
La couleur

La limite maximale acceptable de la couleur, ≤ 15 unités de couleur vraie (UCV), a été fixée en fonction de considérations d'ordre surtout esthétique ou, plus précisément, organoleptique.

Définition et mesure

La couleur de l'eau potable est due à l'absorption de certaines longueurs d'onde des radiations de lumière normale «blanche» par des substances dissoutes ou dispersées à l'état colloïdal, à la fluorescence, dans la région des longueurs d'onde visibles, des substances qui absorbent la lumière «blanche» ou ultra-violette,⁽¹⁾ à la présence de matières solides colorées en suspension et enfin à la dispersion préférentielle des radiations d'ondes courtes par les petites particules en suspension.^(1,2) La couleur mesurée dans de l'eau contenant des matières en suspension est dite «couleur apparente»; la «couleur vraie» correspond à la mesure effectuée sur des échantillons d'eau débarrassés par centrifugation des particules en suspension.^(3,4) En général, la couleur vraie d'un échantillon d'eau est sensiblement moins intense que sa couleur apparente.⁽⁴⁾

La couleur d'un échantillon d'eau se mesure par comparaison visuelle avec une série de solutions étalons contenant des quantités connues de chloroplatinate de potassium et de chlorure de cobalt (II); les quantités de ce dernier produit sont modifiées de façon que la couleur de la solution étalon s'assortisse à la teinte, ordinairement jaune-brun, de l'échantillon d'eau provenant d'un endroit donné.⁽⁴⁾ Puisque la méthode standard au platine-cobalt a été conçue pour analyser une eau dont la couleur est d'origine naturelle, on utilise d'autres méthodes pour mesurer les couleurs dues essentiellement à des déchets industriels ou à des minéraux colorés.⁽⁴⁾ Lorsqu'on a de la difficulté à comparer la couleur de l'eau d'un aqueduc public avec celle des solutions étalons, on peut présumer l'action d'une pollution quelconque. Pour évaluer la concentration des substances organiques qui peuvent colorer l'eau, on peut aussi employer des méthodes qui s'appuient sur l'oxydation chimique,⁽⁵⁾ la spectrophotométrie d'absorption⁽⁶⁻⁸⁾ et le titrage colloïdal,⁽⁹⁾ pour n'en nommer que quelques-unes. En général, cependant, on ne décèle que très peu de corrélations entre les résultats chimiques et les mesures de la couleur

de l'eau provenant de différentes localités.^(1,10) Il ne faut pas s'étonner de ce résultat puisque l'on peut obtenir par la méthode standard des couleurs identiques pour des eaux contenant des proportions différentes d'agents colorants;⁽¹⁰⁾ cela veut simplement dire que les résultats obtenus par la méthode standard au platine-cobalt ne sont pas spécifiques.

Une unité de couleur vraie (UCV), ou une unité platine-cobalt, correspond à la quantité de couleur que révèle, dans les conditions d'échantillonnage prescrites, une solution étalon renfermant 1 mg de platine au litre.⁽⁴⁾ Ainsi, un échantillon ayant 15 UCV présente une couleur qui se rapproche beaucoup plus d'une solution contenant 15 mg de platine au litre que d'une autre qui en renferme 14 ou 16. La plupart des consommateurs peuvent déceler dans un verre d'eau une coloration de 15 UCV; 5 UCV suffisent à colorer de façon visible de plus grands volumes d'eau, comme le contenu d'une baignoire; peu de gens peuvent déceler un niveau de couleur de 3 UCV.⁽¹¹⁾

Le pH est l'un des facteurs importants qui influencent la couleur de l'eau de surface naturelle. L'accroissement de la couleur lorsqu'on hausse le pH d'un échantillon d'eau est communément appelé l'«effet indicateur»;⁽¹⁾ il est fortement recommandé de noter le pH de l'échantillon lors de la mesure de la couleur afin de tenir compte de cet effet indicateur.⁽⁴⁾ Autrement, il faudrait que toutes les mesures de la couleur soient effectuées à un pH normalisé de 8,3.⁽¹²⁾ Or, une telle normalisation ne vaudrait que dans le cadre d'une usine particulière de traitement, en raison de la non-spécificité de la méthode standard.

