La température

L'objectif à poursuivre, pour des raisons de qualité organoleptique, consiste à maintenir l'eau potable à une température *égale ou inférieure à 15°C*.

Définition et mesure

Dans l'*International Practical Temperature Scale of 1968, amended edition, 1975*, on définit la température par rapport à la résistance électrique, mesurée à trois points de repère (le point triple de l'eau, le point d'ébullition de l'eau sous la pression d'une atmosphère et le point de congélation du zinc) d'un thermomètre ordinaire à résistance de platine.(1) Pour effectuer les mesures nécessaires au traitement de l'eau, un thermomètre à mercure de bonne qualité, gradué en degrés Celsius, suffit. Le thermomètre doit être gradué au 1/10^{e} de degré et son exactitude doit être vérifiée à l'aide d'un thermomètre de précision conforme aux normes du National Bureau of Standards des États-Unis. Il est possible de se servir d'un thermistor, mais un tel instrument coûte cher et n'est pas à la portée de toutes les bourses.(2) Le point de fusion de l'eau constitue le repère d'étalonnage des thermistors servant à la surveillance continue de la température dans les grandes stations de traitement des eaux.

Il n'est ordinairement pas rentable de modifier la température de l'eau dans les stations de traitement d'eau potable, sauf si des circonstances exceptionnelles le commandent, par exemple dans l'Arctique, où l'on chauffe l'eau de certains réseaux de distribution.(3) La température de l'eau dépend donc largement de la source d'eau brute choisie et de la profondeur d'enfouissement du réseau de distribution.(4) Au Canada, la température de l'eau de surface subit de grandes variations saisonnières dans la plupart des agglomérations (entre 2 °C et 25 °C).(5) La température de l'eau souterraine est nettement plus constante. Dans les puits profonds, elle ne varie que de 2 à 3 °C; moins la couche aquifère est profonde, plus les fluctuations sont accentuées.(6)

Relations avec d'autres paramètres de la qualité de l'eau

La température à laquelle s'effectuent la plupart des réactions chimiques dépend de l'énergie associée à l'activation de celles-ci. Une baisse de la température entraîne généralement un ralentissement des réactions chimiques. Les concentrations relatives des réactifs et des produits en équilibre chimique peuvent aussi varier en fonction de la température. L'amplitude de cette variation dépend essentiellement du changement de l'énergie libre de Gibbs de la réaction en question. Tous les aspects du traitement et de la distribution de l'eau potable sont donc touchés par la température.

Caractéristiques physiques

Les sens du goût et de l'odorat chez l'être humain sont inséparables. La sapidité fait appel à un dosage complexe et plutôt subjectif de ces deux sens, alliés au paramètre d'ordre organoleptique qu'est la couleur. Les buveurs préfèrent l'eau froide à l'eau tiède; en règle générale, une température de 10 °C leur convient.(7) La limite de 19 °C, souvent citée comme constituant le seuil de tolérance dont le dépassement suscite les récriminations de la plupart des consommateurs, est fondée sur une relation empirique établie il a une soixantaine d'années.(8) Pangborn et Bertolero(9) ont montré, en se servant d'eau distillée, de solutions de sels minéraux dans de l'eau distillée et d'échantillons d'eau potable, que c'est à la température de la pièce que l'eau affiche le goût le plus prononcé et que ce goût s'atténue considérablement lorsque l'eau est refroidie *ou* réchauffée. L'échelle de la sapidité suit la courbe de température suivante : 22 °C > 37 °C > 55 °C > 0 °C. Une hausse de la température accroît la tension de vapeur des matières volatiles présentes dans l'eau potable à l'état de traces et peut, de ce fait, accentuer l'odeur de l'eau. On procède aux tests d'olfaction de l'eau à une température de 40 °C,(2) car c'est à cette température qu'on décèle le mieux les matières volatiles responsables d'odeurs désagréables.

