

GUIDE POUR LES LABORATOIRES

Guide de l'eau pure et ultra pure

Présentation synthétique des applications
et techniques de purification d'eau de laboratoire,
des contrôles et des normes.

Sommaire

- 3-5 Introduction
- 6-16 Applications de recherche et d'analyse
- 17-20 Diagnostics cliniques
- 21-33 Santé
- 23-47 Présentation des techniques de purification d'eau
- 48 Glossaire
- 51 Documentation supplémentaire

Le guide de l'eau de laboratoire

Introduction

Le présent « Guide de l'eau pure et ultra pure » est une ressource essentielle pour les personnes qui utilisent de l'eau pure ou qui souhaitent en savoir plus sur le sujet. Ce guide de formation, qui donne un aperçu des besoins en matière de purification de l'eau, des techniques et des applications scientifiques et médicales, vous permettra de choisir la qualité d'eau appropriée et la méthode de production la plus fiable, à un coût abordable, qui respecte à la fois votre budget et l'environnement.

DÉFIS : IMPURETÉS ET VARIATIONS DE L'EAU POTABLE

Pour la plupart des applications de laboratoire et cliniques, l'eau est généralement purifiée à partir de l'eau potable. Cependant, la capacité unique de l'eau à dissoudre (dans une certaine mesure) pratiquement tous les composés chimiques et à entretenir pratiquement toutes les formes de vie signifie que l'eau potable peut contenir de nombreuses substances en solution ou en suspension ; des impuretés supplémentaires viennent s'ajouter au cours du processus de purification de l'eau potable. En outre, contrairement à d'autres matières premières, la pureté de l'eau potable peut varier considérablement d'une région

géographique à l'autre, mais aussi d'une saison à l'autre.

Dans les laboratoires d'aujourd'hui, l'accès à une eau pure est essentiel, et si les consommateurs domestiques pensent que l'eau du robinet est « pure », les scientifiques de laboratoire et les professionnels de la santé la considèrent comme hautement contaminée. Les scientifiques réalisant des analyses ou des expériences peuvent être gênés par des éléments et des composés à des concentrations de l'ordre de quelques parties par milliard (ppb, parts per billion) ou moins, car ces contaminants peuvent avoir un effet négatif sur certaines applications de par leur interaction avec d'autres substances, y compris la substance analysée.

Il existe 5 classes d'impuretés que l'on retrouve dans l'eau naturelle et l'eau potable :

- Particules en suspension
- Composés inorganiques dissous
- Composés organiques dissous
- Microorganismes et biomolécules
- Gaz dissous

L'objectif global des méthodes de purification de l'eau pour les applications scientifiques et médicales est d'éliminer les impuretés de l'eau potable tout en minimisant la contamination supplémentaire provenant des composants du système de purification et de la croissance bactérienne.

« L'eau pure est la substance la plus couramment utilisée dans un très grand nombre d'applications scientifiques, médicales et de contrôle qualité industrielle.

Son importance ne doit jamais être sous-estimée. »

COMMENT UTILISER CE GUIDE

Ce guide a été rédigé par ELGA et AQUADEM (2 filiales de VEOLIA) et s'appuie sur une expérience de plus de 70 ans consacrée exclusivement à la recherche, à la conception, à la fabrication et à l'installation de systèmes de purification de l'eau. Le présent « Guide de l'eau pure et ultra pure » est un guide complet, compilé à partir de la première version de notre « Pure LabWater Guide » et de notre « Pure Clinical LabWater Guide », publiés respectivement en 1991 et en 2003. En plus de fournir des mises à jour relatives au domaine de la purification de l'eau (nouvelles technologies de purification de l'eau, applications supplémentaires et normes révisées), le présent guide a été conçu de manière à ce que vous puissiez accéder plus facilement aux informations dont vous avez besoin. Tout au long de ce guide, vous trouverez des conseils et des astuces ainsi que des « Rappels » sur la purification de l'eau, accompagnés de schémas illustrant des technologies, systèmes et processus importants. Un glossaire est fourni à la fin du document afin que vous puissiez simultanément vous y référer pour comprendre des termes techniques qui vous sont moins familiers.

Ce guide est divisé en 4 sections faciles d'accès.

- Recherche et essais (section 1)
- Diagnostics cliniques (section 2)
- Santé (section 3)
- Présentation de la purification de l'eau (la section 4 comprend les 5 sous-sections suivantes)
 - Production de l'eau potable
 - Impuretés dans l'eau potable
 - Technologies de purification de l'eau
 - Maintien de la pureté de l'eau purifiée
 - Normes applicables à l'eau purifiée

SECTION 1 RECHERCHE ET ESSAIS

Cette section se concentre sur la vaste gamme d'applications dans les différents laboratoires, depuis le lavage et le rinçage de base de la verrerie jusqu'aux techniques de biologie moléculaire et de culture cellulaire les plus critiques. Elle décrit les types d'eau purifiée nécessaires pour chaque catégorie d'application.

SECTION 2 DIAGNOSTICS CLINIQUES

Cette section souligne l'importance d'utiliser de l'eau extrêmement pure pour obtenir des résultats valides et fiables lors des tests chimiques. Elle décrit les normes et réglementations internationales qui régissent ces applications.

