

# LES ECHELLES THERMOMETRIQUES

*(article paru dans "Arc en Ciel" n° 140)*

Lorsqu'on aborde le sujet de la thermométrie, la notion d'échelle est omni-présente à notre esprit car elle est liée à l'usage de l'instrument, mais en réalité, derrière elle se dissimule ce qui a permis de l'élaborer : les points fixes. C'est en les abordant qu'on comprendra la genèse des différentes échelles thermométriques. Pour cela, il est utile de remonter aux premiers thermomètres.

La réalisation d'un thermomètre s'effectue soit à partir de deux points fixes auxquels on associe une échelle arbitraire, soit à l'aide d'un seul point fixe, l'échelle est alors déterminée en utilisant la loi de dilatation du liquide thermométrique. C'est selon ces principes que sont construits les thermomètres depuis leur invention. La notion arbitraire de l'échelle, le choix des points fixes a conduit les savants à réaliser des thermomètres comportant des points fixes différents et des échelles également différentes. Plusieurs centaines de thermomètres différents coexistent au XVIII<sup>e</sup> siècle ! Réaumur, Fahrenheit, Celsius sont parmi les plus connus. Du travail de leurs prédécesseurs et de leurs communications sont nées leurs échelles thermométriques qui font encore parti du langage commun.

## **Premiers thermomètres : premiers points fixes.**

Durant l'hiver 1608, Sanctorius (1561 – 1636) réalise à Padoue le premier thermomètre à air. L'échelle qui comporte trois graduations, a été établie à l'aide de deux points fixes. Le point situé en haut du thermomètre (proche de 0°C) est obtenu à l'aide de la neige, et le point situé en bas (environ 80 °C) est obtenu en chauffant le bulbe du thermomètre avec la flamme d'une bougie. (Le fonctionnement des thermomètres à air est inverse de celui des thermomètres à liquide, le bulbe contenant l'air est situé à la partie supérieure de l'instrument. La surface limite eau-air s'élève lorsque la température diminue). La troisième graduation est équidistante des deux premiers points. Elle correspond à une température Celsius voisine de 40 °C, c'est à dire pas très éloignée de celle du corps humain. Le médecin Sanctorius étudiant l'évolution de la fièvre des personnes malades à été le premier à réaliser l'instrument dont il avait besoin. Il a également réalisé la première échelle thermométrique reposant sur deux points fixes.

Au début des années 1650, les florentins ont réalisé les premiers thermomètres scellés à dilatation de liquide, semblables à nos thermomètres à alcool. Entre deux points fixes arbitraires, l'espace était le plus souvent divisé en 50 parties ou degrés. Les points fixes étaient définis par la température du fleuve Arno et l'eau chaude d'une baignoire.

L'Académie Del Cimento réalisa des thermomètres comportant des échelles pouvant atteindre 600 degrés. Néanmoins, le thermomètre 50 degrés semble avoir été le plus courant. Après avoir essayé plusieurs points fixes, l'eau qui « commence à geler » pour le point bas, et la plus forte chaleur des rayons du soleil d'Italie pour le point haut ont été retenus. Ces thermomètres réalisés par Mariani avaient « un air de famille » et étaient à peu près comparables.

Le point fixe communément appelé « terme de la glace fondante » utilisé par l'Académie Del Cimento, accepté par les savants et philosophes a été par la suite rejeté par plusieurs d'entre eux avant d'être plus tard définitivement adopté. Ce rejet est à l'origine de la multiplication des points fixes et de la diversité des échelles thermométriques.

### **De la glace fondante à l'ébullition de l'eau.**

Le 02 janvier 1665, Christian Huygens (1629 - 1695) proposait une mesure universelle où les points fixes seraient le point de congélation de l'eau ou le point d'ébullition de l'eau. Quinze ans à peine après l'invention du thermomètre scellé, Huygens cite deux termes fondamentaux : congélation de l'eau et point d'ébullition. Il parle déjà de mesure universelle, car déjà plusieurs thermomètres différents existaient. Quelle sera la réaction des savants face à cette déclaration ?

