAPHIE MED	1775	1776
MORTEAU	PRETRE Jean Baptiste	REP QUEST 1775? OBS METEO 1776	1775	1776
LORETTE	PREVOST	OBS METEO, RAPPORT	1779	1780
MONTAUBAN	PREVOST	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
GAYETTE	PREVOST	RAGE ET OBSERVATION METEO	1780	
MARANS	PRUET fils	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	1791	
MARANS	PRUET fils	OBS METEO ET NOSOLOGIQUES AGRICULTURE	1791	1792
CASTRES	PUJOL	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1776	
CASTRES	PUJOL	MEMOIRES OBSERVATIONS CORRESPONDANCE		
CASTRES	PUJOL	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
ORNANS	QUETAUD	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
SALON	R. DE PAUL DE LAMANON	OBS METEO, NOTICE SUR SALON	1779	
	RAYMOND	TOPOGRAPHIE MEDICALE		
MARSEILLE	RAYMOND	REP QUESTIONNAIRE 1775, CONSTITUTION METEO	1775	1777
St AFFRIQUE	RAYNAUD	REP QUESTIONNAIRE 1775 SUR IMPRIME	1775	
NIMES	RAZOUX	OBS METEO NOSOL	1781	1786
	REAUMUR	SES OBSERVATIONS, VOIR COTTE	1730	1731
LORME	REGNAULT	OBS METEO, CORRESPONDANCE	1789	1790
ANCENIS	RENOULT de RENOUVILLE	OBS METEO NOSOL	1786	1792
CASTEL SARRAZIN	RESSAGRE	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES NOSOLOGIQUES	1783	1785