SECTION 3 SANTÉ

Cette section décrit de nombreuses applications dans le domaine de la santé qui nécessitent une eau très pure, notamment le processus de décontamination pour le rinçage des instruments chirurgicaux (par exemple les endoscopes) et la production de vapeur pour la stérilisation des instruments. Elle détaille les directives strictes et les normes relatives à l'eau purifiée qui sont désormais imposées pour ces applications.

SECTION 4 PRÉSENTATION DE LA PURIFICATION DE L'EAU

Cette section fournit un aperçu complet des différentes impuretés présentes dans l'eau pure, ainsi que les technologies, les systèmes et les composants nécessaires pour les éliminer avec succès. La sélection des étapes initiales d'un système de purification dépendra des caractéristiques de l'eau d'alimentation et l'ensemble du processus commence par une étape de prétraitement. Les principales technologies de purification de l'eau sont décrites et chacune d'entre elles présente des avantages et des limites. Par exemple, certaines technologies peuvent éliminer des concentrations importantes d'impuretés diverses, tandis que d'autres peuvent éliminer un type d'impureté spécifique jusqu'à des niveaux extrêmement faibles.

Il existe de très nombreuses normes qui définissent la qualité de l'eau requise pour des applications spécifiques. Les normes ASTM (American Society for Testing and Materials) et ISO (International Organization for Standardization) 3696 fournissent des directives pour les applications de laboratoire. Les normes CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) définissent les exigences en matière de qualité de l'eau pour les laboratoires de biologie médicale. Certains laboratoires adoptent également les normes définies dans la pharmacopée européenne, américaine ou japonaise. Cependant, très peu de ces normes sont spécifiques à votre application particulière. Une précision trop élevée engendrerait des coûts inutiles, tandis qu'une précision trop faible risquerait de compromettre l'exactitude de vos résultats. Ce guide vous aidera à vous orienter dans le labyrinthe des normes et à choisir facilement le bon type d'eau purifiée et la bonne méthode de production pour obtenir la pureté adéquate à un prix abordable, qui respecte à la fois votre budget et l'environnement.

À PROPOS D'ELGA

En tant que partie intégrante du groupe Veolia, le leader mondial des services de gestion de l'eau, ELGA fournit une source d'eau fiable qui répond de manière économique aux exigences de conformité requises pour toutes les applications scientifiques et médicales de nos clients. Forts d'une expérience de plus de 70 années consacrées à l'élaboration de systèmes de purification de l'eau novateurs, nous continuons à proposer des produits qui sont le fruit d'une recherche de pointe, avec un design innovant et ergonomique. ELGA fournit des systèmes robustes et faciles à installer pour répondre aux besoins en constante évolution de ses clients. Nous travaillons également en étroite collaboration avec les principaux fabricants d'instruments de laboratoire afin de personnaliser les systèmes de purification de l'eau pour des applications spécifiques. Par ailleurs, nous jouons un rôle proactif auprès des entités de normalisation de l'eau qui élaborent et recommandent les exigences en matière de qualité de l'eau de laboratoire.

Avec un réseau de plus de 600 centres de service dans le monde entier, ELGA propose une offre de service et d'assistance sans égal, où que vous soyez, pour toute sa gamme de systèmes de purification de l'eau.

À PROPOS D'AQUADEM

AQUADEM, marque de VEOLIA, est un service dédié à la production d'eau purifiée par le biais de cylindres de déminéralisation. Depuis plus de 43 ans, nos agences locales assurent sur la France et la Belgique, la livraison de nos déminéralisateurs (échange standard), l'installation et le suivi des unités composées de contrôleurs de qualité (conductivité ou résistivité) et d'ensembles de régulation et de filtration.

Nos deux centres de production assurent la régénération des résines saturées avec contrôle de chaque lot régénéré sur banc test. Chaque cylindre est ainsi livré avec un numéro de lot vous permettant d'obtenir sur demande la courbe de qualité du lot concerné. Notre exigence : produire une eau > 14,5 Mohm.cm

Nous proposons également sur demande des traitements par résines spécifiques (visant à retenir notamment les traces de silice ou produire de l'eau ultra pure à très gros débit).

Les unités AQUADEM sont généralement alimentées par l'eau de ville ou viennent compléter les unités d'osmose inverse ELGA (type 3) pour le polissage ou l'alimentation des unités ELGA de production d'eau ultra pure (type 1).