Présence dans l'environnement

L'eau potable peut être colorée pour l'une ou l'autre — ou plusieurs — de multiples raisons : la présence de matières organiques colorées provenant de la décomposition ou de l'extraction aqueuse de la végétation naturelle, comme dans le lessivage des sols;⁽¹³⁾ la présence de métaux tels que le fer, le manganèse et le cuivre, qui sont abondants dans la nature et qui se retrouvent dans l'eau en raison de l'érosion des roches ou de la corrosion des canalisations; la présence de déchets industriels très colorés, dont les plus communs sont les déchets des pâtes et papiers et des textiles.⁽¹⁴⁾

L'eau potable recueillie par les municipalités du Canada provient à au moins 90 % de sources de surface.⁽¹⁵⁾ La couleur des eaux de surface est due surtout à des matières organiques d'origine naturelle.⁽¹⁾ En général, les eaux de surface dures sont moins colorées que les eaux de faible dureté⁽⁶⁾ et le rapport matières organiques / matières inorganiques dans les solides totaux dissous tend à être plus élevé dans l'eau douce que dans l'eau dure. Ordinairement, l'eau souterraine doit sa couleur à sa teneur en minéraux. Dans certaines régions, surtout celles dont le sous-sol contient des stratifications calcaires, la couleur de l'eau souterraine, que celle-ci provienne de puits de surface⁽¹⁾ ou de puits profonds,⁽¹⁶⁾ peut être d'origine organique.

Chimie

Même si des recherches intensives ont été effectuées sur les colorants organiques de l'eau au cours des soixante dernières années,⁽¹⁷⁾ il nous manque encore d'importants renseignements d'ordre chimique à ce sujet. Les matières colorées organiques dissoutes sont presque exclusivement des substances humiques^(1,18-20) et les caractéristiques générales de ces substances sont presque semblables dans les eaux de surface de nombreuses parties du monde.^(1,6,18,21-23) On se perd encore en conjectures sur l'origine des substances humiques.⁽²⁴⁾ Il est probable que presque toute la teneur en humates de l'eau provient du sol, même si une partie en est due à des microorganismes aquatiques.^(25,26) Les substances humiques dissoutes qu'on isole de l'eau sont surtout des acides fulviques;^(1,5,19,22) l'acide humique est une composante importante des sédiments⁽²⁷⁾ et des particules charriées dans l'eau de surface.

Les substances humiques isolées du sol peuvent facilement adsorber diverses substances organiques.^(28,29) Cette capacité d'adsorption est probablement due en partie à la présence de pores ou de vides dans ces molécules polymères,⁽³⁰⁾ en partie aux «éléments emboîtés» des longues chaînes latérales aliphatiques lipophiles des matières humiques, en partie à l'affinité de certains adsorbats pour les groupes fonctionnels qu'on trouve dans les substances humiques (ester, éther, carboxyle, noyau benzénique, etc.) et en partie à la nature polyélectrolytique des polymères humates dans le cas des adsorbats polaires et chargés.

Les substances humiques adsorbent donc des composés organiques qui ont souvent d'inquiétantes propriétés toxiques, et elles en adsorbent parfois des quantités qui excèdent la solubilité dans l'eau de ces composés.^(31,32) Il s'agit là d'un problème important qui mérite qu'on s'y arrête. En outre, en raison de leurs propriétés électrolytiques polyanioniques, les substances humiques jouent un rôle essentiel dans la dissolution, le transport et le dépôt des ions inorganiques à charge positive, dont les plus importants, du point de vue de la salubrité publique, sont les ions de métaux lourds. La

plupart des métaux sont à un certain degré susceptibles de former des complexes avec les matières humiques en suspension dans l'eau. La formation de complexes peut accroître énormément la solubilité du métal; par exemple, les substances humiques naturellement présentes dans l'eau peuvent rendre le fer jusqu'à un milliard de fois plus soluble.⁽³³⁾ La détection dans les eaux très colorées de quantités de fer excédant grandement la solubilité ionique de ce métal est probablement due à la formation de complexes ferro-organiques plus qu'à la présence d'hydroxyde de fer dispersé à l'état colloïdal, comme on le croyait généralement. Il existe également des complexes mixtes avec anions communs, en particulier les complexes acide fulvique-phosphate de fer⁽³⁴⁾ et les complexes acide fulvique-citrate, phosphate et salicylate de cuivre.⁽³⁵⁾

Dans certaines circonstances, certains métaux forment aussi, avec les substances humiques, des complexes non solubles. On utilise ce phénomène pour les faire déposer dans les réseaux d'eau naturelle⁽³⁶⁾ et on l'exploite dans la production d'eau potable à partir d'eaux de surface colorées.⁽¹⁴⁾ En général, l'ordre de précipitation des complexes métalliques insolubles décroît avec la charge du métal; ainsi, les métaux trivalents sont de 700 à 1 000 fois plus efficaces comme agents coagulants que les métaux monovalents, et les ions métalliques à charge double sont de 30 à 60 fois plus efficaces que les ions de métaux monovalents.^(14,28,29) Le fer et l'aluminium, qui sont utilisés dans la purification de l'eau potable, semblent capables de former des complexes pontés insolubles avec deux ou plusieurs molécules d'acide fulvique; les formes polymérisées hydroxy-aquo du fer et de l'aluminium peuvent, elles aussi, intervenir dans la précipitation des substances humiques contenues dans une solution.⁽³⁷⁾

