

Les caractéristiques physiques de l'eau dépendent de sa température. Toute variation de celle-ci a des répercussions sur les processus de traitement, mais aussi sur le dimensionnement des équipements et leur exploitation.

RÉGLEMENTATION

Le décret français n° 2001-1220 du 20 décembre 2001, codifié en 2003 dans le code de la santé publique (voir Memotec n°12) indique comme référence de qualité une température de 25°C. Les limites de qualité pour les eaux douces superficielles destinées à la production d'eau potable, données par ce même décret, sont de 22°C comme valeur guide, avec une valeur limite impérative de 25°C.

La température idéale pour se désaltérer est comprise entre 12 et 15°C.

EFFETS SUR LES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DE L'EAU

TEMPÉRATURE (°C)	POIDS SPÉCIFIQUE γ (kN/m ³)	MASSE VOLUMIQUE ρ (kg/m ³)	MODULE D'ÉLASTICITÉ $E \times 10^{-6}$ (kN/m ²)	VISCOSITÉ DYNAMIQUE $\eta \times 10^{-3}$ (Pa.s)	VISCOSITÉ CINÉMATIQUE $\nu \times 10^{-6}$ (m ² /s)	TENSION SUPERFICIELLE σ (N/m)	PRESSON DE VAPEUR P_v (kN/m ²)
0	9,805	999,8	1,98	1,781	1,785	0,0765	0,61
5	9,807	1000,0	2,05	1,518	1,519	0,0749	0,87
10	9,804	999,7	2,10	1,307	1,306	0,0742	1,23
15	9,798	999,1	2,15	1,139	1,139	0,0735	1,70
20	9,789	998,2	2,17	1,002	1,003	0,0728	2,34
25	9,777	997,0	2,22	0,890	0,893	0,0720	3,17
30	9,764	995,7	2,25	0,798	0,800	0,0712	4,24
40	9,730	992,2	2,28	0,653	0,658	0,0696	7,38

Tableau 1

La conductivité de l'eau dépend de la température au moment de la mesure. Si la température est différente de 20°C, la formule suivante donne la correction à effectuer :

$$C_T = C_{20^\circ\text{C}} [1 + 0,02 (T - 20)] \quad C \text{ en } \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$$

EFFETS DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU SUR LES PROCESSUS DE TRAITEMENT

Coagulation

La température de l'eau joue un rôle déterminant dans le choix du coagulant. Ainsi, le chlorure ferrique et les polychlorures d'aluminium sont plus adaptés aux eaux froides que le sulfate d'alumine. Le pH optimum de coagulation, correspondant à la solubilité minimum de l'hydroxyde d'aluminium, augmente quand la température diminue (6,3 à 25°C ; 6,8 à 4°C)

Floculation

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \times \eta}}$$

G : gradient de vitesse (s⁻¹)
P : puissance dissipée (W)
V : volume du bassin (m³)
 η : viscosité dynamique (Pa.s)

Le gradient de vitesse, donné par la relation ci-contre, est l'un des paramètres agissant sur la probabilité de rencontre des particules dans le processus de floculation. Il dépend de la viscosité dynamique de l'eau, et donc de sa température.

Décantation

La vitesse de décantation d'une particule, discrète ou diffuse, est fonction des forces de traînée, qui s'opposent aux forces de gravité. Elles dépendent de la viscosité de l'eau et donc de sa température. Suivant la loi de Stokes, la vitesse de décantation d'une particule est inversement proportionnelle à la viscosité dynamique :

$$V_{temp.1} = V_{temp.2} \times \frac{\eta_{temp.2}}{\eta_{temp.1}}$$

Les variations de la température de l'eau entre les différentes zones d'un ouvrage peuvent entraîner des courants de densité qui dirigent l'eau vers la surface (T↗ d↘) ou vers le fond (T↘ d↗). Il en résulte des temps de séjour réels dans les bassins éminemment variables.

$$Re = \frac{V \times Dh}{\nu}$$

V : vitesse (m/s)
Dh : diamètre hydraulique (m)
 ν : viscosité cinématique (m²/s)

Le rendement de la décantation dépend du type de l'écoulement dans les ouvrages. Plus l'écoulement est laminaire, meilleur est le rendement de décantation. Le type d'écoulement est défini par le nombre de Reynolds Re (adimensionnel) qui dépend, entre autre, de la viscosité cinématique, et donc de la température.

Filtration sur lit granulaire

Les pertes de charge dans les filtres augmentent quand la viscosité de l'eau augmente, et donc quand la température baisse ; ce qui nécessite de diminuer la vitesse de filtration, et ceci pour une charge en MES donnée, afin de conserver la même durée de cycle entre deux lavages.