DIFFÉRENTES APPELLATIONS DE L'EAU PURE EN LABORATOIRE

De nombreuses normes de qualité de l'eau existent dans le monde entier et sont décrites dans des lois et des réglementations, en plus des classifications génériques de l'eau adoptées par les

entreprises sur la base de limites physiques et chimiques. Il existe souvent une certaine confusion quant à la définition de la qualité de l'eau, et il peut donc être utile de rappeler quelques bases :

- L'eau purifiée est un terme général qui signifie que l'eau a été mécaniquement filtrée ou traitée pour être débarrassée de ses impuretés.
- L'eau déminéralisée désigne une eau qui a subi un processus d'élimination des minéraux et des sels.
- L'eau déionisée, souvent synonyme d'eau déminéralisée, est débarrassée de presque tous ses ions minéraux tels que le sodium, le calcium, le fer, le cuivre, le chlorure, la silice et le sulfate. La déionisation par résines lits mélangés est un processus chimique qui utilise des résines d'échange d'ions pour échanger des ions hydrogène et hydroxyde contre des minéraux dissous, puis les recombinaison pour former de l'eau. La plupart des impuretés non particulières de l'eau sont des sels dissous, de sorte que la déionisation produit une eau très pure.
- L'eau distillée a été portée à ébullition jusqu'à ce qu'elle se transforme en vapeur, puis a été recondensée en liquide dans un récipient séparé. Les impuretés ayant un point d'ébullition plus élevé que celui de l'eau restent dans le récipient d'origine. L'eau bidistillée (en abrégé « ddH₂O ») est obtenue en portant lentement à ébullition l'eau condensée décontaminée issue d'une première ébullition lente.

Section 1

Applications pour la recherche et l'analyse

Les scientifiques utilisent l'eau pour une vaste gamme d'applications dans de nombreux types de laboratoires différents. L'eau possède des propriétés uniques en tant que solvant (par exemple une constante diélectrique élevée et une bonne solubilité pour les minéraux) et elle est donc souvent utilisée dans les applications analytiques. Par conséquent, il est nécessaire de produire différents niveaux de purification de l'eau, en fonction des procédures ou appareils utilisés. L'eau est l'un des principaux composants dans de nombreuses applications, mais l'importance de sa pureté est trop souvent sous-estimée.

À PROPOS DE CETTE SECTION

Dans cette section, nous présentons certaines applications courantes et fournissons des conseils sur la qualité de l'eau requise. Nous fournissons également des conseils sur les technologies de purification qu'il est intéressant de retrouver dans un système de purification de l'eau.

Il existe de nombreuses normes de qualité de l'eau publiées dans le monde entier, mais peu d'entre elles sont pertinentes pour des applications de recherche spécifiques. Cela a conduit la majorité des entreprises spécialisées dans la purification de

l'eau à adopter des classifications génériques basées sur des limites physiques et chimiques mesurables. Tout au long de ce guide, nous ferons référence aux « types » d'eau purifiée mentionnés dans ce tableau (voir ci-dessous).

Qualité de l'eau	Résistivité MΩ-cm	COT (ppb)	Bactéries	Endotoxine (UE/ml)
Type I+	18,2	<5	<1	<0,03
Type I	>18	<10	<1	<0,03
Type II+	>10	<50	<10	S.O.
Type II	>1	<50	<100	S.O.
Type III	>0,05	<200	<1000	S.O.

Tableau 1 : Détails des différentes qualités d'eau et des applications typiques. COT, carbone organique total ; ppb, parties par milliard (parts per billion) ; UFC, unités formant colonie (colony forming units) ; EU, unités d'endotoxine (endotoxin units).

TYPE I+

Va au-delà des exigences de pureté applicables à l'eau de type I

TYPE I

Souvent appelée ultra-pure, cette qualité d'eau est nécessaire pour certaines applications d'analyse de trace où l'eau joue un rôle majeur, comme la préparation de la phase mobile (chromatographie liquide haute performance), ainsi que pour les blancs et la dilution des échantillons pour d'autres techniques analytiques clés : CG (chromatographie en phase gazeuse), AAS (spectrophotométrie d'absorption atomique) ICP-MS (spectrométrie de masse à plasma inductif). Le type I est également requis pour les applications de microbiologie et de biologie moléculaire, ainsi que pour la culture de cellules de mammifères et la FIV (fécondation in vitro).

TYPE II+

Qualité d'eau pour les applications générales de laboratoire nécessitant une plus grande pureté inorganique.

TYPE II

Qualité d'eau pour les applications générales de laboratoire. Cela peut inclure la préparation des milieux de culture, les solutions et tampons de pH et les analyses cliniques. Il est également courant qu'un système de type II soit utilisé comme alimentation d'un système de type I*.

TYPE III

Qualité d'eau recommandée pour les travaux non critiques qui peuvent inclure le rinçage de la verrerie, les bains d'eau, l'alimentation des autoclaves et des stérilisateurs, ainsi que les chambres de croissance des plantes. Ces systèmes peuvent également être utilisés pour alimenter les systèmes de type I*

*La production d'eau ultra pure (résistivité de 18,2 MΩ-cm et COT <5 ppb) à partir de l'eau du robinet se fait généralement en deux étapes : le prétraitement et le polissage. Idéalement, le prétraitement réduit de plus de 95 % les principaux types d'impuretés (inorganiques, organiques, microbiologiques et particuliers). L'osmose inverse ou l'osmose inverse combinée à l'échange d'ions ou à l'électrodéionisation (EDI) permet d'obtenir les meilleurs résultats. Il est possible d'utiliser l'échange d'ions seul. Plus le prétraitement est bon, plus la qualité de l'eau ultra-pure finale est élevée.

