

thermométries

Lorsqu'on aborde le sujet de la thermométrie, la notion d'échelle est omniprésente 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 ont 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^e siècle ! Ceux de 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 partie 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 a 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 considérés 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 une 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 thermo-

mètre 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^e 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 avancée 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 XVII^e 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^e 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 thermomètre de Réaumur (illustration tirée de Réaumur, 1730).

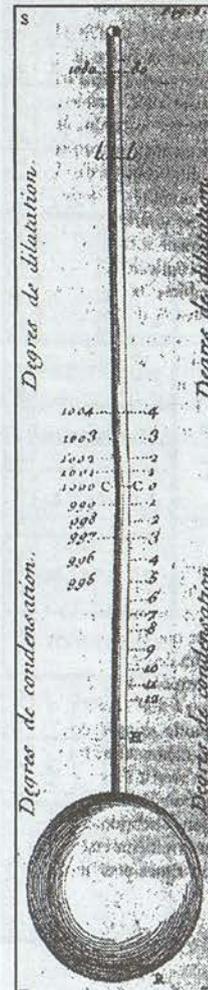


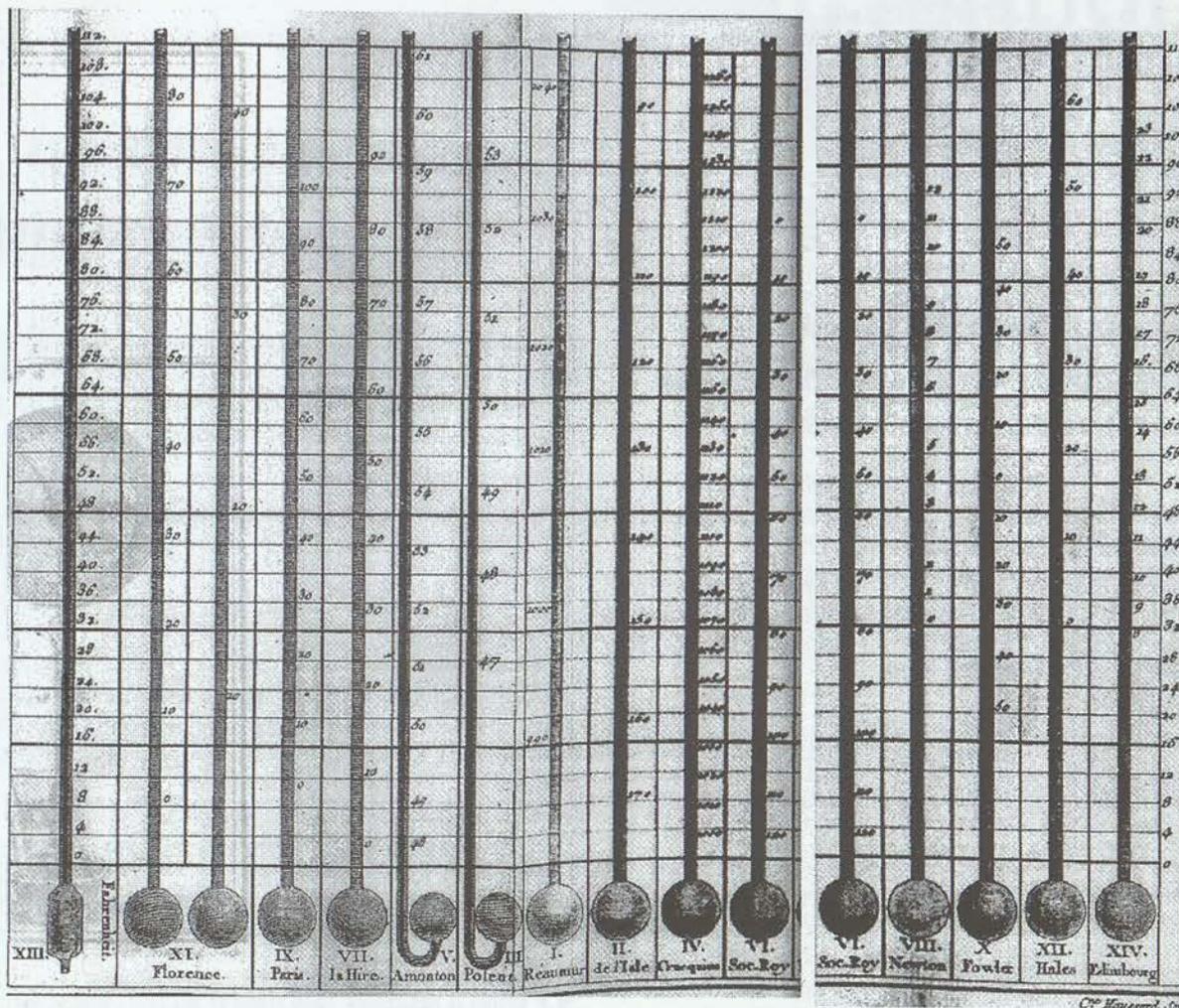
TABLEAU DE COMPARAISON pour vingt-sept THERMOMÈTRES. Degrés au-dessus de la congélation.