CASTEL SARRAZIN	RESSAGRE	MAGNETISME ANIMAL - BROUILLARD - DYSSENTRIE	1783	
CASTEL SARRAZIN	RESSAYRE fils	OBS METEO + AGRICULTURE rares obs	1783	1785
NEW-YORK	RETIF DE LA SERVE	OBS METEO A NEW-YORK	1782	1784
ARRAS	RETZ	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1777	
	REVEL	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
VIENNE	REVOLAT	METEO, METEO NOSOL, TOPOGRAPHIE MEDICALE	1777	1783
BAZAS	RICHARD	ORAGE DU 13 JUILLET 1788	1788	
	RICHARD DE BAZAS	ORAGE DU 13 JUILLET 1788	1788	
NANTES	RICHARD DUPLESSIS	OBS METEO	1779	1783
CASTELNAUDARY	RIGAUD	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES - EPIZOOTIES	1783	1789
ST QUENTIN	RIGAUT	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
VIENNE	ROBERT DE PAUL DE LAMANON	LETTRE DU 11/1 SUR LES VENTS, OBS METEO	1779	
	ROBIN DE KERIAVALLE	METEO NOSOLOGIE	1783	1784
MONTLUCON	ROCHETE	CONSTITUTION METEO ET NOSOL	1778	1785
MONTLUCON	ROCHETE	CONSTITUTION HIVER 1778	1778	
MONTLUCON	ROCHETE	METEO ET NOSOLOGIE	1784	1785
MONTLUCON	ROCHETTE	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1784	1785
AURILLAC	ROQUIER	EFFET FROID HIVER 1788 1789	1788	1789
GRASSE	ROSSIGNOLY	OBS METEO 1783 ?, LETTRE 1787	1783	1787
LIMOUX	ROUCH	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE ET NOSOLOGIQUE	1783	1784
MONTMORENCY	ROUDEAU	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE ET NOSOLOGIQUE	1788	1789
MONTMORENCY	ROUDEAU	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1788	1789
MONTMORENCY	ROUDEAU	OBS METEO NOSOLOGIQUES	1788	1789
BESANCON	ROUGNON	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
ST LO	ROUXELIN DE FORMIGNY	OBS METEO NOSOL	1786	
SEVERAC LE CHATEAU	ROZIER	CONSTITUTION HIVER 1779	1779	
MONTPELLIER	ROZIER Jean Jacques	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
St MARCELIN	SABLIERE de la CONDAMINE	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
St MARCELIN	SABLIERE de la CONDAMINE	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
LILLE	SALADIN	OBS METEO NOSOL, CORRESPONDANCE	1781	1791
BARCELONE	SALVA COMPILLO	TRAVAUX METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES	1783	1789
BARCELONNE	SALVAYCAMPILLO	TABLEAUX METEO NOSOL EN LATIN	1783	1789
BARCELONNE	SALVAYCAMPILLO	TABLEAUX METEO NOSOL EN LATIN 20 PIECES	1783	1789
BRETEUIL	SEBIRE	EFFET FROID 1788/89-ORAGE DU 13/7/1788	1788	1789
CLERMONT FERRAND	SEGRETIER	OBS METEO	1784	1789
CLERMONT FERRAND	SEGRETIER	METEO ET AGRICULTURE ENVOYE PAR DELARBRE	1787	1788
LA ROCHELLE	SEIGNETTE	TEMPETE DU 17 JANVIER 1784	1784	
COLOGNES	SERRES	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
POLIGNY	SIDENIER	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
MOLSHEIM	SILBERLING	OBS METEO	1776	1777
MOLSHEIM	SILBERLING	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
MOLSHEIM	SILBERLING	METEO, REPONSE AU QUESTIONNAIRE 1775	1775	1777
MOLSHEIM	SILBERLING	METEO, REPONSE AU QUESTIONNAIRE 1775	1775	1777
PERTUIS	SILLOY	TEMPERATURES, CONSTITUTION MEDICALE	1772	1777
MOULINS	SIMARD	CONSTITUTION METEOROLOGIQUE	1789	
MOULINS	SIMARD	METEO ET MALADIES	1777	1786
MOULINS	SIMARD	REPONSE AU QUESTIONNAIRE	1775	
MOULIN	SIMART (D)	ATMOSPHERE ET MALADIES	1777	1786
MOULIN	SIMART (D)	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
GRAY	SIMONIN	TEMPERATURES ET MALADIES A GRAY	1786	
GRAY	SIMONIN	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
BOULOGNE / MER	SOUQUET	REP QUESTIONNAIRE 1775, RAPPORT	1775	
BOULOGNE / MER	SOUQUET	OBS METEO, RAPPORT QUEST 1775, CORRESPONDANCE	1775	1786
CALAIS	SOUVILLE	OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES NOSOLOGIQUES	1786	1788
STRASBOURG	SPIELMANN	OBS METEO SEULEMENT	1779	1780
STRASBOURG	SPIELMANN	OBS METEO	1778	
STRASBOURG	SPIELMANN	OBS METEO	1779	1780
TARASCON	ST ANDRE	METEO	1784	
DOMME	TAILLEFER	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
DOUAI	TARANGET	OBS METEO	1779	
PONTARLIER	TAVERNIER	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
PONTARLIER	TAVERNIER	TROIS LETTRES		
PONTARLIER	TAVERNIER	OBS METEO A PONTARLIER	1791	
PONTARLIER	TAVERNIER	OBS METEO, CORRESPONDANCE	1777	1793
PONTARLIER	TAVERNIER Père Florent	OBS METEO A GRAY, PONTARLIER AVEC AGRICULTURE	1780	1792
PONTARLIER	TAVERNIER Père Florent	OBS METEO NOSOL AGRICULTURE, PONTARLIER ET GRAY	1776	1787
PONTARLIER	TAVERNIER Père, Florent	OBS METEO	1791	
PONTARLIER	TAVERNIER Père, Florent	OBS METEO ET AGRICULTURE	1784	1792
PONTARLIER	TAVERNIER Père, Florent	OBS METEO	1779	1793
PONTARLIER	TAVERNIER Père, Florent	OBS METEO	1793	
RETHEL	TELINGE	OBS METEO NOSOL	1777	1779
RETHEL	TELINGE	OBS METEO	1779	