Admis par Robert Hooke (1635 – 1703), Philippe de la Hire (1640 – 1718), Robert Boyle (1627 – 1691), Edmond Halley (1656 – 1742), le point de congélation a été rejeté sans explication car, « il était compris entre des limites trop étendues » ! L'eau qui commence à geler, le point de congélation, un mélange d'eau et de glace, la fusion de la neige, la fusion de la glace étaient à l'époque considéré comme devant avoir la même température. Or la réalité est tout autre. La différence réelle relativement faible entre ces divers points n'était pas détectable avec les premiers thermomètres. Elle le devint avec la fabrication des thermomètres qui s'améliorait, d'où ce rejet non expliqué à l'époque.

La recherche vers d'autres éléments considérés comme ayant température fixe a été la réaction immédiate. De nombreux points fixes divers et variés sont retenus par les savants comme la température des lieux souterrains profonds ou alors celle d'un homme en bonne santé etc... La Hire, en 1670 construisait un thermomètre calé sur les températures de congélation de l'eau et celle des caves de l'Observatoire de Paris. Isaac Newton (1642 – 1727) a été le premier à utiliser la température du corps humain pour la réalisation de ses thermomètres. Le partage des idées sur la température de fusion de la glace et les différents points fixes utilisés engendra une telle multitude d'échelles thermométriques à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle qu'il devint presque impossible de comparer les indications de deux thermomètres différents ! Plusieurs auteurs ont tenté de faire concorder les différents thermomètres en usage. Cotte publie des planches de comparaison, d'autres tentent de réaliser un thermomètre universel comme Réaumur.

La polémique qui a régné sur la température de la glace fondante n'a pas eu lieu pour la température d'ébullition de l'eau, étant donné qu'il n'y avait qu'une seule façon de l'obtenir. En 1699, Halley, puis en 1702 Guillaume Amontons (1663 – 1705) admettent que le point d'ébullition de l'eau a une température fixe.

L'utilisation des points fixes congélation de l'eau et ébullition de l'eau ont été avancé très tôt. Ainsi, vers 1672, Sébastiano Bartolo (1635 – 1676) suggéra de diviser l'espace compris entre la chaleur de la neige et l'ébullition de l'eau en 18 degrés. En 1694, Carlo Renaldini (1615 – 1698) propose à nouveau les mêmes points fixes. Il sera suivi par l'astronome Danois Ole Romer (1644 – 1710). Pour le choix de ces points fixes uniquement

## **Génèse des échelles thermométriques connues de nos jours**

Les échelles à 12, 18 degrés peuvent surprendre de nos jours. Il faut se souvenir qu'au XVIII<sup>e</sup> siècle, les divisions inscrites sur le tube du thermomètre se rapportaient le plus souvent aux échelles couramment utilisées en astronomie, c'est à dire 60 ou des sous multiples de 60. Sebastiano Bartholo (1635 – 1676) propose 18 degrés entre deux points fixes, Carlo Renaldini 12 en 1694, Newton décrit une échelle duodécimale en 1701, Ole Romer 60 degrés en 1702. Chaque savant optait pour un nombre de degrés qui s'appuyait sur aucune théorie universelle mais sur des nombres familiers.

### **De Roemer à Fahrenheit**

En 1702, Ole Roemer construisait des thermomètres ne comportant que des degrés positifs calibrés linéairement entre le point de fusion de la glace et le point d'ébullition de l'eau. Le point de fusion de la glace était placé au 1/8<sup>e</sup> de l'échelle et le point d'ébullition au degré 60. Le point de fusion de la glace étant situé entre le septième et le huitième degré, Roemer décida par la suite de le placer au huitième degré. Gabriel Daniel Fahrenheit (1686 – 1736) qui visita Roemer en 1708 construisit des thermomètres sur ce principe en multipliant l'échelle par quatre. Cela donne 32° pour le point de fusion de la glace et 96 pour la température d'un homme en bonne santé. Il fixe à 212° la température d'ébullition. En 1717, son thermomètre est largement utilisé en Angleterre et aux Pays Bas

### **Le thermomètre de Réaumur**

C'est au contact de différents savants que la connaissance se transmettait et permettait la réalisation de thermomètres « meilleurs » mais toujours différents des précédents. C'est alors que René Antoine Ferchault de Réaumur (1683 – 1757) a imaginé un processus qui devrait permettre l'arrêt de la multiplication des thermomètres et des échelles différentes.