Applications analytiques et générales de l'eau purifiée

Résumé en page 13

ÉLECTROCHIMIE

Étant donné que ces techniques reposent sur la mesure précise de minuscules signaux électriques, il est vital que l'eau utilisée produise le moins d'interférences possible dues à la contamination de fond. Une eau ASTM de type II, généralement avec un COT (carbone organique total) <50 ppb et un nombre de bactéries inférieur à 1 UFC/ml (unités formant colonie par millilitre), est recommandée pour les applications électrochimiques. Pour les analyses électrochimiques d'ultra-traces, une eau de type I (ultra-pure) est nécessaire.

TECHNIQUES UTILISÉES

Potentiométrie

La potentiométrie mesure le potentiel d'une solution entre deux électrodes. Il s'agit d'une technique passive, qui n'affecte que très peu la solution au cours du processus. Le potentiel est alors lié à la concentration d'un à plusieurs analytes. La structure de la cellule utilisée est souvent appelée électrode, même si elle contient deux électrodes : une électrode indicatrice et une électrode

de référence (distincte de l'électrode de référence utilisée dans le système à trois électrodes). Seule de l'eau déminéralisée est utilisée avec les électrodes, car les contaminants minéraux de l'eau interfèrent avec le potentiel électrique des électrodes. La potentiométrie est généralement menée par détection sélective d'ions, avec une électrode différente pour chaque ion. L'électrode potentiométrique la plus courante est l'électrode pH en verre.

Mesure du pH

La mesure du pH est une sous-classe de la potentiométrie et est utilisée pour mesurer l'acidité ou l'alcalinité d'un liquide. La mesure du pH dans l'eau pure est problématique en raison de la faible force ionique de la solution et parce que l'absorption rapide du dioxyde de carbone affecte le résultat observé. Elle peut toutefois être réalisée avec une électrode spécifique avec apport de KCl (chlorure de potassium).

Coulométrie

La coulométrie utilise le courant appliqué, ou potentiel, pour convertir

complètement un analyte d'un état d'oxydation à un autre. Dans ces expériences, le courant total transmis est mesuré directement ou indirectement pour déterminer le nombre d'électrons transmis. Cela peut indiquer la concentration de l'analyte ou, lorsque la concentration est connue, le nombre d'électrons impliqués dans un couple redox. L'électrolyse totale, également connue sous le nom de coulométrie à potentiel contrôlé (ou une forme hybride de ces deux appellations), est peut-être la forme la plus courante de coulométrie.

Voltampérométrie

La voltampérométrie applique un potentiel constant et/ou variable à la surface d'une électrode et mesure le courant résultant avec un système à trois électrodes. Cette méthode peut révéler le potentiel de réduction d'un analyte et la réactivité électrochimique, entre autres. En pratique, cette méthode est non destructive, car seule une très petite quantité de l'analyte est consommée sur la surface bidimensionnelle de l'électrode de travail et de l'électrode auxiliaire.

Polarographie

La polarographie est une sous-classe de la voltampérométrie qui utilise une électrode à gouttes de mercure tombantes comme électrode de travail et utilise souvent le bain de mercure résultant comme électrode auxiliaire. Les électrodes au mercure sont aujourd'hui beaucoup moins utilisées, en raison de préoccupations concernant la toxicité du mercure et de la mise au point d'électrodes de haute qualité, abordables, inertes et faciles à nettoyer, à partir de matériaux tels que les métaux nobles et le carbone/verre.

Ampérométrie

L'ampérométrie est une sous-classe de la voltampérométrie dans laquelle l'électrode est maintenue à des potentiels constants pendant des périodes de temps variables. Il s'agit essentiellement d'une distinction historique qui entraîne encore une certaine confusion. Par exemple, la voltampérométrie différentielle à impulsion est également appelée ampérométrie à impulsion différentielle, et peut être considérée comme une combinaison de la voltampérométrie à fréquence linéaire et de la chronoampérométrie. Un

élément distingue cependant l'ampérométrie des autres formes de voltampérométrie : il est fréquent d'additionner les courants sur une période de temps donnée plutôt que de les considérer à des potentiels individuels. Cette addition peut permettre d'obtenir des ensembles de données plus importants et de réduire les erreurs. Le titrage ampérométrique est une technique qui peut être considérée comme de l'ampérométrie puisqu'elle mesure le courant, mais qui ne saurait être considérée comme de la voltampérométrie puisque la solution entière est transformée pendant l'expérience.

ÉVALUER LA QUALITÉ DE VOTRE EAU POTABLE

Forte de plus de 70 ans d'expérience dans l'industrie de l'eau de laboratoire, combinées à l'expertise de Veolia dans la gestion de nombreuses stations d'épuration municipales, ELGA et AQUADEM disposent d'une connaissance inégalée de la qualité de l'eau d'alimentation dans le monde entier. Lors de notre première visite à votre laboratoire, nous effectuerons un test, sur place, pour analyser la qualité de votre eau d'alimentation. En fonction de ces données sur la qualité de l'eau, des applications envisagées, de la conception du laboratoire et de votre budget, notre équipe commerciale vous soumettra une proposition détaillée avec des solutions de purification de l'eau adaptées à vos besoins.