RETHEL	TELINGE	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
L'AIGLE	TERREDE	OBS METEO	1783	1784
LAIGLE	TERREDE	OBS METEO NOSOL	1784	1788
BONIEUX	TERRIS	REP QUESTIONNAIRE 1775	1775	
RAMBOUILLET	TESSIER Abbé	OBS METEO	1786	
RAMBOUILLET	TESSIER Abbé	CORRESP. ADRESSEE A LA SRM, AGRICULT. 46 pièces	1776	1792
DUNKERQUE	THIBAUT	ORAGE DU 13/7	1788	
DUNKERQUE	THIBAUT	OBS METEO NOSOL, CORRESPONDANCE	1780	1791
DUNKERQUE	THIBAUT	EFFET DU FROID HIVER 1788/89	1788	1789
CHAILLE LES MARES	TILLIER	TOPOGRAPHIE MEDICALE	1786	
BAYONNE	TISSENIER LAGRAVE	REPONSE QUESTIONNAIRE 1775	1775	
CAMBRAI	TRECOURT	METEOROLOGIE A CAMBRAI	1780	
CAMBRAI	TRECOURT	OBS METEO, CORRESPONDANCE	1776	1790
BASSOUES	TREILLE	METEOROLOGIE	1777	1778
BASSONES	TREILLE	CONSTITUTION METEO, EFFET DE LA Foudre	1777	1778
WASSY	TREVELOT	OBS METEO NOSOL AGRICOLES	1783	1787
	TURCOT	INSTIGATEUR DU QUEST, CITE PAR CHARMEIL DS MEMOIRE	1775	
LA CHATAIGNERAIE	VANDE	OBS METEO	1787	1788
BASSE TERRE	VERGNIES	OBS METEO NOSOL FAITES HOPITAL MILITAIRE	1784	1785
SEURRE	VERNERD	OBS METEO NOSOL	1783	1785
SEURRE	VERNEROL	OBS METEO NOSOL	1783	1785
COURRADE	VERNET	REP QUEST 1775 SUR FORMULAIRE	1772	1775
CALLAS	VERRION-PENNAFORT	OBS METEO	1776	
LE MANS	VEILLART DU RIBERT	REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
	VICQ D'AZYR	J'ai DEGRE DU THERMOMETRE PdT VOYAGE EN GUYANNE	1776	
	VICQ D'AZYR	MINUTES DE RAPPORT SUR REP QUEST; TOPOGRAP MED	1775	
	VICQ D'AZYR	MINUTES D'APPRECIATION MEMOIRES RELATIFS POITOU		
	VICQ D'AZYR	NOTES RELATIVES AUX REUNIONS		
	VICQ D'AZYR	NOTES MINUTES SUR L'EXTRACTION DES SALPETRES		
MARTIGUES	VIDAL	OBS METEO NOSOL	1776	1777
CHAMPAGNOLE	VILLAINÉ	OBSERVATIONS METEO NOSOLOGIQUES- MALADIES	1782	1787
CHAMPAGNOLE	VILLAINÉ DE	CONSTITUTION METEO NOSOL	1779	1780
GRENOBLE	VILLARS	EFFET DU FROID HIVER	1788	1789
VIVIERS	VITALIS	TBL METEO 3 PREMIERES SAISONS 1777, METEO AVR-JN	1777	1788
VIVIERS	VITALIS	OBS METEO	1777	1788
LYON	VITET	OPPOSITION ENVOIE A SRM FEUILLES HEBDO MTO NOSOL		
LYON	VITET Louis	REQUETTE AVEC PELETIN PUBLICATION HEBDO OBS MTO	1779	
OBERNAI	WANNER	OBS METEO NOSOL	1778	1779
AGDE		OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES	1778	1781
AGENAI		EPIZOOTIES RAPPORT VICQ D'AZYR		
ALSACE		REPONSE QUESTIONNAIRE 1775		
ANCENIS		METEOROLOGIE ET NOSOLOGIE	1786	1793
AUBENAS		TOPOGRAPHIE MED-OBS METEO ET NOSOLOGIQUES	1789	1790
		ORAGE DE JUILLET 1788 A ECLATE LE 4 JUILLET	1788	
		REPONSE QUESTIONNAIRE 1775	1775	
		GRELE 1790	1790	
BELLESME		REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
BESANCON		TOPOGRAPHIE MEDICALE	1780	
BONNIEUX		TOPOGRAPHIE elle compte 300 âmes		
BOUCAU		REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
		PLUSIEURS REPONSES AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
		TONNERRE- GRELE- BROUILLARD DU 10/6 AU 7/7 1783	1783	
		OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES ET NOSOLOGIQUES		
		REPONSE AU QUESTIONNAIRE: PARTIE DE LA BRESSE	1775	
BREST		MEDECINS DE LA MARINE		
BRUYERRES		TOPOGRAPHIE MEDICALE		
CAEN		OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES	1782	
CAMPO		TEMPERATURE DES ENVIRONS		
CAMBRAI		OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES	1779	1791
CASTELNAUDARY		TOPOGRAPHIE MEDICALE DE L'HOPITAL		
CASTELNAUDARY		MEMOIRE DES MEDECINS - TOPOGRAPHIE		
CASTRES		TONERRES		
CHALON/MARNE		REPONSE AU QUESTIONNAIRE DE 1775	1775	
CHANTRANS		REP AU QUEST AVEC RGTS SUR TOPOGRAPHIE MEDICALE	1775	
CHATAIGNERAIE		TOPOGRAPHIE MEDICALE		
CHAUVIGNY		ORAGE DU 13/7/1788	1788	
CHINON		TOPOGRAPHIE MEDICALE	1776	
CHOISI LE ROI		ORAGE DU 13/7/1788	1788	
CHOLET		TOPOGRAPHIE MEDICALE- EPIDEMIE	1783	
COPENHAGUE		OBSERVATIONS METEOROLOGIQUE	1779	
COURLON		TOPOGRAPHIE MEDICALE		
DRAGUIGNAN		METEORE EN JUIN	1783	