Tome 1, à la fin.
(N.° II.)

THERMOMÈTRES LES PLUS USITÉS.										THERMOMÈTRES ACTUELLEMENT PEU EN USAGE.																	
DE LUC.	DE RÉAUMUR.		FAHRENHEIT.	DE LISLE.	CELSIUS.	SUBDE & LYON.	DUCREST.	BRISSON.		FAHRENHEIT.				KIRCH.	HANOYRE.		LA HIRE.	AMANTONS.	POLENI.	CRUCQUIUS.	RICHTER.	ÉDIMBOURG.	LACOURT.	HALES.	NEWTON.	DE LUC.	
	Mercur.	Esp. de V.						Vrai.	Faux.	Mercur.	Mercur.	Mercur.	Esp. de V.		Mercur.	Esp. de V.											Ancien.
0.	0,0	0,8	0.	32.	150.	100.	0.	10,48	0.	0.	30.	32.	32.	32.	7,00	30.	40.	31,86	52.	47,30	1070.	18.	8,20	15.	0.	0.	0.
0,5	0,4	1,29	0,49	33,12	149,06	99,37	0,63	9,93	0,54	0,50	28,04	33,05	33,05	32,9	7,5	30,98	40,98	32,70	52,10	47,39	1072,7	18,51	8,43	15,48	0,88	0,21	0,5
1.	0,8	1,78	0,98	34,25	148,12	98,75	1,25	9,39	1,08	1,00	26,07	34,09	34,09	33,8	7,69	31,96	41,96	33,33	52,20	47,49	1076,5	19,03	8,65	15,97	1,76	0,42	1.
1,5	1,2	2,27	1,47	35,37	147,18	98,12	1,88	8,85	1,62	1,51	24,11	35,13	35,13	34,65	7,88	32,95	42,95	34,37	52,30	47,59	1078,2	19,54	8,87	16,45	2,64	0,65	1,5
2.	1,8	2,76	1,96	36,5	146,25	97,5	2,5	8,31	2,17	2,0	22,14	36,17	36,17	35,5	8,07	33,93	43,93	35,20	52,40	47,69	1081.	20,05	9,10	16,94	3,52	0,86	2.
2,5	1,9	3,25	2,45	37,62	145,32	96,87	3,13	7,77	2,71	2,50	20,17	37,22	37,22	36,4	8,26	34,92	44,92	36,04	52,50	47,79	1083,7	20,56	9,32	17,43	4,4	1,07	2,5
3.	2,3	3,74	2,94	38,75	144,37	96,25	3,75	7,22	3,26	2,99	18,20	38,26	38,25	37,3	8,45	35,9	45,9	36,88	52,61	47,89	1085,5	21,08	9,54	17,92	5,28	1,28	3.
3,5	2,7	4,22	3,43	39,87	143,43	95,62	4,38	6,68	3,8	3,49	16,23	39,30	39,30	38,15	8,64	36,88	46,88	37,71	52,72	47,99	1088,2	21,59	9,77	18,41	6,16	1,49	3,5
4.	3,1	4,72	3,92	41.	142,50	95.	5.	6,14	4,35	3,98	14,30	40,35	40,35	39.	8,83	37,84	47,84	38,55	52,82	48,09	1092.	22,10	10.	18,95	7,04	1,71	4.
4,5	3,5	5,21	4,41	42,12	141,56	94,37	5,63	5,60	4,89	4,48	12,43	41,39	41,39	39,9	9,03	38,81	48,81	39,39	52,92	48,19	1094,7	22,61	10,23	19,39	7,92	1,92	4,5
5.	3,9	5,7	4,9	43,25	140,62	93,75	6,25	5,06	5,43	4,97	10,48	42,43	42,43	40,8	9,24	39,77	49,77	40,22	53,03	48,29	1097,5	23,13	10,46	19,89	8,82	2,13	5.
5,5	4,3	6,19	5,39	44,37	139,83	93,12	6,88	4,52	5,97	5,48	8,53	43,50	43,50	41,7	9,53	40,74	50,74	41,06	53,13	48,39	1100,2	23,64	10,59	20,39	9,72	2,34	5,5
6.	4,7	6,58	5,88	45,5	138,75	92,5	7,5	3,97	6,52	5,99	6,58	44,58	44,58	42,6	9,87	41,72	51,72	41,90	53,24	48,48	1103.	24,15	10,91	20,89	10,62	2,53	6.
6,5	5,1	7,17	6,37	46,62	137,81	91,87	8,13	3,42	7,06	6,50	4,63	45,66	45,66	43,5	10,23	42,71	52,71	42,73	53,34	48,58	1104,2	24,68	11,14	21,39	11,58	2,76	6,5
7.	5,5	7,65	6,86	47,75	136,87	91,25	8,75	2,88	7,65	7,01	2,68	46,74	46,74	44,4	10,45	43,7	53,7	43,57	53,45	48,68	1108,5	25,18	11,37	21,89	12,44	2,97	7.
7,5	5,9	8,15	7,35	48,87	135,93	90,62	9,38	2,34	8,15	7,52	0,62	47,82	47,82	45,3	10,68	44,69	54,69	44,41	53,55	48,78	1111,2	25,69	11,6	22,40	13,35	3,18	7,5