La température exerce un effet indirect sur la turbidité et sur la couleur puisqu'elle agit sur la coagulation. L'efficacité de cette dernière dépend beaucoup de la température : le pH optimal pour la coagulation diminue proportionnellement à l'élévation de la température.(10) En pratique, ce n'est probablement que lorsque les doses de coagulant se rapprochent des doses minimales établies expérimentalement(11) que ce phénomène prend de l'importance. Comme la

combinaison des équilibres chimiques intervenant dans le phénomène de la coagulation est d'une grande complexité, on recommande, pour utiliser les coagulants d'une façon économique, d'effectuer les essais de floculation à la température de l'eau traitée et non à la température de la pièce.(11)

À mesure que la température baisse, la viscosité de l'eau augmente et la vitesse de décantation diminue.(11) Dans les installations où le débit est constant et où la capacité des bassins ne peut être augmentée, la décantation ne peut être prolongée; dès lors, en hiver, l'efficacité des phénomènes de coagulation et de décantation qui éliminent la couleur et la turbidité risque d'être moindre qu'en été. Pourtant, on a signalé qu'une infime augmentation de la température (<1 °C) à la source d'eau brute réduisait l'efficacité des procédés de floculation et de décantation. Ce phénomène s'explique par la tendance de l'eau chaude à former une couche distincte au-dessus de la couche d'eau froide dans les décanteurs.(12) On peut toutefois régler ce problème en modifiant les procédés et les installations en conséquence.

L'élimination finale des matières en suspension se fait par filtration, après la décantation. La filtration est plus lente à de basses températures en raison de la plus grande viscosité de l'eau.(8) En outre, toujours à de basses températures, elle est moins efficace pour éliminer la turbidité, peut-être parce que la cohésion du floc, ou la taille moyenne des particules, est moindre.(13) La température influe aussi sur les filtres à charbon actif : le pouvoir adsorbant du charbon actif augmente à mesure que la température diminue.(14)

Dans l'eau pure, la concentration d'ions d'hydrogène est déterminée par l'équilibre de dissociation :

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-,\ pK_w\,(25\ °C) = 14{,}0$$

La valeur logarithmique négative de K_w décroît avec l'élévation de la température; conséquemment, il en est de même du pH (le pH de l'eau pure = $pK_w/2$). Le pH de l'eau pure est égal à 7,49 à 0 °C et à 7 à 25 °C (la concentration d'ions d'hydrogène à 0 °C correspond à seulement 32 % de ce qu'elle est à 25 °C).(15) La présence de carbonates et d'autres espèces faiblement acides dans l'eau potable a un effet tampon qui atténue l'influence de la température. Langelier a publié une analyse thermodynamique détaillée de la variation du pH en fonction de la température en ce qui concerne des solutions contenant diverses quantités de carbonates.(15)

Caractéristiques microbiologiques

La température intervient dans les caractéristiques microbiologiques de l'eau potable, car elle influence d'une part les procédés de traitement des eaux, en particulier la désinfection, et, d'autre part, la croissance et la survie des microorganismes.

En règle générale, une hausse de la température favorise la désinfection. La plupart des données disponibles à ce sujet portent sur la chloration. Dans le cadre de leurs travaux sur l'*Escherichia coli*, Butterfield et ses collaborateurs ont observé que, lorsque la température s'élève à partir de 2 à 5 °C pour atteindre 20 à 25 °C, l'action bactéricide du chlore se trouve multipliée par cinq.(16) Dans une étude effectuée pour le compte de l'armée américaine, Ames et Whitney-Smith montrent que, si la température passe de 8 °C à 40 °C, l'action bactéricide du chlore se trouve multipliée par neuf.(17) Chambers a constaté que l'effet de la température sur l'action du chlore était pratiquement nul à un pH de 7 à 8,5 tandis que, si la température passait de 4 °C à 22 °C avec un pH plus élevé, l'efficacité du chlore était de 4 à 8 fois plus grande.(18) Des chercheurs ont obtenu des résultats analogues au cours de recherches relatives aux virus.(19)

Deux autres désinfectants méritent d'être mentionnée : il s'agit de l'ozone, couramment utilisé en Europe ainsi que dans une vingtaine de postes de traitement au Québec, et du bioxyde de chlore, surtout utilisé au Canada dans les tests d'olfaction et de gustation. Malheureusement, on connaît très mal l'effet de la température et celui du pH sur l'action de ces désinfectants.(20) Dans une publication récente, on souligne qu'une élévation de la température améliore l'inactivation du *Mycobacterium fortuitum* par l'ozone. L'énergie d'activation de l'ozone est évaluée à 18,3 kcal.(21) Les phases de coagulation et de décantation du traitement des eaux réduisent aussi le nombre de microorganismes en suspension dans l'eau; par ailleurs, nous avons vu que la température influait sur les résultats de ces procédés.