Le sort des métaux toxiques qui font partie de complexes, au cours du traitement de l'eau potable, est une question particulièrement pertinente. Le point de vue le plus généralement partagé est que, même si on peut retirer de l'eau une partie des métaux toxiques associés aux solides en suspension, le traitement classique ne parvient probablement à éliminer qu'une infime proportion des métaux à l'état de trace dissous dans l'eau.⁽³⁸⁾ D'autre part, si certains métaux toxiques en solution sont fermement complexés à des molécules organiques colorées qui sont elles-mêmes retirées de l'eau au cours du traitement, il se pourrait que la décoloration par précipitation ait aussi un effet sur l'élimination des métaux toxiques. Bien que nous disposions de certains renseignements selon lesquels de 30 à 65 % des métaux à l'état de trace pourraient être éliminés dans les usines classiques de traitement de l'eau,⁽³⁹⁾ personne ne sait à quel point les complexes sont liés à cette élimination.

Rapports avec les autres paramètres de la qualité de l'eau

La couleur présente des rapports directs avec la plupart des autres paramètres de qualité de l'eau potable. En général, ces rapports découlent de plusieurs phénomènes : en premier lieu, de la couleur elle-même, qui peut nuire à l'analyse colorimétrique de certains éléments constitutifs de l'eau potable; en second lieu, de la formation de complexes ou de l'adsorption de certains éléments constitutifs de l'eau sur les substances humiques dissoutes qui sont à l'origine de la couleur; en troisième lieu, des réactions entre les substances humiques et les produits chimiques ajoutés durant le traitement de l'eau potable; enfin, des éléments nutritifs que les substances humiques et leurs complexes métalliques fournissent à certains microorganismes. De plus, des combinaisons de certains des mécanismes précités interviennent dans la corrosion et l'entartrage des canalisations de distribution.

Caractéristiques physiques

Même si certains ouvrages anciens prétendent que les substances humiques dissoutes peuvent donner une saveur à l'eau,⁽⁴⁰⁾ personne ne semble s'être récemment penché sur la question. L'eau polluée fortement colorée aura souvent un goût désagréable, mais nous ne sommes pas encore en mesure d'établir un rapport de cause à effet.

Pour qu'une substance quelconque puisse dégager une odeur, il faut qu'elle possède une pression de vapeur appréciable; il est peu plausible que ce soit le cas des substances humiques dissoutes en raison de leur nature polyélectrolytique et de leur poids moléculaire élevé. On sait cependant que les matières organiques colorantes en suspension dans l'eau stimulent la croissance de nombreux microorganismes aquatiques,^(25,26,41) dont certains sont directement responsables de la production d'odeurs dans l'eau.

Comme l'acide humique et certains complexes métalliques des substances humiques sont peu solubles au pH de l'eau potable, ils sont partiellement à l'origine de la turbidité d'un échantillon d'eau. Le groupe des solides en suspension dans l'eau est aussi composé, pour une autre part, par un complexe de particules argileuses et de substances humiques. De plus, puisque les substances humiques «dissoutes» dans l'eau se retrouvent surtout sous forme de particules dispersées à l'état colloïdal et que les mesures optiques de la turbidité sont influencées par les particules de grosseur colloïdale,⁽²⁾ la coloration de l'eau influence les mesures de la turbidité. Il est également notoire que la coloration modérée de certains types d'eau brute a des répercussions néfastes sur l'élimination de la turbidité par coagulation et décantation.⁽¹³⁾ Les expériences en laboratoire ont montré que la présence d'acide fulvique abaisse le pH optimal pour l'élimination de la turbidité

et qu'elle augmente la quantité de coagulant nécessaire au traitement des suspensions d'argile diluée.^(42,43) Toutefois, la dose de coagulant et le pH optimal pour l'élimination de la couleur n'ont aucun rapport avec la présence d'argile.⁽⁴²⁾

Caractéristiques microbiologiques

Les substances humiques sont généralement considérées comme étant très résistantes à l'action des bactéries et des microorganismes supérieurs de l'environnement,^(28,29) et des études en laboratoire ont confirmé cette stabilité eu égard à des échantillonnages d'eau qui ont été conservés pendant des mois dans des conditions favorables à la prolifération des bactéries.^(1,44) Une étude préliminaire récente a mis en évidence deux transformations microbiologiques différentes, dans l'eau, des substances humiques solubles; l'une de ces transformations semble intensifier la couleur de l'eau tandis que l'autre l'atténue.⁽⁴⁵⁾ Plusieurs auteurs rapportent que certaines bactéries, certains champignons et certains microorganismes supérieurs peuvent utiliser les substances humiques comme source d'énergie.^(44,46-48) En revanche, des études portant sur d'autres espèces de microorganismes ont montré que ceux-ci sont incapables d'utiliser des substances humiques comme source alimentaire.⁽⁴⁹⁾ Le problème d'origine microbiologique le plus répandu, en ce qui concerne la couleur de l'eau, est celui de la production d'«eau rouge». Ce phénomène est attribuable au fait que de nombreux genres de bactéries sont capables d'oxyder le fer (II) en fer (III); or ce dernier ne reste pas en solution et se dépose par précipitation, sous forme d'hydroxyde, pour donner une couleur rouille à l'eau du robinet. Dans des cas graves, l'action de ces «bactéries ferrugineuses» a obstrué, ou presque, les réseaux de distribution. De la même façon, une teinte noirâtre peut être donnée à l'eau du robinet par l'action de bactéries capables d'oxyder le manganèse dissous en oxydes non solubles. Ce problème est plus fréquent dans les approvisionnements en eau souterraine que dans les approvisionnements en eau de surface.