## INDEX DES PRINCIPAUX NOMS CITES DANS LA THESE

SAVANTS & MEDECINS	NAISSANCE	DECES	PAGE	Naissance	Décès
AMONTONS Guillaume	1663	1705	94		
ANGOT Alfred	1848	1924	196		
ANTINORI	1752	1865	60		
ANTONINI Danièlo	1588	1616	43		
ARAGO François	1786	1853	155		
ARISTOTE	384 av J.C.	322 av J.C.	32	Stagire	Chalcis
ARSANDAUX			127		
ASSIER PERICAT Antoine	c1771	1806	124		
BAGOT			327		
BALIANI Genoese			360		
BANNIER			378		
BARTOLO Sebastano	1635	1676	93		
BEECKMANN Isaac	1588	1637	358	Middlebourg	
BEGON			279		
BELLANI			154		
BERTI Gasparo			361		
BETALLI	c1800		127		
BIANCANI Giuseppe	1566	1624	40		
BLACK Joseph	1728	1799	71		
BOISSIER de la Croix S.F	1706	1776	101		
BORELLI Gianalfonso	1624	1679	109		
BOULLIAU Ismaël	1605	1691	75		
BOURBON André	c1752	1794	124		
BOYER			279		
BOYLE Robert	1627	1691	90		
BRODARD			127		
BUONO Candido del	1618	1676	110		
BUONO Paolo	1625	1662	110		
CAPPY	c1767	1780	124		
CAPRA Balthasar			31		
CASATI Pierre			103		
CASTELLI Benedetto	1577	1644	29		
CAVENDISH Lord Charles	1703	1783	155		
CELSIUS Anders	1701	1744	99		
CESARINI Ferdinando	1595	1624	29		
CHAPOTOT fils			121		
CHARLES Jacques	1746	1822	125		
CHAULNES Duc			125		
CHRISTIN Jean Pierre	1683	1755	103		
COLBERT Jean-Baptiste	1619	1683	120		
COMMANDINO Frédéric	1509	1574	23	Urbino	
COTTE Louis Père	1740	1815	82	Laon	

