

TURBIDITÉ

DÉFINITION

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite (APHA-AWWA-WEF, 1998; US EPA, 1999; Santé Canada, 1995). Elle est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes. Les sources de matières particulaires peuvent être d'origine naturelle (acides humiques, particules provenant de la dégradation des végétaux ou de l'érosion du sol) ou anthropique (rejets industriels, agricoles et urbains) (US EPA, 1999). Dans le réseau de distribution, après le traitement de l'eau, la turbidité peut s'accroître par la post-floculation de coagulants résiduels dissous, la recroissance de micro-organismes, la remise en suspension de la matière déposée dans les canalisations ainsi que par la corrosion de la tuyauterie (Santé Canada, 1995).

MÉTHODES D'ANALYSE

La première méthode de mesure utilisée était le turbidimètre à bougie de Jackson, constitué d'une bougie à luminosité normalisée située sous un tube contenant l'eau à évaluer. Une unité Jackson de turbidité (UJT) correspond approximativement à la hauteur de la colonne d'eau à laquelle la flamme cesse tout juste d'être visible par le dessus de cette colonne (US EPA, 1999).

Bien que l'on retrouve encore des références à la méthode de Jackson, des turbidimètres néphélométriques sont maintenant utilisés; ils mesurent l'intensité de la lumière déviée à un angle de 90° par rapport à la lumière incidente qui traverse en ligne droite l'échantillon à analyser. Un angle de diffusion de 90° est celui qui est le moins sensible à diverses interférences comme la dimension et la forme des particules. Une suspension de formazine est habituellement utilisée comme étalon pour étalonner un néphélomètre. Il est cependant difficile de corrélérer la turbidité à une concentration massique de solides car la taille, la forme et l'indice de réfraction influent sur la diffusion de la lumière et sont sans lien avec la masse. C'est pourquoi la turbidité est évaluée en unités néphélométriques de turbidité (UNT) et non en termes de concentration de matières en suspension (MES) par volume d'eau (en mg/l, par exemple) (APHA-AWWA-WEF, 1998; Santé Canada, 1995).

La limite de détection habituelle des néphélomètres utilisée dans les laboratoires est de l'ordre de 0,1 UNT, ce qui correspond à environ 20 particules/ml; une turbidité de 0,5 UNT équivaut à environ 1 000 particules/ml alors que 5 UNT correspondent à environ 20 000 particules/ml (Santé Canada, 1995). Une turbidité supérieure à 5 UNT est généralement visible à l'œil, ce qui peut amener la majorité des consommateurs à rejeter une telle eau (Santé Canada, 1996).

TECHNIQUES DE RÉDUCTION DE LA TURBIDITÉ

La turbidité de l'eau brute est réduite aux normes ou seuils acceptables (voir la section *Normes et recommandations* ainsi que le tableau de l'annexe 1) par diverses techniques employées dans les usines de traitement de l'eau potable. On peut sommairement les regrouper en trois catégories : filtration, filtration lente et filtration par membrane (CFPT, 2002).

La filtration, assistée d'un procédé chimique, comprend deux étapes. La première, appliquée au début du processus de traitement, est la coagulation/floculation qui consiste à ajouter des produits chimiques (sels d'aluminium et ferreux) qui provoquent l'agrégation des petites particules pour en former de plus grosses.

Ces dernières sont par la suite interceptées lors du passage de l'eau dans les filtres à sable (ou d'autres matériaux granulaires). Ces traitements sont habituellement capables de produire une eau traitée ayant une turbidité de l'ordre de 0,3 UNT (CFPT, 2002).

Avec la filtration lente (sur sable ou filtration sur terre de diatomées), l'enlèvement des particules dépend de la formation d'un film biologique (constitué de bactéries, d'algues ou d'autres types de micro-organismes) à la surface des grains de sable du filtre. L'eau brute traverse le sable où des mécanismes physiques, chimiques et biologiques retiennent ou éliminent les particules. Un tel système peut habituellement réduire la turbidité à 1,0 UNT (CFPT, 2002).