Quelques chercheurs ont signalé la formation de substances colorées, simili-humiques, par les microorganismes aquatiques.^(25,26) La proportion de la couleur de l'eau qui est attribuable à ce phénomène est cependant considérée comme minime.⁽¹³⁾

La présence de couleur d'origine organique dans de l'eau traitée qui est désinfectée par le chlore est un facteur qui peut rendre difficile le maintien de chlore résiduel libre dans les réseaux de distribution. Même si ce phénomène est connu depuis au moins 1949,⁽⁴⁰⁾ ce n'est que lors de la découverte,^(50,51) en 1974, de quantités relativement importantes de chloroforme et d'autres trihalométhanes dans l'eau chlorée que l'on s'est penché avec beaucoup d'attention sur la réaction du chlore face aux substances humiques dissoutes.

Depuis 1974, il a été établi que les trihalométhanes sont des produits de la réaction du chlore (ainsi que du brome et de l'iode accessoirement présents) face à des substances humiques, et que le traitement classique de l'eau peut éliminer de l'eau brute la plupart de leurs précurseurs organiques.^(52,53)

Caractéristiques chimiques

Il est notoire que la présence de couleur peut entraver l'analyse chimique d'une foule d'autres éléments constitutifs de l'eau. Dans *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, par exemple, on signale que la couleur doit être supprimée ou que son effet doit être neutralisé dans le cas des méthodes d'analyse colorimétrique,⁽⁴⁾ et on a montré que l'utilisation d'une précipitation d'acétate cuivrique était efficace pour supprimer les interférences causées par la couleur dans les analyses colorimétriques normalisées concernant les chlorures, les fluorures, les nitrates (et les nitrites), les phosphates et les sulfates.⁽⁵⁴⁾

Les méthodes d'analyse non colorimétriques peuvent se trouver gênées par la présence de couleur en raison des propriétés qu'ont les substances humiques de se complexer avec les métaux. C'est pour cette raison que, par exemple, les échantillons avec lesquels on veut mesurer la dureté totale selon la méthode de titrimétrie qui fait appel à l'acide éthylénédiaminetétraacétique (EDTA) doivent subir une calcination avant analyse afin d'oxyder complètement la matière organique.⁽⁴⁾ L'utilisation d'électrodes ioniques spécifiques pour le dosage des métaux présents dans l'eau (comme le calcium⁽⁵⁸⁾ et le cadmium⁽⁶⁴⁾) donne de maigres résultats par suite de la formation de complexes en présence de matières humiques.⁽⁴⁾ Les substances humiques peuvent aussi entraver l'analyse des métaux présents à l'état de trace lorsque l'échantillon est concentré par extraction au moyen d'un solvant organique qui contient un agent de formation de complexes.^(55,56)

Voici certaines autres observations concernant le rapport entre la couleur et les paramètres chimiques : l'alcalinité liée aux bicarbonates de l'eau peut être détruite par les matières humiques;⁽⁵⁷⁾ les matières organiques et solides dissoutes totales peuvent comprendre des substances humiques; les substances humiques peuvent nuire à l'analyse des composés actifs au bleu de méthylène;⁽⁴⁾ l'acide nitrilo-triacétique peut former des complexes mixtes stables avec les acides fulviques et plusieurs métaux divalents.⁽⁵⁸⁾ Le phosphate peut aussi former des complexes mixtes avec l'acide fulvique et des métaux présents à l'état de trace,^(58,59) et un chercheur a récemment suggéré que tous les phosphates présents dans l'eau étaient complexés avec des matières humiques.⁽⁶⁰⁾