CTESIBIUS D'ALEXANDRIE	310 av J.C.	250 av J.C.	21		
DALEME			93		
DE LASSONNE			274		
DELISLE Jean Nicolas			98		
DELISLE Joseph Nicolas	1688	1768	98		
DELUC Jean André	1727	1817	126		
DESCARTES René	1596	1650	120		
DESNOYER			75		
DO			122		
DREBBEL Cornelius	1572	1633	28	Alkamaar	Londres
EKSTRÖM Daniel			102		
ESCRIVANO Jean			33		
ETIENNE			372		
FAHRENHEIT Gabriel Daniel	1686	1736	70		
FERDINAND II DE MEDICIS	1610	1670	61		
FERRIER Guillaume			121		
FLAUGERGUES Honoré	1755	1835	154		
FORTIN Nicolas	1750	1831	124		
FOURIER Joseph	1768	1830	168		
FRECOT			127		
GALIEN Claude	131	200 environ	24	Pergame	Rome ou Pergame
GALILEE Galileo	1564	1642	14	Pise	Arcetri
GONZAGUE Marie-Louise	1612	1667	75		
GRILLET			122		
GUILLERMET DE BERIGARD Claude	1591	1663	56		
HALLEY Edmond	1656	1742	90		
HARTSOENER Nicolas	1656	1725	122		
HASLER Joanes	1548		24		
HEER Henri Van			45		
HELMONT Jean Baptiste Van	1577	1644	45		
HERON D'ALEXANDRIE	1er siècle		23		
HILDEBRAND HILDEBRANDSSON Hugo	1838	1925	101		
HINDLEY Henri	1701	1771	125		
HOOKE Robert	1635	1703	88		
HORREBOW Peter	1679	1764	96		
HUBIN	c1673	1699	83		
HUYGGENS Christian	1629	1695	92		
JACQUES 1er, Roi d'Angleterre	1556	1625	43		
KARCHER Athanase			363		
KELVIN William Thomson Lord	1824	1907	72		
LA HIRE DE Gabriel Philippe	1677	1719	60		
LA HIRE DE Philippe	1640	1718	83		
LA VILLE			378		
LAVOISIER Antoine Laurent	1743	1794	125		
LE BAS Philippe Claude			121		
LE PEC DE LA CLOTURE			290		
LE VERRIER Urbin	1811	1877	86	Saint Lô	
LENOIR Etienne	1744	1831	124		
LEOPOLD Prince	1617	1675	80		
LEUROCHON Jean (VanETTEN)	1591	1670	45		
LIBRI Guillaume	1803	1869	49		
LIEUTAUD			274		
LINNE Charles DE	1707	1778	101		
LORICHON			127		

MAGALOTTI Lorenzo	1637	1712	77		
MAGIOTTI Raffael	1597	1648	361	Montevarchi	
MAIGNAN Emmanuel	1601	1676	363		
MARALDI Giacomo Filippo	1665	1729	90		
MARET			85		
MARIANI			77		
MARIOTTE Edme Abbé	1620	1684	90		
MARSILI Alessandro	1601	1670	109		
MARTIN			276		
MARTIN A VENTOR Georges			169		
MEDICIS Jean Charles			371		
MEDICIS Julien DE			44		
MEGNE			125		
MERSENNE Marin	1588	1648	55	La Soultière	Paris
MICHELI DU CREST Jacques B.	1690	1766	99		
MONCONYS Balthasar	1611	1665	57		
MORAY Robert		1673	92		
MORIN Louis	1635	1715	83		
MORONVAL			103		
MOSNIER			378		
MOSSY	c1780	1821	126		
MUSSCHENBROEK Jan Van	1687	1748	128		
MUSSCHENBROEK Samuel Joosten	1639	1681	128		
NAPOLEON III Empereur Charles Louis	1808	1873	86		
NARDI Antonio			361		
NELLI Giambattista	1661	1725	53		
NEWTON Isaac	1642	1727	93		
OLIVA Antonio	1624	1698	109		
PARCHAPPE			53		
PASCAL Blaise	1623	1662	59		
PERRIER Florin	1605	1672	59		
PERSON			155		
PHILON DE BYZANCE	300 av J.C.	xxx av J.C.	21		
PICTET			154		
				Vico	
PORTA Giambattista DELLA	1535	1615	26	Equense	Naples
QUARE Daniel			118		
RAZOUX			276		
REAUMUR René Antoine Ferchault de	1683	1757	70		
REDI Francesco	1626	1698	110		
REGNAULT Henri Victor	1810	1878	155		
RENALDINI Carlo	1615	1698	93		
RENOU Emilien	1815	1902	152		
REY Jean	1583	1654	47	Bugue	
RICCI Michelangelo	1619		363	Rome	
RICHER			126		
ROBERVAL Gilles	1602	1675	372		
ROEMER Ole	1644	1710	96	Copenhagen	
ROOKE L.	1623	1662	83		
SAGREDO Giovanni Francesco	1571	1620	45		
SANCTORIUS Sanctorius	1561	1636	15	Capo d'Istria	Venise
SEIGNETTE			85		
SHORTGRAVE Richard	1658	1681	119		
SNOW-HARRIS	1791	1867	169		
STEVENSON Thomas	1818	1887	170		