La filtration à membrane peut se faire à l'aide de quatre procédés de traitement effectués avec des membranes semi-perméables fonctionnant sous pression (osmose inverse, nanofiltration, ultrafiltration et microfiltration). Certaines d'entre elles sont très efficaces, étant capables d'éliminer la totalité des kystes de *Cryptosporidium* et des virus. Il est possible d'obtenir une eau d'une turbidité de 0,1 UNT ou moins (CFPT, 2002).

NORMES ET RECOMMANDATIONS

Au Québec, le *Règlement sur la qualité de l'eau potable* traite de la turbidité en précisant quatre normes, deux seuils de vérification du traitement et deux critères d'exclusion de la filtration.

Normes

La turbidité de l'eau distribuée ne doit jamais dépasser 5,0 UNT pour tous les systèmes de distribution (annexe 1.6 du règlement). Par ailleurs, afin de vérifier l'efficacité de la filtration, quand elle est utilisée, il existe trois normes technologiques applicables à l'eau filtrée qui doivent être mesurée aux quatre heures à la sortie de chacun des filtres de l'usine de traitement; ces normes ne sont applicables qu'à une usine traitant une eau de surface ou sous l'influence de l'eau de surface (4^e colonne de l'annexe 1). La norme applicable varie cependant en fonction du type de traitement utilisé pour la traiter : par exemple, pour une filtration conventionnelle assistée chimiquement, la norme est de 0,5 UNT (voir la 4^e colonne de l'annexe 1). Cette norme ne doit pas être dépassée dans plus de 5 % des échantillons pendant une période de 30 jours consécutifs.

Seuils

Il existe aussi deux seuils de vérification de l'efficacité du traitement global de l'eau, qui ne sont pas des normes mais que l'exploitant doit respecter : 0,5 UNT pour une source sous influence de l'eau de surface et 1,0 UNT pour une eau souterraine désinfectée qui n'est pas soumise à l'influence des eaux de surface. Cette mesure est effectuée par l'exploitant sur la base des prélèvements mensuels qui doivent être faits au centre du réseau de distribution. Les deux dernières colonnes de l'annexe 1 font la synthèse de ces situations et peuvent être utilisées à titre de référence pour savoir dans quelles circonstances les valeurs de la turbidité dépassent les seuils établis.

Critères

Il existe aussi deux critères d'exclusion de la filtration reliés à la turbidité mesurée dans l'eau brute sous l'influence d'eaux de surface, soit 5,0 UNT qui doit être respecté en tout temps et 1,0 UNT qui doit être respecté dans 90 % des échantillons (3^e colonne de l'annexe 1). Ces critères doivent être respectés par un exploitant qui veut éviter de filtrer une eau sous influence directe des eaux de surface (article 5 du règlement) (voir aussi l'annexe 1).

Le respect des normes et des seuils doit être vérifié par l'exploitant qui doit aviser le ministère de l'Environnement (MENV) lors de certains dépassements et doit prendre les mesures requises pour corriger le problème sous-jacent, le cas échéant. La direction de santé publique (DSP) devrait être avisée par le MENV si l'efficacité de la désinfection est compromise ou lorsqu'une norme (non un seuil) est dépassée.

Au Canada, les recommandations sur la qualité de l'eau potable font état d'une concentration maximale acceptable (CMA) de 5 UNT au lieu de consommation (CFPT, 2002; Santé Canada, 1995; 1996). Aux États-Unis, la turbidité ne fait pas l'objet d'une norme par l'agence fédérale de réglementation de l'environnement (US EPA, 2001). Par ailleurs, les lignes directrices de l'OMS (Organisation mondiale de la Santé) précisent que la turbidité médiane d'une eau désinfectée ne devrait pas être supérieure à 1 UNT, la valeur maximale tolérée dans un seul échantillon étant de 5 UNT (OMS, 1996).

RISQUE SANITAIRE

Corrélation avec la qualité microbienne de l'eau

La turbidité peut avoir des effets importants sur la qualité microbienne de l'eau potable. En effet, la croissance microbienne dans l'eau est particulièrement marquée à la surface des particules et à l'intérieur des floes, naturellement présents dans l'eau ou formés lors de la *coagulation*. Ce phénomène résulte de l'adsorption d'éléments nutritifs aux surfaces, ce qui permet aux bactéries de croître plus efficacement (CFPT, 2002). Plusieurs études ont mis en évidence un lien entre la turbidité et la présence de micro-organismes (virus, bactéries et protozoaires) dans l'eau potable. Il a été démontré que :

- dans une eau ayant une faible turbidité, l'énumération microbienne est généralement faible;
- il existe une bonne corrélation entre le décompte microbien et la turbidité.