Notre labo à Wissous

SPECTROSCOPIE ET SPECTROMÉTRIE

Historiquement, la **spectroscopie** était l'étude de l'interaction entre le rayonnement et la matière en fonction de la longueur d'onde (λ), et cela faisait référence à l'utilisation de la lumière visible dispersée selon sa longueur d'onde, c'est-à-dire par un prisme. Plus tard, le concept a été élargi pour faire référence à

toute mesure d'une grandeur en fonction de la longueur d'onde ou de la fréquence. Ainsi, cela englobe également les interactions avec le rayonnement de particules ou une réponse à un champ alternatif ou à une fréquence variable (ν). Une fois que la relation très étroite entre l'énergie des photons et la fréquence ($E=h\nu$) a été établie, h étant la constante de Planck, une autre extension de la définition a ajouté

l'énergie (E) en tant que variable. Un tracé de la réponse en fonction de la longueur d'onde - ou plus communément de la fréquence - est appelé spectre.

La **spectrométrie** est la technique spectroscopique utilisée pour évaluer la concentration ou la quantité d'une substance donnée. L'instrument qui effectue ces mesures est un spectromètre ou un spectrographe.

TECHNIQUES UTILISÉES

Spectrophotométrie d'absorption atomique de flamme (F-AAS)

Bien qu'un peu éclipsée par les techniques ICP-MS et ICP-AES pour les analyses multi-éléments, la spectrophotométrie d'absorption atomique est intéressante du fait de son coût relativement modeste pour les petits laboratoires et pour des analyses spécifiques. Les limites de détection vont de faibles niveaux des ppb aux ppm, selon l'élément. L'eau ASTM de type II est généralement assez pure pour la plupart des procédures AAS de routine et il n'est pas nécessaire d'avoir de faibles niveaux de composés organiques ou de bactéries.

Chromatographie en phase gazeuse - Spectrométrie de masse (GC-MS)

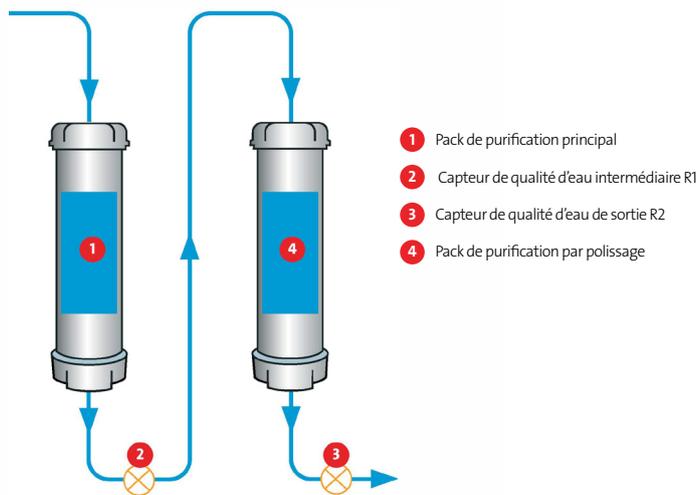
Pour la chromatographie en phase gazeuse, l'eau purifiée est utilisée pour préparer les blancs, les étalons et les prétraitements d'échantillons, par exemple l'extraction en phase solide. Étant donné qu'une sensibilité élevée peut être obtenue par GC-MS, les exigences en termes de pureté de l'eau sont très strictes. Les niveaux de COT doivent être très faibles (moins de 3 ppb) et la meilleure façon d'y parvenir est d'utiliser un polisseur haut de gamme alimenté par de l'eau prétraitée par osmose inverse pour éliminer les ions et les composés organiques.

Spectrophotométrie d'absorption atomique en four graphite (GFAAS), également connue sous le nom de spectrophotométrie d'absorption atomique en four carbone (CFAAS)

Cette variante de l'AAS dans laquelle la flamme est remplacée par un tube ou une tige en graphite chauffé électriquement permet d'obtenir une très grande sensibilité dans l'analyse des éléments. Il faut un polisseur produisant une eau ASTM de type I haut de gamme qui assure des niveaux d'impuretés élémentaires de l'ordre de quelques ppt, une résistivité de 18,2 MΩ-cm et un très faible contenu organique total (COT), tandis que le contrôle multi-étapes (tel que fourni par le système ELGA PureSure - voir ci-dessus) offre la meilleure garantie de pureté. Pour une performance optimale, le prétraitement amélioré peut être suivi d'un polissage et d'une re-purification continues de l'eau purifiée.

Spectrométrie de masse

Cette technique très sensible permet l'analyse de traces de mélanges complexes et nécessite donc une eau de grande pureté. Tous les prétraitements



Le système PureSure

Chez ELGA LabWater, nous ajoutons un capteur supplémentaire entre les deux étapes de purification d'un système ultra pur. Ainsi, le deuxième module de purification peut être changé avant que des impuretés faiblement chargées ne contaminent votre application.

d'échantillons tels que l'extraction en phase solide, ainsi que les étapes de préparation des échantillons, nécessitent de l'eau ASTM de type I (ultra-pure), qui est produite par un système « polisseur » haut de gamme. Il permet d'obtenir des niveaux d'impuretés élémentaires de l'ordre de quelques ppt, une résistivité de l'eau de 18,2 MΩ-cm et un COT extrêmement faible, généralement <3 ppb. Le contrôle multi-étapes (voir ci-dessus) est la seule méthode qui garantit ce niveau de pureté. Une performance exceptionnelle peut être obtenue grâce à un prétraitement amélioré suivi d'une recirculation et d'un polissage.