Le rapport entre la corrosion et l'entartrage, d'une part, et la teneur de l'eau en matières humiques, d'autre part, est complexe et important. La présence de petites

quantités de matières humiques (1 à 2 mg/L) facilite le dépôt d'une couche protectrice de carbonate de calcium dans les réseaux de distribution qui véhiculent de l'eau modérément incrustante;⁽¹⁴⁾ cependant, en grandes quantités, elles peuvent provoquer le dépôt de «boues humiques» suffisamment volumineuses pour entraver l'écoulement de l'eau dans les réseaux de distribution où l'on ajoute de la chaux comme traitement supplémentaire des eaux corrosives.⁽⁶¹⁾ La présence de matières humiques dans l'eau a des effets différents, par leur nature et leur ampleur, sur la corrosion du fer, du cuivre, de l'aluminium et du plomb.^(62,63) L'eau qui contient très peu de matières humiques dissoutes est parfois plus corrosive que celle qui en contient beaucoup. L'eau distillée, par exemple, est plus corrosive pour le plomb à un pH de 7 que d'autres types d'eau;⁽⁶⁴⁾ par ailleurs, on s'est aperçu, en Allemagne, que le traitement au charbon actif, qui élimine les substances humiques de l'eau de boisson, intensifiait la corrosion quand il éliminait toutes les matières humiques.⁽⁶⁴⁾

Une corrosion chimique poussée dans les réseaux de distribution peut aussi provoquer l'apparition de couleur (et de turbidité) dans l'eau du robinet. Une couleur rougeâtre est habituellement associée au fer, une teinte noirâtre au manganèse et une teinte bleuâtre au cuivre.

Effets sur la santé

Les limites de couleur de l'eau potable ont été traditionnellement établies d'après des critères d'ordre esthétique ou organoleptique. On a cependant constaté que la distribution d'une eau visiblement colorée pouvait détourner le consommateur de l'eau du robinet au profit d'autres sources fournissant une eau moins colorée mais dont la salubrité pouvait être suspecte.⁽⁶⁵⁾ Parmi les autres critères de salubrité, mentionnons le rapport précité entre la couleur et la production de trihalométhanes, l'enlèvement de la turbidité et l'interférence avec le chlore résiduel.

Une foule de répercussions bénéfiques sur la santé ont aussi été attribuées, au fil des ans, à la consommation d'eau colorée et à l'utilisation de préparations humiques dans le traitement des maladies.⁽⁶⁶⁾ En voici quelques-unes : le soulagement de la fièvre rhumatismale,⁽⁶⁷⁾ la guérison des maladies de l'épiderme,⁽⁶⁸⁾ la stimulation de la guérison des blessures,⁽⁶⁹⁾ la prévention de l'enflure des blessures de guerre. Les matières humiques présentes dans l'eau et les sédiments sont aussi étroitement associées à l'hydrothérapie et à la balnéothérapie, deux branches respectées et largement pratiquées de la médecine européenne.⁽⁷⁰⁾

Peu d'études toxicologiques de colorants organiques ont été entreprises. La dose létale moyenne pour l'administration intracardiaque d'acide humique chez le rat a été fixée à $1\,127 \pm 200$ mg/kg p.c. La réaction létale a été imputée à une réaction éventuelle entre les

acides humiques et les protéines sériques.⁽⁷¹⁾ On a donné à boire à des rats mâles, pendant des périodes atteignant 90 jours, de l'eau contenant 10, 100 et 1 000 mg/L d'une préparation à faible teneur en cendres tirée d'un acide fulvique du sol; on n'a constaté aucun changement significatif pour ce qui est du poids, de la consommation de nourriture et d'eau, du rapport poids du corps/poids des organes, ou de l'histologie des tissus.⁽⁷²⁾ Des rats ont aussi été gavés de la même préparation d'acide fulvique à raison de 1 000 mg/kg par jour pendant 14 jours. Il n'y a pas eu de mortalité à cette dose, mais le rythme de la prise de poids a été plus lent que chez les animaux témoins; on a aussi constaté de légères modifications dans certaines concentrations d'enzymes dans les reins.⁽⁷²⁾ Au cours de l'étude la plus pertinente effectuée jusqu'à ce jour, on a administré deux doses différentes de matière humique à des rats dans leur eau de boisson pendant des périodes de 19 à 35 semaines; les auteurs ont conclu qu'il faudrait prévoir un facteur de sécurité d'environ 100 pour la consommation humaine d'eau potable contenant 2,5 mg/L d'«acide humique».⁽⁶⁶⁾

Très peu de travaux ont été consacrés à l'étude comparative de la toxicité des métaux à l'état de trace et de leurs complexes humates pour l'homme.⁽⁷³⁾ On a montré que la toxicité aiguë du fer, du plomb, du baryum, de l'argent, du cuivre et du zinc, chez les mammifères, est considérablement augmentée lorsqu'on administre des injections intraveineuses de leurs complexes humates, mais que l'humate de plomb absorbé par voie orale est au moins 60 % moins toxique que l'acétate de plomb.⁽⁷⁴⁾ On a constaté que, en présence d'acide humique, d'importantes augmentations (50 à 100 %) des quantités de matières ioniques filtraient à travers l'intestin : calcium, magnésium, fer, manganèse, zinc et sulfates.⁽⁷⁵⁾ Malheureusement, les substances étudiées ne comprenaient pas de métaux toxiques à l'état de trace. Rien n'a encore été publié quant à la biodisponibilité, chez les mammifères, des complexes humates de substances organiques toxiques.