STEVIN Simon	1548	1620	359
SWINDEN VAN Jan Hendrik	1746	1823	105
TEISSERENC DE BORT Léon Philippe	1855	1913	101
	1575		
TELIOUX Bartolomeo	environ	1637	47
TERILLO Antonio	1623	1676	60
THEODOR Karl	1724	1799	85
THIBAUT			294
TORRE			127
TORRICELLI Evangélista	1608	1647	59 Faenza
TURGOT Anne Robert Jacques	1727	1781	276
VAILLANT Maréchal			86
VICQ D'AZYR Félix	1748	1794	272
VIVIANI Vicenzio	1622	1703	28
ZUCCHI Nicolas			363

## SIGLES ET ABREVIATIONS

- AFNOR** Association Française de NORmalisation
- BN** Bibliothèque Nationale
- CNAM** Conservatoire National des Arts et Métiers
- CSI** Cité des Sciences et de l'Industrie (La Villette)
- Mge** Bibliothèque municipale de Montrouge
- MSH** Maison des Sciences de l'Homme
- OMM** Organisation Météorologique Mondiale
- PUF** Presses Universitaires de France
- S3C** Service Central de la Communication et de la Commercialisation
- SETIM** Service des Equipements et des Techniques Instrumentales de la  
Météorologie
- SRM** Société Royale de Médecine

*Conditions normales* : Température égale à 273,15°K, pression atmosphérique égale à 1013,25 hpa.

*Emailleur* : Corporation d'ouvriers constructeurs de baromètres et de thermomètres. Ce titre leur a été attribué parce que la division graduée était inscrite sur une plaque de métal émaillée.

*Esprit de vin* : mélange d'eau et d'alcool ou d'eau de vie. Sa force, est son degré d'alcool.

*Faiseur d'instrument* : Ouvrier qui reproduisait des instruments de météorologie et d'astronomie.

*Impétuosité* : Avec force.

*Liqueur* : On appelait ainsi les liquides utilisés dans les laboratoires de physique.

*Machine* : On appelait ainsi un appareil ou un instrument qui présentait un mouvement. L'eau du thermoscope est mise en mouvement sous l'effet de la chaleur.

*Marche des thermomètres* : fonctionnement des thermomètres.

*Points fixes* : Température correspondant à un changement d'état des corps. Ces températures fixes sont utilisées pour graduer les thermomètres.

*Revivifier du mercure* : le rendre pur.

*Terme de la glace* : Température du point de fusion de la glace.

*Terme de l'ébullition* : Température du point d'ébullition.