Spectrométrie d'émission atomique à couplage inductif (ICP-AES)

La sensibilité diffère nettement pour les différents éléments, mais les métaux, les semi-métaux, le phosphore et le soufre ont des limites de détection de l'ordre de la partie par milliard (µg/l) et exigent une pureté de l'eau assez contraignante. Un système d'eau de type I (polisseur) de haute pureté est préférable, donnant une résistivité >18 MΩ-cm. Cependant

les exigences en matière de COT ne sont généralement pas essentielles et le prétraitement peut se faire par osmose inverse ou par échange d'ions.

Spectrométrie de masse à couplage inductif (ICP-MS)

Les progrès de l'instrumentation analytique moderne ont permis d'améliorer la sensibilité de l'analyse des métaux à l'état de traces. Ces éléments sont désormais mesurés au niveau de la partie par milliard (ppt) ou de la sous-partie par milliard (sub-ppt) à l'aide de techniques telles que l'ICP-MS. Le travail d'analyse des traces nécessite une eau exempte des composants à mesurer et exige la même pureté d'eau que pour les procédures ICP-MS les plus sensibles. En général, les salles blanches sont privilégiées pour préparer des réactifs de haute qualité pour l'analyse des blancs, les dilutions de solutions étalon et les préparations d'échantillons. Le système de purification de l'eau spécifié doit être un système ASTM de type I spécialement conçu à cet effet. Il doit comprendre une forme de contrôle multi-étapes (voir

le diagramme PureSure, page 10) pour garantir ces niveaux de pureté. Une performance optimale peut être obtenue grâce à un prétraitement amélioré via un système de recirculation ASTM de type II.

Spectrophotométrie

Il est recommandé que l'eau purifiée pour les applications spectrophotométriques

soit au moins de type II avec un faible niveau de contaminants inorganiques, organiques ou colloïdaux. En général, cette eau a une résistivité $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ et a été micro-filtrée. Un faible COT ($<50 \text{ ppb}$) est particulièrement important pour les techniques utilisant des systèmes de détection par UV, car les substances

organiques dissoutes peuvent interférer avec la détection.

CHROMATOGRAPHIE

La chromatographie peut être préparative ou analytique, mais les deux ne s'excluent pas mutuellement. La chromatographie préparative vise à séparer les composants d'un mélange en vue d'une utilisation ultérieure. La chromatographie analytique fonctionne normalement avec de plus petites quantités de substances et vise à mesurer les proportions relatives des analytes dans un mélange.

Chromatographie liquide haute performance (HPLC)

La technique HPLC peut être utilisée pour l'analyse directe et la détermination des composants mineurs et majeurs d'un mélange complexe. Dans la phase mobile, de l'eau purifiée de qualité générale de laboratoire (ASTM type II) avec un COT généralement $<50 \text{ ppb}$ et une résistivité $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ est utilisée pour préparer les blancs et les étalons, et pour le prétraitement des échantillons.

En mode gradient, la technique HPLC est capable d'atteindre des limites de détection extrêmement basses, bien en dessous de 1 ppb , c'est pourquoi les blancs, les étalons et le prétraitement des échantillons nécessitent une eau pure de très haute qualité (eau de qualité HPLC), où les niveaux de COT les plus bas possibles sont

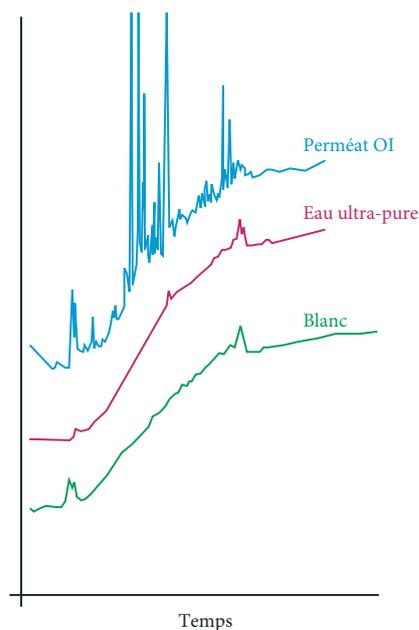
généralement inférieurs à 3 ppb (voir graphique). Le meilleur moyen d'y parvenir est d'utiliser un système d'eau de type I (polisseur) haut de gamme spécialement conçu à cet effet, alimenté par de l'eau de type II ou III prétraitée par osmose inverse.