Justification

1. La couleur de l'eau potable peut être due à la présence de substances organiques colorées, à la présence de métaux comme le fer, le manganèse et le cuivre, à la présence de déchets industriels fortement colorés, dont les plus communs sont les déchets de pâtes et papiers et de textiles. Bien que la présence d'une couleur dans l'eau potable puisse avoir des répercussions indirectes sur la salubrité de l'eau, ses principaux inconvénients sont surtout d'ordre organoleptique ou esthétique. L'expérience a montré que les consommateurs pouvaient se détourner d'une eau potable à la couleur déplaisante au profit d'autres sources d'approvisionnement dont la salubrité n'est pas garantie.

2. La plupart des gens peuvent déceler une couleur dépassant 15 UCV dans un verre d'eau.

3. La limite maximale acceptable de la couleur de l'eau potable a donc été fixée à ≤ 15 UCV. La distribution d'une eau traitée dont la coloration ne dépasse pas cette limite permet au consommateur de détecter et de signaler rapidement toute coloration suspecte de l'eau du robinet qui peut être un indice de l'apparition de problèmes dans le réseau de distribution. Du même coup, les interférences de la couleur avec les procédés de traitement et avec les méthodes d'analyse de l'eau s'en trouvent réduites. L'élimination de toute couleur intertempore avant la chloration réduira également la production de trihalométhanes. Enfin, le fait de réduire la coloration de l'eau potable limite aussi les concentrations de matières indésirables qui peuvent se complexer avec les agents colorants organiques ou s'adsorber sur eux.

Références bibliographiques

1. Black, A.P. et Christman, R.F. Characteristics of colored surface waters. J. Am. Water Works Assoc., 55 : 753 (1963).
2. Black, A.P. et Hannah, S.A. Measurement of low turbidities. J. Am. Water Works Assoc., 57 : 901 (1965).
3. Sawyer, C.N. et McCarty, P.L. Chemistry for sanitary engineers. 2^e édition. McGraw-Hill Book Company, Toronto. p. 299 (1967).
4. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Pollution Control Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14^e édition. Washington, DC (1976).
5. Wilson, A.L. Determination of organic matter in water by oxidation with potassium chromate. J. Appl. Chem., 9 : 510 (1959).
6. Wilson, A.L. Determination of fulvic acids in water. J. Appl. Chem., 9 : 501 (1959).
7. Martin, D.F. et Pierce, R.H., Jr. A convenient method of analysis of humic acid in fresh water. Environ. Lett., 1 : 49 (1971).
8. Mrkva, M. Automatic u.v.-control system for relative evaluation of organic water pollution. Water Res., 9 : 587 (1975).
9. Kawamura, S. Removal of color by alum coagulation. Water Sewage Works, 114 : 282 (1967).
10. Christman, R.F. et Ghassemi, M. Chemical nature of organic color in water. J. Am. Water Works Assoc., 58 : 723 (1966).
11. Bean, E.L. Progress report on water quality criteria. J. Am. Water Works Assoc., 54 : 1313 (1962).
12. Singley, J.E., Harris, R.H. et Maulding, J.S. Correlation of colour measurements to standard conditions. J. Am. Water Works Assoc., 58 : 455 (1966).
13. Research Committee on Color Problems. Report for 1966. J. Am. Water Works Assoc., 59 : 1023 (1967).
14. American Water Works Association. Water quality and treatment. 3^e édition. McGraw-Hill Book Company, Toronto (1971).