Dans l'eau potable, le chlore libre existe principalement sous forme d'acide hypochloreux et d'ion hypochlorite. L'action germicide de l'acide hypochloreux est à peu près cent fois plus grande que celle de l'ion hypochlorite. Dans l'eau pure, 96,8 % du chlore libre est de l'HOCl quand le pH est de 6; ce pourcentage tombe à 2,9 à un pH de 9.(22) À pH égal, une augmentation de la température stimule la dissociation de l'acide hypochloreux. Ainsi, avec un pH de 8, la concentration de l'HOCl décroît de 30 % environ lorsque la température passe de 0 à 20 °C.(23) Toutefois, l'effet de la concentration d'HOCl sur l'efficacité germicide de l'eau chlorée est plus qu'annulé par l'influence contraire et plus grande que la hausse de la température exerce sur l'action germicide.

L'état actuel des recherches ne nous permet pas d'établir une relation claire entre la température et la survie des bactéries dans l'eau. En effet, selon la bactérie étudiée et le type d'eau utilisé (eau distillée, eau du robinet stérile ou eau brute), les chercheurs ont constaté que l'élévation de la température avait un effet favorable, défavorable ou nul sur la viabilité de

l'organisme à l'étude.[24] Dans des sources d'eau brute, on a relevé une variation saisonnière du nombre des coliformes, la prolifération la plus grande étant notée au printemps et à la fin de l'été.[25] Il semble toutefois que la température ne soit qu'un des divers facteurs pouvant expliquer cette variation.

Les virus survivent beaucoup plus longtemps que les bactéries à de basses températures. On a constaté que le virus de la polio pouvait survivre jusqu'à six mois dans de l'eau du robinet maintenue à basse température.[22] En revanche, une étude épidémiologique relative à l'hépatite infectieuse, menée dans treize villes des États-Unis, n'a pas permis de déceler de corrélation entre le taux d'infection et la température de l'eau brute.[26] La plage des températures d'analyse allait de 9,4 °C à 20,6 °C.

Les températures élevées diminuent le temps de survie, dans l'eau, des kystes et des œufs des vers parasites. Ainsi, les œufs du *Schistosoma* meurent au bout de neuf jours à une température variant entre 29 et 32 °C, au bout de trois semaines si cette dernière se situe entre 15 et 24 °C et au bout de trois mois à une température de 7 °C.[7]

L'eau chaude stimule la prolifération d'organismes nuisibles qui peuvent causer des odeurs et des goûts désagréables et même rendre l'eau malsaine. La croissance d'algues dans les eaux de surface ne devient ordinairement évidente qu'à une température supérieure à 15 °C.[27] Il semble qu'à une température supérieure à 16 °C, des champignons microscopiques puissent se développer dans les canalisations internes des édifices et donner à l'eau une odeur et un goût de terre, de boue ou de moisi.[28] Certaines proliférations organiques protégeant les bactéries contre l'action de la chloration,[22] il est préférable de leur faire échec au maximum en utilisant de l'eau froide.

Caractéristiques chimiques

Comme dans la plupart des autres réactions chimiques, la vitesse de formation des trihalométhanes produits par la chloration de l'eau potable est liée à la température. Stevens et ses collaborateurs ont montré que, dans de l'eau brute ayant reçu une dose de chlore de 10 mg/L, la vitesse de formation du chloroforme était multipliée par trois si la température passait de 3 °C à 25 °C.[29] Les auteurs d'une étude portant sur les substances organiques dans l'eau potable en Ontario ont conclu que la température de l'eau était probablement l'unique facteur important pouvant expliquer la variation saisonnière de la concentration des trihalométhanes.[30] Il ne semble pas, toutefois, qu'on ait cherché à étudier l'influence d'autres facteurs, comme la variation saisonnière du coefficient de dissolution des substances chimiques d'origine organique dans les eaux d'alimentation, le degré de turbidité ou la dose de chlore.