Chromatographie ionique (CI)

La chromatographie ionique détermine les composants mineurs et majeurs dans une gamme de substances avec une précision pouvant atteindre $0,1 \text{ ppm}$, par injection directe d'échantillons de 10 à 50 microlitres . Une eau hautement purifiée est nécessaire pour les blancs et les étalons, et pour préparer les éluants. Si l'eau ASTM de type I est privilégiée, une eau de type II+ peut souvent convenir, surtout si le prix est déterminant. Des limites de détection extrêmement basses (jusqu'à quelques ppt) peuvent être atteintes en utilisant la chromatographie ionique si les ions sont pré-concentrés sur une courte colonne d'échange d'ions et ensuite élués dans le flux d'éluant pour séparation et analyse. 50 ou 100 ml d'échantillon peuvent être analysés de cette manière. Un système d'eau de type I haut de gamme (de préférence de type II+) est essentiel pour obtenir des niveaux d'impuretés élémentaires de l'ordre de quelques ppt, une résistivité de $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ et un faible COT. Le contrôle multi-étapes

garantit un niveau de pureté impossible à obtenir avec les approches alternatives (voir le schéma PureSure, page 10). Pour une performance optimale, le prétraitement amélioré peut être suivi d'une recirculation et d'un polissage continu de l'eau de type I.

Chromatographie liquide haute performance (HPLC) en mode gradient pour l'analyse de traces, avec une eau ultra-pure et de qualité primaire



APPLICATIONS GÉNÉRALES DE LABORATOIRE

Chimie générale

Une eau purifiée de qualité laboratoire avec une résistivité $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT entre 50 et 100 ppb et une numération bactérienne $<100 \text{ UFC/ml}$, est recommandée pour les applications de chimie générale.

Lavage et rinçage de la verrerie

Le lavage de la verrerie est une pratique courante dans la plupart des laboratoires et la qualité de l'eau requise dépend de la nature des applications. Pour réduire les coûts (et en fonction de la qualité de l'eau potable de votre région), la plupart des articles de verrerie à usage général peuvent être lavés avec de l'eau ASTM de type III. Pour les techniques d'analyse ou de recherche plus sensibles, il convient d'utiliser de l'eau de type II avec une résistivité de 1 à $15 \text{ M}\Omega\text{-cm}$. Pour les applications critiques, telles que les techniques d'analyse de traces (par exemple ICP-MS), la culture cellulaire ou les méthodes cliniques rigoureuses (comme le séquençage ou l'extraction de l'ADN), la verrerie doit être lavée à l'eau ultra-pure, en particulier pour le rinçage final, afin de s'assurer que les tampons, les milieux de culture ou les diluants ultra-purs sont contenus dans de la verrerie « non contaminée ». Pour cela, il convient d'utiliser de l'eau de type I (ultra-pure), avec une concentration de matières inorganiques de $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT $<10 \text{ ppb}$ et une numération bactérienne $<1 \text{ UFC/ml}$.

Analyses qualitatives

La plupart des méthodes d'analyse qualitative des constituants majeurs ou mineurs nécessitent de l'eau purifiée de qualité Général de laboratoire, avec une résistivité $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT inférieur à 50 ppb, et une faible numération bactérienne et particulaire. Toutefois, pour les techniques plus sensibles (ICP-MS, par exemple), il faut de l'eau ultra-pure provenant d'un polisseur d'eau haut de gamme pour garantir des niveaux d'impuretés élémentaires de l'ordre de quelques ppt, une résistivité de $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ et un faible COT.

Dilution des échantillons et préparation des réactifs

L'eau nécessaire à la dilution des échantillons, des blancs, des réactifs

et des étalons doit être d'une pureté suffisante pour ne pas affecter les analyses ultérieures. Lors de la préparation de tampons, de blancs et d'étalons à usage général pour les techniques de chimie générale et pour les analyses $>1 \text{ ppm}$, l'utilisation d'une eau purifiée de qualité Général de laboratoire avec une résistivité typique $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT $<50 \text{ ppb}$ et une faible numération bactérienne, permet d'obtenir des résultats précis. Pour les analyses de traces de l'ordre de niveau ppb ou plus basses encore, une eau ASTM de type I (ultra-pure) est nécessaire pour la préparation des blancs et des étalons.

SPE - Extraction en phase solide

Cette technique est largement utilisée pour les analyses de traces de composés organiques, en tant que prétraitement, pour séparer les composants d'intérêt à l'état de traces des principaux composants de la matrice. Pour l'analyse de traces, il convient d'utiliser de l'eau d'une très grande pureté organique pour préparer les blancs et les étalons, et pour le rinçage en phase solide. Le meilleur moyen d'y parvenir est d'utiliser un système d'eau de type I haut de gamme avec une valeur de COT minimale (eau spécialement conçue à cet effet), alimenté en eau prétraitée par osmose inverse. Des protocoles opérationnels supplémentaires peuvent être nécessaires pour garantir la régularité des performances.

Générateurs de vapeur

Les générateurs de vapeur sont utilisés dans toute une série d'applications, notamment l'humidification des salles blanches, l'hydratation, le chauffage direct à la vapeur, l'injection et dans les autoclaves et stérilisateurs. La plupart des générateurs de vapeur bénéficient d'un prétraitement de l'alimentation en eau pour éviter l'accumulation, la précipitation ou la contamination, afin de réduire la maintenance nécessaire, d'améliorer les performances et de renforcer les niveaux d'hygiène. Les générateurs de vapeur peuvent utiliser de l'eau ASTM de type III avec une conductivité comprise entre 1 et $50 \mu\text{S/cm}$ (résistivité de 0,02 à $1,0 \text{ M}\Omega\text{-cm}$), qui est généralement produite par osmose inverse après un prétraitement approprié. Certains organismes appliquent désormais des spécifications strictes relatives à l'eau utilisée lors la

production de « vapeur pure » destinée aux services de désinfection dans des environnements médicaux.