15. Ministère des Pêcheries et de l'Environnement. National inventory of municipal waterworks and wastewater systems in Canada 1975 (Inventaire national des systèmes d'aqueduc et d'égout au Canada, 1975), p. 15. Ottawa (1977).
16. Black, A.P. et Willems, D.G. Electrophoretic studies of coagulation for removal of organic color. *J. Am. Water Works Assoc.*, 53 : 589 (1961).
17. Saville, T. On the nature of color in water. *J. New Engl. Water Works Assoc.*, 31 (1917).
18. AWWA Research Committee on Coagulation and Research Committee on Color Problems. Joint report. Coagulation and color problems. *J. Am. Water Works Assoc.*, 62 : 311 (1970).
19. Midwood, R.B. et Felbeck, G.T., Jr. Analysis of yellow organic matter from fresh waters. *J. Am. Water Works Assoc.*, 60 : 357 (1968).
20. Lamar, W.A. et Goerlitz, D.F. Geological Survey Water-Supply Paper 1817A, U.S. Government Printing Office, Washington, DC (1966).
21. Shapiro, J. Yellow acid-cation complexes in lake water. *Science*, 127 : 702 (1958).
22. Packham, R.F. Studies of organic colour in natural waters. *Proc. Soc. Water Treat. Exam.*, 13 : 316 (1964).
23. Chalupa, J. Humic acids in water. II. Treatment of analytical data. *Technol. Water (Czech)*, 1 : 57 (1963).
24. Felbeck, G.T., Jr. Dans : Soil biochemistry. Vol. 2. A.D. McLaren et J. Skujins (dir. de publ.). Marcel Dekker, New York, NY. p. 54 (1971).
25. Novak, J.T., Goodman, A.S. et King, D.L. Aquatic-weed decay and color production. *J. Am. Water Works Assoc.*, 67 : 134 (1975).
26. Day, H.R. et Felbeck, G.T., Jr. Production and analysis of a humic-acid-like exudate from the aquatic fungus *Aureobasidium pullulans*. *J. Am. Water Works Assoc.*, 66 : 484 (1974).
27. Ishiwatari, R. Chemical nature of sedimentary humic acids. Dans : Humic substances, their structure and function in the biosphere. Proceedings of an international meeting held at Nieuwersluis, Netherlands, May 29-31, 1972. D. Povoledo et H.L. Golterman (dir. de publ.). Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. p. 87 (1975).
28. Schnitzer, M. et Khan, S.U. Humic substances in the environment. Marcel Dekker, New York, NY (1972).
29. Flaig, W., Beutelspacher, H. et Rietz, E. Dans : Soil components. Vol. 1. J.E. Gieseking (dir. de publ.). Springer-Verlag, New York, NY (1975).
30. Chen, Y. et Schnitzer, M. Scanning electron microscopy of a humic acid and of a fulvic acid and its metal and clay complexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40 : 682 (1976).
31. Khan, S.U. et Schnitzer, M. The retention of hydrophobic organic compounds by humic acid. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36 : 745 (1972).
32. Hague, R. et Schmedding, D. Studies on the adsorption of selected poly-chlorinated biphenyl isomers on several surfaces. *J. Environ. Sci. Health*, B11 : 129 (1976).
33. Shapiro, J. Effect of yellow organic acids on iron and other metals in water. *J. Am. Water Works Assoc.*, 56 : 1062 (1964).
34. Lévesque, M.P. Fluorescence and gel filtration of humic compounds. *Soil Sci.*, 113 : 346 (1972).
35. Manning, P.G. et Ramamoorthy, S. Equilibrium studies of metal-ion complexes of interest to natural waters — VII. Mixed ligand complexes of Cu(II) involving fulvic acid as primary ligand. *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 35 : 1577 (1973).
36. Sieburth, J.B. et McNab, A.D. U.S. National Technical Information Service, Rep. No. PB-205777 (1971).
37. Stumm, W. et Morgan, J.J. Chemical aspects of coagulation. *J. Am. Water Works Assoc.*, 54 : 971 (1962).
38. National Academy of Sciences. Water quality criteria 1972. Committee on Water Quality Criteria Rep. EPA-R-73-033, U.S. Government Printing Office, Washington, DC. p. 51 (1973).
39. Zemansky, G.M. Removal of trace metals during conventional water treatment. *J. Am. Water Works Assoc.*, 66 : 606 (1974).
40. McKee, J.E. et Wolf, H.W. (dir. de publ.). Water quality criteria. 2^e édition. Publ. No. 3-A, State Water Quality Control Board, Sacramento, CA. p. 198 (1963).
41. Prakash, A., Jensen, A. et Rashid, M.A. Humic substances and aquatic productivity. Dans : Humic substances, their structure and function in the biosphere. Proceedings of an international meeting held at Nieuwersluis, Netherlands, May 29-31, 1972. D. Povoledo et H.L. Golterman (dir. de publ.). Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. p. 259 (1975).
42. Hall, E.S. et Packham, R.F. Coagulation of organic color with hydrolyzing coagulants. *J. Am. Water Works Assoc.*, 57 : 1149 (1965).
43. Narkis, N. et Rebhun, M. The mechanism of flocculation processes in the presence of humic substances. *J. Am. Water Works Assoc.*, 67 : 101 (1975).
44. Shapiro, J. Chemical and biological studies on the yellow organic acids of lake water. *Limnol. Oceanogr.*, 2 : 161 (1957).
45. deHaan, H. The biological transformation of soluble humic substances in Tjeukemeer, The Netherlands: a preliminary report. Dans : Humic substances, their structure and function in the biosphere. Proceedings of an international meeting held at Nieuwersluis, Netherlands, May 29-31, 1972. D. Povoledo et H.L. Golterman (dir. de publ.). Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. p. 63 (1975).
46. Mathur, S.P. et Paul, E.A. Microbial utilization of soil humic acids. *Can. J. Microbiol.*, 13 : 573 (1967).
47. Prakash, A. et Rashid, M.A. Influence of humic substances on the growth of marine phytoplankton dinoflagellates. *Limnol. Oceanogr.*, 13 : 598 (1968).
48. Bhardwaj, K.K.R. et Gaur, A.C. *Indian J. Microbiol.*, 12 : 19 (1972).
49. McLoughlin, A.J. et Kuster, E. *Plant Soil*, 37 : 17 (1972).
50. Rook, J.J. Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *J. Water Treat. Exam.*, 23 : 234 (1974).
51. Bellar, T.A., Lichtenberg, J.J. et Kroner, R.C. The occurrence of organo-halides in chlorinated drinking waters. *J. Am. Water Works Assoc.*, 66 : 703 (1974).
52. 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).
53. Stevens, A.A. et Symons, J.M. Measurement of trihalomethane and precursor concentration changes. *J. Am. Water Works Assoc.*, 69 : 546 (1977).
54. Menke, C.G. Removal of natural color-causing substances in laboratory analyses. *J. Am. Water Works Assoc.*, 54 : 303 (1962).