En 1730, Réaumur a construit un thermomètre facilement réalisable (selon l'auteur) dont les degrés sont comparables. Pour cela, il a besoin d'un seul point fixe (celui de la glace fondante) et de connaître la variation de volume du liquide thermométrique lorsqu'il est soumis à une variation de température connue. Le liquide thermométrique choisi par Réaumur occupe un volume de 1 000 parties à la température de la glace fondante et 1 080 parties à celle de « l'esprit de vin qui cesse tout juste de bouillir ». Chaque degré de son thermomètre est égal à une partie du volume initial. Entre les deux extrêmes cités, il y donc 80 parties ou degrés. D'où l'origine des degrés Réaumur. Simple en théorie, la réalisation des thermomètres selon la méthode Réaumur posa de grandes difficultés à ceux qui voulurent l'imiter car :

- le liquide choisi est de l'esprit de vin affaibli de 1/5<sup>e</sup> d'eau,
- il appelle le point de « l'esprit de vin qui cesse tout juste de bouillir » « terme de l'eau bouillante » du fait qu'il utilise l'eau bouillante pour faire bouillir l'esprit de vin,

- l'esprit de vin boue à 80 °C, la source de chaleur boue à 100 °C.

De nombreux savants ont construit des thermomètres selon la méthode Réaumur sans prendre en compte la différence des températures d'ébullition de l'esprit de vin et de l'eau. Ils graduèrent ainsi des thermomètres de 0 à 80 degrés entre la glace fondante et l'ébullition d'un liquide (esprit de vin mélangé à de l'eau). Cela a conduit à une dilatation de l'échelle thermométrique, donc à réaliser des thermomètres à peu près corrects vers zéro degré et devenant de plus en plus inexact avec l'élévation de la température. Pour une température de 10 °C, l'erreur commise était supérieure au degré ! Il a fallu attendre les années 1770 lorsque les travaux de Jean André Deluc (1727 – 1817) ont mis en avant ces erreurs pour que les thermomètres soient à nouveau de bonne qualité. La graduation en 80 degrés entre le terme de la glace fondante et celui de l'eau bouillante qui était devenue commune a persisté et est encore connue de nos jours.

*Il a fallu attendre le XVIII<sup>e</sup> siècle pour qu'une division en cent parties égales entre deux points fixes devienne l'élément de réflexion raisonné des savants. Après de nombreuses expériences et essais divers, le thermomètre centésimal verra le jour, mais ne sera officialisé que bien plus tard. Poursuivons notre historique et revenons à Roemer.*

### **Vers une échelle centésimale**

Peu de temps avant sa mort, (vers 1709) Roemer proposa à son successeur Peter Horrebow (1679 – 1764) de porter le point d'ébullition au 100<sup>e</sup> degré au lieu du 60<sup>e</sup>. L'échelle qui comporte 100 degrés, situe le point de congélation à son 1/5<sup>e</sup> soit au degré 20 et le point d'ébullition au degré 100. Le point zéro de cette échelle correspond à – 25 °C. Ainsi avec ce thermomètre, la température de l'air en Europe est presque toujours indiquée avec des degrés positifs, élément apprécié à l'époque. Par ailleurs, ce thermomètre qui comporte 80 degrés entre les termes de la congélation et celui de l'eau bouillante a par ce côté un point commun avec les thermomètres de Réaumur.

Réaumur qui a remarqué la différence de 80 degrés entre le point de congélation et celui de l'eau bouillante du thermomètre de Peter Horrebow fait de suite un rapprochement avec ses thermomètres. Cette proposition enrichi le flou qui existait à cette époque autour du point d'ébullition tantôt à 80 degrés, tantôt à 100 degrés, voire entre ces deux valeurs.

Par ailleurs, en Suède, les frères Delisle ouvraient la voie à un thermomètre centigrade : Les frères Delisle avaient construit en 1724 un thermomètre présentant 100 degrés entre la température des caves de l'Observatoire de Paris et celle de l'eau bouillante. Lors de son voyage en Russie, en 1732, Jean Nicolas Delisle ne trouve pas de souterrain assez profond pour étalonner son thermomètre. Il conserva la valeur zéro au point d'ébullition et attribua 150 degrés au point de congélation qu'il prit pour second point fixe, abandonnant la température de l'Observatoire de Paris. L'eau bouillante et la fusion de la glace sont les deux points fixes sur lesquels le thermomètre Delisle est construit, mais l'échelle présente 150 degrés entre ces deux points et qui plus est, elle est inverse de l'échelle centésimale que nous connaissons.