Dans les installations de traitement et de distribution des eaux, la corrosion et l'entartrage sont influencés par la combinaison complexe de multiples facteurs. Il est donc difficile de se prononcer avec certitude quant à l'influence exercée par la température sur la corrosion dans les installations de traitement des eaux. Les connaissances dont nous disposons à cet égard se limitent aux résultats obtenus à la suite de recherches expérimentales relatives à des cas d'espèce. On a montré, par exemple, l'effet produit par la température sur la corrosion de la fonte dans l'eau provenant de la Middlesex Water Company du New Jersey.[31] L'étude en question prouvait que la corrosion augmentait en fonction de la température et qu'il existait une corrélation véritable entre la moyenne mensuelle de la température de l'eau brute et la vitesse mesurée de corrosion. Sans inhibiteurs de corrosion, la vitesse de corrosion se trouvait multipliée par quatre lorsque la température passait de 3 °C à 26 °C. L'emploi de soude caustique, en modifiant le pH, réduisait le facteur de multiplication à deux avec la même augmentation de température. On s'est toutefois aperçu qu'à des températures inférieures à 10 °C, la corrosion s'avérait plus rapide dans l'eau contenant de la soude caustique que dans l'eau non traitée. Cette compagnie a donc cessé d'utiliser la soude caustique en hiver. L'oxygène dissous dans l'eau est un autre facteur de corrosion; or la solubilité de l'oxygène décroît proportionnellement à l'augmentation de la température (10,15 mg/L à 15 °C par rapport à 7,1 mg/L à 35 °C).[32] Le phénomène est cependant mineur par rapport à la variation contraire — et bien plus prononcée — des vitesses de corrosion dont il a été question plus haut. Il est donc peu probable que l'oxygène dissous soit un élément important eu égard à l'influence exercée par la température sur la corrosion.

L'indice de solubilité du carbonate de calcium décroît avec la température. Cependant, lorsque l'alcalinité est faible (<50 mg/L de carbonate de calcium), la baisse du pH correspondant à l'augmentation de la température rend le carbonate de calcium plus soluble. Un tel effet sur l'indice de saturation tend à réduire l'entartrage par le carbonate de calcium; en revanche, il rend l'eau plus corrosive et, par voie de conséquence, favorise la détérioration des canalisations d'eau chaude.[13]

Effets sur la santé

La température de l'eau n'a pas d'influence directe sur la santé. Parmi les relations que nous venons d'énumérer, l'effet de la température sur l'efficacité de la chloration et de la coagulation, d'une part, et l'influence exercée par la température sur la survie des microorganismes, d'autre part, sont les plus importantes du point de vue de l'hygiène.

Justification

1. L'importance de la température comme facteur décisif relativement à la qualité de l'eau tient à ses relations avec les autres paramètres. La plupart de ces relations touchent les aspects de la qualité organoleptique de l'eau; d'autres sont indirectement liées à la santé.

2. La sapidité de l'eau potable dépend, dans une certaine mesure, de sa température. On fait souvent état d'un seuil de 19 °C; cette limite dépassée, la plupart des consommateurs se plaignent. À des températures supérieures à 15 °C, la prolifération d'organismes indésirables dans le réseau de distribution devient gênante et risque de produire des odeurs et des goûts désagréables. Il est possible de remédier à l'effet causé par la basse température de l'eau sur les procédés de traitement en modifiant la quantité des produits chimiques utilisés. La basse température n'empêche en rien la production d'une eau de qualité acceptable.

3. La température maximale acceptable pour des raisons d'ordre organoleptique est donc de 15 °C. Il est avantageux à plusieurs égards de ne pas dépasser ce plafond. Dans l'eau froide, il est plus facile de conserver un résiduel de chlore puisque la réaction chimique qui entraîne l'élimination de l'acide hypochloreux est ralentie. Du point de vue économique, les pertes dues à la corrosion sont alors moins élevées. Enfin, les buveurs qui disposent d'une eau fraîche au robinet ne sont pas tentés d'avoir recours à des sources d'eau qui risqueraient d'être nocives.

Références bibliographiques

1. The international practical temperature scale of 1968, amended edition 1975. Metrologia, 12 : 7 (1976).

2. American Public Health Association / American Water Works Association / Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 14e édition. Washington, D.C. (1976).

3. Bennett, W.F., Hollar, A.C. et Hurst, W.D. An usual form of corrosion. J. Am. Water Works Assoc., 69 : 26 (1977).

4. Gerritsen, E. Northern Ontario water distribution systems. J. Am. Water Works, 69 : 242 (1977).

5. Environnement Canada. Water Quality Data for Surface Water for Alberta, 1961-1971 (1975).

6. Van Everding, R.O. Communication personnelle. Ministère des Pêcheries et de l'Environnement du Canada (janvier 1978).

7. State Water Quality Control Board, California. Temperature. Dans : Water Quality Criteria. 2e édition, p. 283 (1963).

8. Burnson, B. Seasonal temperature variations in relation to water treatment. J. Am. Water Works Assoc., 30 : 793 (1938).