## ILLUSTRATIONS DE LA THESE

Fig.	Page	Libellé
1.1	18	Le Thermomètre à air "thermoscope italien".
1.2	19	Le thermomètre à air, thermoscope à deux bulbes dit "le Dutch".
1.3	22	Le premier appareil sensible au chaud et au froid de PHILON DE BYZANCE.
1.4	25	Echelles de températures selon HASLER.
1.5	27	Illustration de l'expérience d'HERON D'ALEXANDRIE d'après PORTA.
1.6	30	Reproduction de l'instrument de GALILEE montrant les variations de chaleur.
1.7	33	L'expérience de la cornue de DREBBEL.
1.8	35	Repérage des dilatations maximales des volumes d'air par PORTA.
1.9	40	Première publication imprimée du thermoscope de SANCTORIUS en 1620.
1.10	41	Thermoscope de SANCTORIUS en 1625.
1.11	42	Thermoscopes à usage médical de SANCTORIUS.
1.12	45	Mouvement perpétuel de DREBBEL.
1.13	46	Les deux types de thermoscopes.
1.14	48	L'instrument décrit par TELIOUX.
1.15	50	Reproduction du thermomètre de Bartholomeo TELIOUX.
1.16	54	Thermoscope à deux bulbes réalisé dans les ateliers du SETIM Trappes.
1.17	56	Thermoscope décrit par BERIGARD en 1643.
1.18	58	Thermomètres dit "paresseux".
1.20	61	Série de 12 thermomètres Florentins 50 degrés sur support bois.
2.1	74	Premier réseau d'observations météorologiques institué par FERDINAND II.
2.2	76	Les expériences au Palais Pitti.
2.3	78	Thermomètres de l'Académie del Cimento.
2.4	79	Thermomètre à mercure 600 degrés de Florence.
2.5	84	Le journal d'observations de Louis MORIN.
2.6	99	La division centésimale de REAUMUR.
2.7	100	Thermomètre envoyé par DELISLE à CELSIUS en 1737.



2.8	102	Extrait de la lettre de HILDEBRAND HILDEBRANDSSON du 14 février 1897.
2.9	104	Le thermomètre de Lyon de CHRISTIN présenté le 19 mars 1743.
2.10	106	Quelques thermomètres en usage à la fin du XVIII <sup>e</sup> siècle.
3.1	117	Un cabinet de physique à la fin du XVIII <sup>e</sup> siècle.
3.2	126	Machine à diviser les lignes droites du duc de CHAULNES.
3.3	134	Grille à chauffer les thermomètres.
3.4	139	Matras utilisé par REAUMUR pour mesurer la force de l'esprit de vin.
3.5	141	Les mesures utilisées par REAUMUR pour étalonner son thermomètre.
3.6	143	Le thermomètre de REAUMUR.
3.7	143	Dispositif pour obtenir la congélation de l'eau.
3.8	149	Tableau de comparaison pour XXVII thermomètres.
3.9	150	Tableau de quelques observations thermiques principales.
3.10	151	Tableau de comparaison pour quelques thermomètres.
3.11	156	Détermination du point d'ébullition dans la vapeur d'eau bouillante.
3.12	60	Thermomètre d'usage courant dans les années 1990.
4.1	166	Abri météorologique utilisé actuellement en France.
4.2	168	Illustration de l'écran pour thermomètre, de MARTIN a VENTOR.
4.3	169	Premier abri fermé avec des parois en persienne de SNOW-HARRIS.
4.4	170	Les deux modèles d'abri en utilisation à la fin du XIX <sup>e</sup> siècle.
4.5	172	Thermomètre fixé sur un mur orienté au nord.
4.6	178	Fixation des thermomètres sur le mur d'un bâtiment orienté au nord.
4.7	179	Plan de l'Observatoire de Trappes.
4.8	195	Histogramme des corrections à effectuer. Toutes observations.
4.9	197	Moyennes, pour chaque mois, des corrections à effectuer. Toutes obs.
4.10	201	Histogramme des corrections à effectuer. Températures minimales.
4.11	201	Histogramme des corrections à effectuer. Observations instantannées.
4.12	202	Histogramme des corrections à effectuer. Observations instantannées.
4.13	202	Histogramme des corrections à effectuer. Températures maximales.