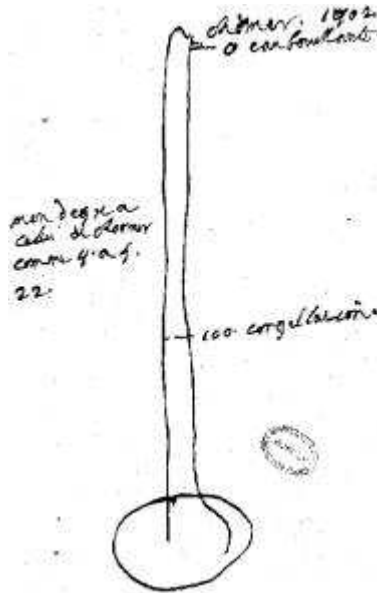
En 1740, deux savants vont émettre chacun une proposition conduisant au thermomètre actuel : Réaumur reprenant l'idée de Roemer, propose la division centésimale entre les deux points fixes congélation et ébullition de l'eau : « la congélation est exprimée par 100 et l'eau

bouillante par zéro ». Le second, Jean Michaeli Ducrest (1690 – 1766) suggère d’inverser l’échelle, donc d’attribuer zéro au point de condensation. Ce sont des propositions, le thermomètre centigrade n’est pas encore réalisé.

La division  
tirée de MIDDLETON p 92)

**Le**

En 1737, Delisle Celsius. Ce dernier graduation selon le indique zéro à la celle de la première Le 25 décembre 1741 l’Observatoire ont débuté le 02 juin n’aurait jamais



centésimale de REAUMUR (Illustration

**thermomètre Celsius**

envoie deux de ses thermomètres à n’en garde qu’un. Il modifie la principe émis Réaumur de sorte qu’il chaleur de l’eau bouillante et 100 à gelée (division centésimale inversée). il était prêt à l’emploi et fut utilisé à d’Uppsala. Les observations régulières 1743. D’après Middleton, Celsius inversé la graduation.

Linné qui a hérité du second thermomètre de Delisle a également modifié l’échelle en attribuant cette fois zéro au point de fusion de la glace et 100 au point d’ébullition (échelle centésimale), selon le principe émis par Michaeli Ducrest. Il l’utilise dès 1740 à Stockholm (donc avant Celsius), mais il ne le présente à l’Académie Suédoise qu’en 1745, après la mort de Celsius. La correspondance du 14 février 1897 entre Hugo Hildebrand Hildebrandsson (1838 – 1925) et Léon Teisserenc de Bort (1855 – 1913) met en avant la biographie de LINNE publiée par Monsieur Fries qui signale ce fait.



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).

## Fin du XVIII ème siècle : épilogue

Au milieu du XVIII ème siècle coexistent une multitude de thermomètres de qualités très variables. Jean André DELUC (1727 – 1817) a d'une part effectué de nombreux essais avec différents thermomètres et d'autre part fait expérimenter par « des gens en qui on peut avoir toute confiance » différents thermomètres. Son expérience le conduit à construire un thermomètre de 25 cm de long gradué de zéro à 80 entre la glace et l'eau bouillante. Dans les années 1780, moment où des réseaux d'observation s'organisent et collectent des températures, il précise comment le thermomètre est construit. C'est ainsi que les thermomètres aux degrés Réaumur, selon la méthode DELUC se répandent en France.

Face à la diversité des échelles thermométriques existantes, la Commission des poids et mesures décida en 1794 de prendre comme degré thermométrique la centième partie entre le terme de la glace et celui de l'eau bouillante. Elle met fin au thermomètre REAUMUR et favorise le thermomètre centésimal. En 1948, la IX è conférence des poids et mesures décida que le degré centésimal serait le degré Celsius. Mais savait-elle que Linné avait réalisé ce thermomètre un an avant Celsius ?