-
55. Environnement Canada. Analytical methods manual. Direction générale des eaux intérieures, Ottawa (1974).
56. Pakalns, P. et Farrar, Y.J. The effect of surfactants on the extraction-atomic absorption spectrophotometric determination of copper, iron, manganese, lead, nickel, zinc, cadmium and cobalt. *Water Res.*, 11 : 145 (1977).
57. King, D.L. The role of carbon in eutrophication. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 42 : 2035 (1970).
58. Ramamoorthy, S. et Manning, P.G. Equilibrium studies of metal-ion complexes of interest to natural waters — VIII. Fulvate-phosphate, fulvate-NTA, and NTA-phosphate complexes of Pb^{2+} , Cd^{2+} and Zn^{2+} . *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 36 : 695 (1974).
59. Gamble, D.S., Langford, C.H. et Tong, J.P.K. Cu^{2+} -fulvic acid chelation equilibrium in 0.1 M KCl at 25.0 °C. *Can. J. Chem.*, 54 : 1239 (1976).
60. Steelink, C. Humates and other natural organic substances in the aquatic environment. *J. Chem. Ed.*, 54 : 599 (1977).
61. Gjessing, E.T. Physical and chemical characteristics of aquatic humus. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI (1976).
62. van Beneden, G. et Leclerc, E. Les matières humiques. Leur comportement dans les eaux ou général, leur rôle dans la corrosion des métaux. *Technol. Water (Czech)*, 8 : 225 (1964).
63. Moore, M.R. Plumbosolvency of waters. *Nature (London)*, 243 : 223 (1973).
64. Kuhn, W., Sontheimer, H. et Kurz, R. Use of ozone and chlorine in water-works in the Federal Republic of Germany. Dans : *Ozone/chlorine dioxide: oxidation products of organic materials*. J.A. Cotruvo et R.G. Rice (dir. de publ.). Ozone Press International, Cleveland, OH. p. 426 (1978).
65. Public Health Service. Drinking water standards. Public Health Service Publ. No. 956, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Rockville, MD. p. 21 (1962).
66. Janecek, J. et Chalupa, J. Biological effects of peat water humic acids on warm-blooded organisms. *Arch. Hydrobiol.*, 65 : 515 (1969).
67. Hiller, E. Action of certain humic acids from bogs in the treatment of rheumatic fever. *Med. Monatsschr.*, 6 : 302 (1952); *Chem. Abstr.*, 46 : 8765 (1952).
68. Biber, V.A. et Bogolyubov, N.S. Biological activity of soil and peat humic acids. *Doklady Akad. Nauk SSSR*, 76 : 313 (1951); *Chem. Abstr.*, 45 : 3974 (1951).
69. Biber, V.A. et Bogolyubov, N.S. Humic acid of estuary mud and its biological value. *Doklady Akad. Nauk SSSR*, 82 : 939 (1952); *Chem. Abstr.*, 46 : 8162 (1952).
70. van Beneden, G. Les matières organiques dans les eaux et dans les agents de balnéothérapie. *Presse Therm. Clim.*, 108 : 195 (1971).
71. Klocking, R., Friemel, H. et Mucke, D. *Acta Biol. Med. Ger.*, 18 : 9 (1967); *Biol. Abstr.*, 49 : 65800 (1968).
72. Becking, G.C. et Yagminas, A.P. Observations inédites.
73. Brown, V.M., Shaw, T.L. et Shurben, D.G. Aspects of water quality and the toxicity of copper to rainbow trout. *Water Res.*, 8 : 797 (1974).
74. Klocking, R. Influence of humic acids on the toxicity of lead. *Proc. Eur. Soc. Toxicol.*, 16 : 258 (1975).
75. Visser, S.A. Some biological effects of humic acid in the rat. *Acta Biol. Med. Ger.*, 31 : 569 (1973).
-