9. Pangborn, R.M. et Bertolero, L.I. Influence of temperature on taste intensity and degree of liking of drinking water. J. Am. Water Works Assoc., 64 : 511 (1972).

10. Maudling, J.S. et Harris, R.H. Effect of ionic environment and temperature on the coagulation of color-causing organic compounds with ferric sulfate. J. Am. Water Works Assoc., 60 : 460 (1968).

11. Camp, T.R., Root, D.A., et Bhoota, B.V. Effects of temperature on rate of floc formation. J. Am. Water Works Assoc., 32 : 1913 (1940).

12. Nasmith, G.G. The trial filtration plant, Ottawa, Canada. J. Am. Water Works Assoc., 22 : 1017 (1930).

13. American Water Works Association. Water Quality and Treatment, 3e édition, pp. 89 et 305. McGraw-Hill, Toronto (1971).

14. Weber, W.J., et Morris, J.C. Equilibria and capacities for adsorption on carbon. J. Sanit. Eng. Div. Proc. Am. Soc. Civ. Eng., 90 (5A3), 79 (1964).

15. Langelier, W.F. Effect of temperature on the pH of natural waters. J. Am. Water Works Assoc., 38 : 179 (1946).

16. Butterfield, C.T., Wattie, E., Megregian, S., et Chambers, C.W. Influence of pH and temperature on the survival of coliforms and enteric pathogens when exposed to free chlorine. Public Health Rep., 58 : 1837 (1943).

17. Ames, M. et Whitney-Smith, W. J. Bacteriol., 47 : 445 (1944).

18. Chambers, C.W. An overview of the problems of disinfection. Dans : Proceedings of the Symposium on Wastewater Treatment in Cold Climates, University of Saskatchewan, Saskatoon, p. 423. Environnement Canada, EPS 3-WP-74-3 (mars 1974).

19. White, G.C. Disinfection: The last line of defense for potable water. J. Am. Water Works Assoc., 67 : 410 (1975).

20. Morris, J.C. Chlorination and disinfection — state of the art. J. Am. Water Works Assoc., 63 : 769 (1971).

21. Farooq, S., Engelbrecht, R.S., et Chian, E.S.K. Influence of temperature and U.V. light on disinfection with ozone. Water Res, 11 : 737 (1977).

22. Santé et Bien-être Canada. Microbiological quality of drinking water. Publication 77-EHD-2 (1977).

23. Sawyer, C.N. et McCarty, P.L. Residual chlorine and chlorine demand. Dans : Chemistry for Sanitary Engineers, 2e édition, p. 366. McGraw-Hill, Toronto (1967).

24. Rudolfs, W., Falk, L.L. et Ragatzkie, R.A. Literature review on the occurence and survival of enteric, pathogenic, and relative organisms in soil, water, sewage, and sludges, and on vegetation. Sewage Ind. Wastes, 22 : 1261 (1950).

25. Rao, S.S. et Henderson, J. Summary report of microbiological baseline data on Lake Superior, 1973. Scientific series No. 45. Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada (1974).

26. Taylor, F.B., Eagen, J.H., Smith, H.F.A. Jr. et Coene, R.F. The case for water-borne infectious hepatitis. Am. J. Public Health, 56 : 2093 (1966).

27. Silvey, J.K., Henley, D.E. et Wyatt, J.T. Planktonic blue-green algae: growth and odor-production studies. J. Am. Water Works Assoc., 64 : 35 (1972).

28. Burman, N.P. Discussion concernant : Packham, R.F. Studies of organic colour in natural water. Proc. Soc. Water Treat. Exam., 13 : 316 (1964).

29. Stevens, A.A., Slocum, C.J., Seeger, D.R. et Robeck, G.G. Chlorination of organics in drinking water. J. Am. Water Works Assoc., 68 : 615 (1976).

30. Smillie, R.D., Nicholson, A.A., Meresz, O., Duholke, W.K., Rees, G.A.V., Roberts, K., et Fung, G. Organics in Ontario Drinking Water, 2e partie. Ministère de l'Environnement de l'Ontario, Toronto (avril 1977).

31. Mullen, E.D. et Ritter, J.A. Potable water corrosion control. J. Am. Water Works Assoc., 66 : 473 (1974).

32. Hoak, R.D. The thermal pollution problem. J. Water Pollut. Control Fed., 33 : 1267 (1961).