## Règles de conversion des températures.

Avant de s'intéresser aux conversion Réaumur, Fahrenheit et Celsius, le tableau ci-après donne une idée du degré du thermomètre florentin du type le plus courant : 50 degrés. LIBRI a fait beaucoup de comparaisons avec les thermomètres florentins 50 degrés. Il trouva une concordance étonnante entre eux et établit au XIX è siècle une table de correspondance entre le thermomètre florentin et le thermomètre Celsius :

Degrés Florentin		Degrés Celsius
0		- 18,5
13,5	Mélange eau et glace	Environ 0
40	Soleil d'été en Italie	
50		55

*La partie qui suit est un peu plus théorique. Les relations de comparaison ne dépassent le premier degré, elles sont donc facilement abordables.*

## Comparaison Fahrenheit – Celsius

La relation suivante permet de passer des degrés Fahrenheit aux degrés Celsius :

$$T \text{ Fahrenheit} = T \text{ Celsius} \times 9/5 + 32$$

La relation inverse donne :

$$T \text{ Celsius} = 5/9(T \text{ Fahrenheit} - 32)$$

On remarque de suite que le point 0°C correspond à 32°F, et que le point 100° C correspond à 212° F

Exemple, quel est le degré Celsius correspondant à 95 ° Fahrenheit ?

$$T \text{ C} = 5/9(95 - 32) \quad \text{soit : } 35^\circ \text{ C.}$$

## Comparaison Réaumur - Celsius

Sachant que 0° Celsius est égal à 0° Réaumur et 100 °C à 80°F, nous en déduisons que : 1° R = 1° C x 0,8 et que 1° C = 1°R\*/0,8.

Exemple : 35°C correspondent à 35\*0,8 soit 28°R

Petit problème : convertir 86° F en degré R sans passer par les degrés Celsius.

Sachant que 1°C est égal à 1°R/0,8, la formule de conversion des degrés Celsius en degrés Fahrenheit devient :

$$T^\circ \text{R} = 0,8 \cdot 5/9(T\text{F} - 32)$$

Soit : T R = 0,8\*5/9\*54, ce qui donne : 24° R

## ***Bibliographie :***

CAVERNI Raffaello

**Storia del metodo Sperimentale in Italia**  
**Johnson Reprint Corporation, New-York, London, 1972**

COTTE Louis

Traité de Météorologie  
PARIS, 1774

COTTE Louis

Mémoire sur la météorologie  
PARIS, 1788

DELUC Jean André

Recherches sur la modification de l'atmosphère, Genève, 1784 – 2 tomes

DETTWILLER Jacques

Errata et compléments : l'échelle Celsius

Bulletin d'information de la météorologie Nationale, N° 38, janvier 1978

DETTWILLER Jacques

Chronologie de quelques événements météorologiques en France et ailleurs;  
Monographie de la Météorologie Nationale N° 1  
BOULOGNE, Météorologie Nationale, 1982

HILDEBRAND HILDEBRANDSSON Hugo

Lettre d'Hildebrand Hildebrandsson à Teisserenc de Bort.  
UPPSALA, 1897

LIBRI Guillaume

Histoire des sciences mathématiques en Italie depuis la renaissance des lettres  
jusqu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, Paris, Paulin, 1838 - 1841

MIDDLETON W.E. Knowles

A history of the thermometer and its use in meteorology  
BALTIMORE (USA), 1966

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

PISE, 1957



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

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  
FLORENCE (Italie), Istituto e Museo di Storia della Scienza, 1987

PUJOULX J.B.  
Leçons de physique de l'école polytechnique.  
PARIS, 1805, Pages

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

VAN SWINDEN J.H.  
Dissertation sur la comparaison des thermomètres.  
Amsterdam, 1778.

VOLLMANN R. Dr  
Le thermomètre.  
BALES, 1946, CIBA, mars

M. Beaurepaire

### ***Iconographie :***

- Thermomètre de Réaumur
- Série de différents thermomètres au XVIII<sup>e</sup> siècle.

Le thermomètre de Réaumur (Illustration tirée de REAUMUR, 1730)

On remarquera la grande taille du réservoir.