Par exemple, dans le cas des parasites *Cryptosporidium* sp. et *Giardia* sp, la réduction de la turbidité par un facteur de 10 (1 log) se traduit généralement par une réduction de 0,89 log du nombre de protozoaires (US EPA, 1999). Dans ce contexte, la mesure de la turbidité est donc un outil utile pour évaluer ou prédire l'efficacité d'enlèvement des parasites par un système de traitement de l'eau (US EPA, 1999; Hoff, 1978; LeChevallier *et al*, 1981). La corrélation n'est cependant pas uniforme; dans certains cas elle est bonne avec une turbidité inférieure à 1 UNT alors que d'autres études ne rapportent aucun lien entre le nombre de micro-organismes et la turbidité si cette dernière est inférieure à 1 UNT (CFPT, 2002; Santé Canada, 1995).

Données épidémiologiques

Sur le plan épidémiologique, une corrélation a été mise en évidence entre une turbidité élevée et des éclosions ou des épidémies de gastro-entérites consécutives à la consommation d'eau potable. Ainsi, lors de l'épidémie de cryptosporidiose survenue à Milwaukee en 1993 (400 000 personnes affectées), une augmentation de la turbidité de l'eau traitée avait été notée plusieurs jours avant l'accroissement des cas de gastro-entérites. La turbidité qui se maintenait habituellement à 0,3 UNT s'est accrue durant les deux semaines précédant l'épidémie, atteignant 1,7 UNT, alors que les coliformes totaux et le chlore résiduel libre respectaient les normes. Dans un autre contexte, une association a été mise en lumière à Philadelphie où, dans certains secteurs de la ville, un accroissement de la turbidité de l'eau traitée s'est traduit par une augmentation des consultations pour des gastro-entérites chez les personnes âgées, 9 à 11 jours plus tard (Schwartz *et al*, 2000). À Vancouver, ville alimentée par des eaux de surface chlorées mais non filtrées, une augmentation statistiquement significative des consultations pour gastro-entérites a été mise en évidence lorsque la turbidité de l'eau traitée dépassait 1,0 UNT (Aramini *et al.*, 2000). Par ailleurs, une analyse écologique temporelle effectuée dans la ville du Havre (France), de 1993 à 1996, a mis en évidence un lien entre une augmentation de la turbidité de l'eau brute et la consommation de médicaments anti-diarrhée achetés en pharmacie dans les trois semaines suivant cet accroissement (Beauveau *et al*, 1999). Tel qu'observé à Milwaukee, Philadelphie et Vancouver, un décalage de plusieurs jours est habituellement noté entre l'augmentation de la turbidité et la survenue des cas. Ces informations indiquent cependant que la turbidité peut être considérée comme un indicateur indirect prédictif du risque sanitaire et qu'elle devrait demeurer faible et constante.

Interférence avec les méthodes de dénombrement des micro-organismes

La turbidité peut influencer sur le dénombrement des bactéries et des virus. L'énumération des bactéries se fait par incubation sur des milieux nutritifs pendant un certains temps (quelques heures à quelques jours) suivi du décompte des colonies visibles qui se forment durant cette période. On suppose que chacune des colonies provient d'une seule cellule. Toutefois, une colonie unique pourrait résulter de la croissance de nombreuses bactéries adsorbées à la surface d'une seule particule. Dans ce cas, le nombre réel de bactéries serait sous-évalué (CFPT, 2002). Il n'existe pas de consensus sur la valeur de la turbidité ayant une influence sur l'énumération, certains la fixant à 1 UNT et d'autres à 10 UNT (Santé Canada, 1995). Les données expérimentales montrent toutefois que la proportion de résultats sous-estimant le nombre de micro-organismes s'accroît graduellement à mesure que la turbidité augmente. Cette proportion serait de l'ordre de 20 % avec une turbidité de 1 à 2 UNT, de 45 % avec 5 UNT et de près de 80 % à 10 UNT (CFPT, 2002; LeChevallier *et al.*, 1981; Santé Canada, 1995).