4.14	214	Correction sur les mesures effectuées suivant l'heure des observations.
4.15	220	Histogramme après ajustement des données observées à l'air libre.
4.16	251	Tableau de comparaison de deux échelles thermométriques.
5.1	276	Tableau quotidien de l'hôpital de Nîmes.
5.2	283	Postes d'observations météorologiques à la fin du XVIII <sup>e</sup> siècle en France.
5.3	285	Feuille mensuelle d'observations de la Société Royale de Médecine, recto.
5.4	286	Feuille mensuelle d'observations de la Société Royale de Médecine, verso.
5.5	292	Fiche de renseignements sur les postes d'observation pour la température.
5.6	297	Carte des postes d'observation météorologique, stations d'étude.
5.7	307	Découpage climatique de la France avant étude des régions thermiques.
5.8	309	Carte de synthèse des régions thermiques en France.
5.9	311	Stations d'observation en France, Région thermiques 3 et 16.
5.10	314	Comparaison des moyennes estivales des températures.
5.11	316	Comparaison des moyennes hivernales des températures.
5.12	328	Postes d'observation en Bretagne.
5.13	329	Evolution des températures estivales à Saint-Brieux, Saint-Malo et Nantes.
5.14	331	Températures moyennes mensuelles observées en Bretagne : 1776-1789.

TABLE DES MATIERES
--------------------

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
Notes de renvoi.....	10
Repérages chronologiques.....	11
 <b>1- LA DOUBLE INVENTION DU THERMOMETRE (DEBUT DU XVIIè siècle) ..</b>	 <b>14</b>
1.1 Le premier appareil sensible au chaud et au froid	21
1.2 La notion quantitative de chaleur	24
1.3 L'expérience antique reproduite au XVIè siècle	26
1.4 Les travaux des savants au début du XVIIè siècle	29
1.5 L'invention du thermoscope par le médecin SANCTORIUS en 1608	36
1.6 Le thermomètre à air en forme de "j" de 1612	43
1.7 Du thermomètre à air au thermomètre scellé	47
 Chronologie : La double invention du thermomètre.....	 62
Notes de renvoi.....	64
 <b>2-UTILISATION ET AMELIORATION DU THERMOMETRE.....</b>	 <b>69</b>
2.1 Le mesurage de la température de l'air	71
2.2 L'exploitation météorologique : le premier réseau international	73
2.3 L'héritage de Florence	81
2.4 Les premiers points fixes	87
2.5 Des échelles centésimales à l'échelle centigrade	96
 Chronologie : Du thermoscope à trois points de repère au thermomètre centigrade.....	 107
Notes de renvoi.....	109
 <b>3-LA CONSTRUCTION DES THERMOMETRES.....</b>	 <b>115</b>
3.1 Les ateliers de construction	115
3.2 La construction du thermomètre au début des années 1780	131
3.3 Le thermomètre de REAUMUR	138
3.4 La mise au point définitive du thermomètre	153
 Notes de renvoi.....	 162

<b>4-MESURES ANCIENNES ET MESURES RECENTES.....</b>	<b>165</b>
4.1 Observer comme au XVIIIè siècle avant l'existence de l'abri	165
4.2 Etude statistique	193
4.3 Les méthodes de traitement des mesures anciennes	224
4.4 Précautions à prendre avant le traitement des mesures anciennes	244
Températures observées à Trappes.....	184
Notes de renvoi.....	268
<b>5-L'OBSERVATION DE L'ATMOSPHERE SOUS L'EGIDE DE LA SOCIETE ROYALE DE MEDECINE.....</b>	<b>271</b>
5.1 La société Royale de Médecine son oeuvre, ses efforts	274
5.2 Analyse des séries thermiques	303
5.3 Schéma d'étude des séries anciennes du XVIIIè siècle : espérance et limites	336
Tableaux des observations faites sous l'égide de le SRM	300
Notes de renvoi.....	344
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>346</b>
<b>ANNEXE.1.....</b>	<b>355</b>
La découverte de la pression atmosphérique	356
Chronologie de la découverte de la pression atmosphérique	384
Notes de renvoi	385
<b>ANNEXE 2.....</b>	<b>388</b>
Influence de la température sur le thermoscope	389
Influence de la pression atmosphérique sur le thermoscope	403
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>412</b>
BIBLIOGRAPHIE COMPLEMENTAIRE.....	443
BIBLIOGRAPHIE COMPLEMENTAIRE FOND VICQ D'AZYR.....	478
INDEX DES SAVANTS.....	488
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	492
ILLUSTRATIONS DE LA THESE.....	494
<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>497</b>