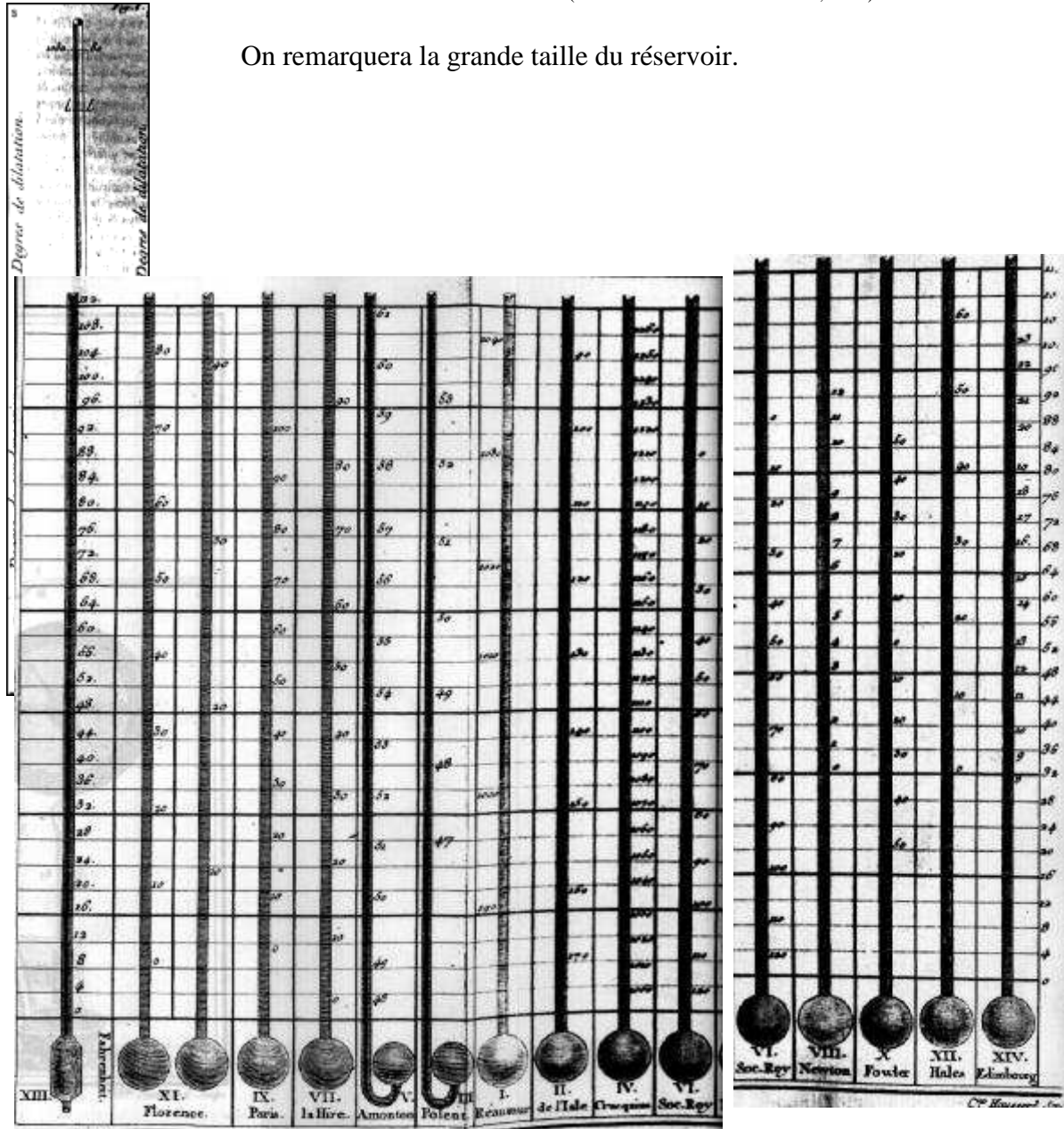


Fig 2 Quelques

thermomètres en usage à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle (Illustration tirée de COTTE, Traité de météorologie, 1774, planche VII).

De gauche à droite, thermomètres de :

Fahrenheit, Florence, Paris, La Hire, Amontons, Polent, Réaumur, De L'Isle, Crucquius, Société Royale, Newton, Fowler, Hales et Edimbourg.