Recroissance microbienne dans les canalisations

Une turbidité élevée pourrait favoriser la recroissance de certaines bactéries dans le réseau de distribution, tel que démontré par Power et Nagy (1999) qui ont mis en évidence une corrélation entre ce paramètre et la recroissance des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives (BHAA). Par contre, McCoy et Olson (1986), qui ont étudié divers réseaux de distribution du Sud de la Californie, n'ont pas été en mesure de faire un lien entre la turbidité dans les canalisations et le décompte microbien. Une observation similaire a été faite par Reilly et Kippin (1983) qui ont rapporté une absence de lien entre la turbidité et l'énumération des BHAA. Ceci indique l'impossibilité d'établir un modèle général ou applicable à toutes les situations. Il est cependant important de ne pas confondre la turbidité générée dans le réseau de canalisation et celle à la sortie de l'usine de traitement, c'est-à-dire avant l'entrée dans le système de distribution. Une augmentation de la turbidité dans le réseau de distribution peut simplement indiquer un problème de corrosion, de recroissance microbienne, un mauvais entretien ou un trop faible chlore résiduel.

Effacité de la désinfection

L'accroissement de la turbidité peut entraîner une augmentation des doses de chlore requises (CFPT, 2002; Santé Canada, 1995). Cette réduction de l'efficacité de la chloration est directement liée à la protection des micro-organismes par les particules. Hoff (1978) rapporte que chaque accroissement unitaire de la turbidité, entre 1 et 5 UNT, diminue d'autant la quantité résiduelle de désinfectant active contre les micro-organismes. Cette évaluation est similaire à celle réalisée par LeChevallier *et al.* (1981) qui, à partir d'une modélisation, rapportent une efficacité de désinfection du chlore huit fois moindre lors d'un accroissement de la turbidité de 1 à 10 UNT. Cette modélisation traduisait des observations expérimentales rapportant une diminution (par le processus de chloration) de 20 % du nombre de coliformes totaux dans une eau avec une turbidité de 13 UNT, comparativement à une diminution de 100 % avec une turbidité de 1,5 UNT (LeChevallier *et al.*, 1981). L'effet négatif de la turbidité ne se manifeste pas qu'avec les désinfectants chimiques comme le chlore, mais aussi avec l'utilisation des rayons ultraviolets. Ainsi, il a été expérimentalement démontré qu'une augmentation de la concentration de 0 à 0,4 % de particules argileuses ou d'acides humiques pouvait accroître de 75 % la survie de *Klebsiella aerogenes* soumise à un traitement aux UV (Bitton *et al.*, 1972).

Fiche rédigée par :

Pierre Chevalier

et les membres du Groupe scientifique sur l'eau de l'Institut national de santé publique du Québec

Citation suggérée pour la présente fiche :

Groupe scientifique sur l'eau. 2003. Turbidité. Dans *Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine*. Institut national de santé publique du Québec, 5 p.

RÉFÉRENCES

APHA, AWWA, WEF (1998) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association et Water Environment Federation, 20^e édition, pagination multiple.

Aramini, J., J. Wilson, B. Allen, J. Holt, W. Sears, M. McLean et R. Copes (2000) Drinking water quality and health care utilization for gastro-intestinal illness in greater Vancouver. Santé Canada, 78 p + annexe.

Beaudeau, P., P. Payment, D. Bourderont, F. Mansotte, O. Boudhabay, B. Laubiès et J. Verdière (1999) A time series study of anti-diarrheal drug sales and tap-water quality. *International Journal of Environmental Health Research*, 9: 293-311.

Bitton, G., Y. Henis et N. Lahav (1972) Effect of several clay minerals and humic acid on the survival of *Klebsiella* aerogenes exposed to ultraviolet irradiation. *Applied Microbiology*, 23: 870-874.

CFPT (2002) La turbidité de l'eau potable. Document de consultation publique préparé par le Sous-comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, 33.p.