8.	6,3	8,64	7,84	50.	135,0	90.	10.	1,80	8,69	8,03	1,45	48,89	48,89	46,2	10,91	45,72	55,72	45,25	53,66	48,88	1114.	26,20	11,83	22,91	14,25	3,40	8.
8,5	6,7	9,13	8,33	51,12	134,06	89,37	10,63	1,25	9,23	8,54	3,52	49,97	49,97	47,1	11,14	46,76	56,76	46,08	53,76	48,98	1116,7	26,71	12,07	23,42	15,17	3,61	8,5
9.	7.	9,62	8,82	52,25	133,12	88,75	11,25	0,70	9,78	9,05	5,60	51,05	51,05	48.	11,37	47,80	57,80	46,92	53,87	49,08	1119,5	27,23	12,30	23,93	16,09	3,82	9.
9,5	7,5	10,11	9,31	53,37	132,19	88,12	11,88	0,15	10,32	9,56	7,67	52,13	52,13	48,9	11,60	48,83	58,83	47,76	53,98	49,18	1122,2	27,74	12,54	24,44	17,01	4,03	9,5
10.	7,9	10,6	9,8	54,5	131,25	87,5	12,5	0,38	10,86	10,07	9,74	53,21	53,21	49,8	11,83	49,87	59,87	48,60	54,08	49,28	1125.	28,25	12,78	24,94	17,93	4,24	10.
10,5	8,3	11,1	10,3	55,62	130,31	86,87	13,13	0,93	11,40	10,58	11,81	54,35	54,35	50,7	12,11	50,9	60,9	49,45	54,18	49,37	1127,7	28,76	13,02	25,46	18,85	4,45	10,5
11.	8,7	11,6	10,8	56,75	129,38	86,25	13,75	1,49	11,95	11,10	13,88	55,49	55,49	51,6	12,54	51,94	61,94	50,30	54,28	49,47	1130,5	29,28	13,26	26.	19,80	4,65	11.
11,5	9,1	12,1	11,3	57,87	128,44	85,62	14,38	2,04	12,5	11,61	16,07	56,62	56,62	52,5	12,76	53,03	63,03	51,16	54,39	49,57	1133,2	29,79	13,5	26,53	20,76	4,87	11,5
12.	9,5	12,6	11,8	59.	127,50	85.	15.	2,60	13,04	12,12	18,28	57,75	57,75	53,4	13,03	54,14	64,14	52,01	54,50	49,67	1136,0	30,30	13,74	27,06	21,72	5,08	12.
12,5	9,9	13,1	12,3	60,12	126,59	84,37	15,63	3,15	13,58	12,63	20,48	58,89	58,89	54,3	13,31	55,23	65,23	52,86	54,60	49,77	1138,7	30,81	13,99	27,60	22,68	5,29	12,5
13.	10,3	13,6	12,8	61,25	125,68	83,75	16,25	3,71	14,13	13,14	22,66	60,02	60,02	55,2	13,59	56,33	66,33	53,73	54,71	49,87	1141,5	31,33	14,23	28,13	23,64	5,50	13.
13,5	10,7	14,1	13,3	62,37	124,69	83,12	16,88	4,27	14,87	13,65	24,87	61,15	61,15	56,1	13,98	57,43	67,43	54,8	54,81	49,97	1144,2	31,84	14,48	28,66	24,60	5,72	13,5
14.	11,1	14,6	13,8	63,5	123,75	82,5	17,5	4,82	15,21	14,16	27,06	62,29	62,29	57.	14,22	58,53	68,53	55,43	54,92	50,07	1147.	32,35	14,72	29,19	25,56	5,93	14.
14,5	11,5	15,1	14,3	64,82	122,81	81,87	18,13	5,38	15,75	14,67	29,15	63,42	63,42	57,9	14,64	59,58	69,58	56,8	55,02	50,17	1149,7	32,85	14,97	29,72	26,52	6,14	14,5
15.	11,9	15,6	14,8	65,75	121,87	81,25	18,75	5,93	16,30	15,18	31,26	64,55	64,55	58,8	14,66	60,63	70,63	57,3	55,13	50,26	1152,5	33,38	15,21	30,25	27,48	6,35	15.

Tableau de comparaison pour vingt sept thermomètres.
(illustration tirée de Cotte, mémoire sur la Météorologie, 1788, planche II.)

a u t e m p s p a s s é ...



Quelques thermomètres en usage à la fin du XVIIIe 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.

- le liquide choisi est de l'esprit de vin affaibli de 1/5^e 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.

Le prochain numéro présentera le thermomètre Celsius et les règles de calcul pour jongler entre les degrés Fahrenheit, Celsius et Réaumur. La bibliographie sera indiquée avec la fin de l'article.

• M. Beaurepaire •