L'activité de la biomasse qui se développe sur les grains diminue avec la température, ce qui affecte la qualité du filtrat, et notamment sa turbidité et la teneur résiduelle en ammoniacque.

Pour les filtres à lavage à contre-courant d'eau seule, il faut augmenter le débit d'eau quand la température augmente, et donc quand la viscosité diminue, pour conserver un même taux d'expansion du média.

Filtration membranaire

Les performances des membranes varient avec la température de l'eau (tableau 2).

TVISCOSITÉ ↑	T↓VISCOSITÉ ↓
Diminution du flux transmembranaire	Augmentation du flux transmembranaire
Augmentation de la pression d'alimentation pour conserver la même production	Diminution de la pression d'alimentation pour conserver la même capacité de production
Diminution du passage en sels dissous	Augmentation du passage en sels dissous
	Diminution de la durée de vie

Tableau 2

Facteur de correction pour déterminer la variation du flux transmembranaire quand la température de l'eau d'alimentation est différente de la température de référence, soit 25°C :

$$TCF = 1,026^{(T-25)}$$

Désinfection

Le taux d'inactivation des bactéries, virus...augmente avec la température. Pour une même efficacité, le paramètre CT (concentration en désinfectant en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) x temps de contact en minute) diminue avec la température de l'eau. Le tableau 3 donne la valeur nécessaire du CT pour un abattement de 3 log (99,9 %) des giardia par le chlore à pH = 7 (voir Memotec n°14).

T (°C)	CT (mg.min/l)
1	236
5	165
10	124
15	83
20	62
25	41

Tableau 3

L'augmentation de la température entraîne celle de :

- la demande en chlore, du fait de l'accroissement de l'activité biologique ;
- la formation des sous-produits de la désinfection. Ainsi pour une désinfection au chlore les THM augmentent de $50 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ par tranche de 10°C.

Oxygénation

T (°C)	C ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
5	12,8
10	11,3
15	10,1
20	9,2
25	8,4
30	7,7
35	7,1

Tableau 4

La solubilité de l'oxygène diminue quand la température de l'eau augmente, comme le montre le tableau 4 établi pour la pression atmosphérique, et au niveau de la mer.

Il doit être tenu compte de la valeur de la concentration en oxygène dans tous les processus biologiques, et ceci à la température d'exploitation qui peut être éminemment variable.

Il est rappelé que le décret n°2001-1220 indique dans son annexe I.3 que le taux de saturation en oxygène dissous (% O_2) dans les eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, doit être supérieur à 50 %.

Traitements correctifs du caractère agressif ou incrustant d'une eau

Toute modification de la température de l'eau fait varier son pH de saturation en fonction inverse ($T \searrow \text{pH}_s \nearrow$ - $T \nearrow \text{pH}_s \searrow$), ce qui influe sur la valeur de l'indice de saturation.

$$\text{Isat} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad \text{Isat positif, l'eau est incrustante}$$

$$\text{Isat négatif, l'eau est agressive}$$

Il est également à noter que le pH de l'eau a tendance à diminuer quand la température augmente.

AUTRES EFFETS DE LA TEMPÉRATURE

Solubilité des réactifs de traitement

En règle générale la solubilité des réactifs augmente avec la température de l'eau de dilution, à l'exception de la chaux, dont la solubilité est donnée par le tableau 5.

Température et hydraulique

Les pertes de charge dans un écoulement sous pression dépendent du nombre de Reynolds, dont la valeur est fonction, entre autre, de la viscosité de l'eau, et donc de sa température.

La densité de l'eau diminuant avec la température, entraîne une diminution de la puissance absorbée par les pompes.

T (°C)	CaO ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Ca(OH) ₂ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)
0	1,40	1,85
10	1,33	1,76
20	1,25	1,65
30	1,16	1,53
40	1,06	1,41
50	0,97	1,28
60	0,88	1,16
70	0,80	1,06
80	0,71	0,94
90	0,64	0,85
100	0,5	0,7

Tableau 5

Le NPSH disponible d'une installation de pompage dépend, entre autre, de la pression de vaporisation. Ainsi quand la température augmente, la pression de vaporisation augmente également et vient en diminution de la pression atmosphérique.

CONCLUSION

On constate que la température ainsi que ses variations saisonnières doivent être prises en compte, bien qu'elles soient trop souvent négligées dans la définition des processus de traitement et dans l'exploitation des usines de production d'eau potable.

De plus, les garanties de la qualité de l'eau produite devraient être liées à une valeur ou à une gamme de températures de l'eau à traiter.