Hoff, J.C. (1978) The relationship of turbidity to disinfection of potable water. Dans Hendricks CW, éditeur, *Evaluation of the microbiology standards for drinking water*, US EPA, pp.: 103-117.

LeChevallier, M.W., T.M. Evans et R.J. Seidler (1981) Effect of turbidity on chlorination efficiency and bacterial persistence in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 42: 159-167.

McCoy, W.F. et B.F. Olson (1986) Relationship among turbidity, particles counts and bacteriological quality within water distribution lines. *Water Research*, 20: 1023-1029.

OMS (1996) Guidelines for drinking-water quality, 2^e édition; vol 2: Health criteria and other supporting information. Organisation mondiale de la Santé, Genève.

Power, K.N. et L.A. Nagy (1999) Relationship between bacterial regrowth and some physical and chemical parameters within Sydney's drinking water distribution system. *Water Research*, 33: 741-750.

Reilly, J.K. et J.S. Kippin (1983) Relationship of bacterial counts with turbidity and free chlorine in two distribution systems. *Journal of American Water Works Association*, 75: 309-314.

Santé Canada (1995) La turbidité. Document de support aux recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada. Accessible à : http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/rqepdoc_appui/rqep.htm

Santé Canada (1996) Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, 6^e édition, révisée en 1997. Santé Canada, 102 p. Une mise à jour des recommandations peut être consultée à : http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_pubs/rqepdoc_appui/rqep.htm

Schwartz, J., R. Levin et R. Goldstein (2000) Drinking water turbidity and gastrointestinal in the elderly of Philadelphia. *Journal of Epidemiology, Community and Health*, 54: 45-51.

US EPA (1999) Guidance manual for compliance with the interim enhanced surface water treatment rule: turbidity provisions. United States Environmental Protection Agency (EPA 815-R-99-010), pagination multiple.

US EPA (2001) National primary drinking water standards. United States Environmental Protection Agency, 4 p. Accessible à : <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html>

ANNEXE 1

Normes, critères et seuils de turbidité, depuis la source d'approvisionnement jusqu'au robinet

Différentes catégories de réseaux		Différentes étapes dans la production d'eau de consommation			
Type d'approvisionnement	Type de traitement utilisé	Eau brute	Eau filtrée	Eau désinfectée	Eau distribuée (prélèvement mensuel - art. 19)
Eau sous l'influence directe d'eau de surface Le traitement doit permettre l'élimination minimale de : 99,9 % de <i>Giardia</i> sp. 99 % de <i>Cryptosporidium</i> sp. 99,99 % des virus	Eau filtrée et désinfectée Minimum 2 barrières (ex. : filtration + chlore) (eaux de surface surtout et certaines eaux souterraines mal captées)	Non applicable	Normes technologiques : 95 % des échantillons (30 jours consécutifs) : Filtration : 0,5 UNT Filtration lente : 1,0 UNT Filtration par membrane : 0,1 UNT	Seuil de vérification de l'efficacité de la désinfection : 1,0 UNT	Seuil de vérification de l'efficacité du traitement : 0,5 UNT Norme : 5,0 UNT en tout temps
	Eau désinfectée mais non filtrée Minimum 2 barrières (ex. : chlore + UV) (eaux souterraines surtout et certains lacs en tête de bassin)	Critères d'exclusion de la filtration : 1,0 UNT dans 90 % des éch. (90 jours consécutifs) 5,0 UNT en tout temps	Non applicable	1,0 UNT	0,5 UNT Norme : 5,0 UNT en tout temps
Eau souterraine Le traitement (si existant) doit permettre l'élimination de 99,99 % des virus.	Eau désinfectée Bonne chloration suffit [concentration du désinfectant et temps de contact (CT) à respecter] (eaux souterraines contaminées)	Relié au seuil : 1,0 UNT en tout temps	Non applicable	1,0 UNT	1,0 UNT Norme : 5,0 UNT en tout temps
	Eau non désinfectée (eaux souterraines non contaminées)	Relié à la norme : 5,0 UNT en tout temps	Non applicable	Non applicable	Norme : 5,0 UNT en tout temps

Note : consultez le texte de la fiche pour une interprétation plus facile de ce tableau