Analyse du carbone organique total (COT)

Cette méthode non spécifique permet de quantifier la teneur globale en carbone dans les substances. Les applications sont très larges et les analyses peuvent aller de niveaux élevés, pour les effluents et circuits de procédé, à des concentrations de niveau sub-ppb pour l'eau ultra-pure. Les échantillons sont dilués car les réactifs et les étalons sont préparés avec de l'eau. Pour les mesures de niveaux élevés, une eau de type II est suffisante. En revanche, les analyses de niveau trace nécessitent de l'eau de type I (ultra-pure).

Analyse de l'eau

Les analyses de l'eau sont nécessaires à des fins très diverses, par exemple pour s'assurer que l'eau potable répond aux normes en vigueur, pour vérifier que les processus de purification ont bien fonctionné et pour tester l'environnement des lacs et des rivières. L'analyse de l'eau nécessite de l'eau purifiée pour la préparation des échantillons, des étalons et des blancs, et elle doit être d'une pureté suffisamment élevée pour ne pas compromettre les techniques d'analyse. Ces analyses sont généralement effectuées avec de l'eau ASTM de type II ayant une résistivité $>5 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT $<50 \text{ ppb}$ et une numération bactérienne inférieure à 1 UFC/ml.

Préparation des tampons et des milieux de culture

La qualité de l'eau pure requise pour préparer ou diluer les réactifs dépend de la sensibilité de l'application. Pour de nombreuses applications de chimie générale, la sensibilité n'est pas le facteur principal, et l'eau de type II est donc d'une pureté suffisante. Elle présente en outre l'avantage d'avoir une grande pureté en termes ioniques, et si des technologies UV et de filtration sont intégrées dans la recirculation, elle peut également garantir de faibles niveaux de contaminants organiques et de micro-organismes.

Enceintes climatiques et chambres de croissance des plantes

La concentration en sel est un des critères majeurs. L'élimination de la silice (présente dans certaines eaux d'alimentation et non éliminée par certaines techniques de purification) est considérée comme importante pour éviter le phénomène « d'encrassement »,

c'est-à-dire les dépôts de silice sur les plantes ou les échantillons. Un système de purification de l'eau de type II ou III convient généralement, mais si le niveau de bactéries est un problème, le système doit comprendre une recirculation complète vers la chambre ainsi qu'une recirculation UV en ligne pour une désinfection complète de

l'eau. La gamme de systèmes BIOPURE d'ELGA et AQUADEM OPTION R, conçues pour les applications médicales les plus exigeantes, peuvent être utilisées avec succès dans ces situations.

Application analytiques et générales

Technique	Sensibilité	Résistivité* MΩ-cm	COT ppb	Filtre µm	Bactéries UFC/ ml	Endotoxine UE/ ml	Nucléase	Qualité de l'eau pure
Electrochimie	Générale Haute	>5 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	NA <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
Alimentation de distillateurs	Faible	>0,05	<500	NA	NA	NA	NA	Primaire
Alimentation de systèmes d'eau ultra pure	Générale Haute	>0,05 >1	<200 <10	NA <0,2	NA <1	NA NA	NA NA	Primaire Ultra pure
AAS Flamme	Générale	>5	<500	<0,2	NA	NA	NA	Général de laboratoire
GC-MS	Elevée	>18	<3	<0,2	<1	NA	NA	Ultra pure
Chimie générale	Générale	>1	<50	<0,2	<10	NA	NA	Général de laboratoire
GF AAS	Elevée	18,2	<10	<0,2	<10	NA	NA	Ultra pure
Nettoyage de la verrerie	Générale Haute	>1 >18	<100 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
HPLC	Générale Haute	>1 >18	<50 <3	<0,2 <0,2	<1 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
ICP - AES	Générale Haute	>5 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	NA <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
ICP - MS	Générale Haute	>10 18,2	<50 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
Chromatographie ionique	Générale Haute	>5 18,2	<50 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
Dilution des échantillons et préparation des réactifs	Générale Haute	>1 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	<1 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
Extraction en phase solide	Générale Haute	>1 >18	<50 <3	<0,2 <0,2	<10 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
Spectrophotométrie	Générale Haute	>1 >18	<50 <10	<0,2 <0,2	<1 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
Génération de vapeur	Générale	>1	<100	<0,2	<1	NA	NA	Général de laboratoire
Analyse COT	Générale Haute	>1 >18	<50 <3	<0,2 <0,2	<10 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
Détection de métaux en traces	Générale Haute	>5 18,2	<50 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure
Analyse de l'eau	Générale Haute	>5 18	<50 <10	<0,2 <0,2	<10 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Ultra pure

À 25°C

NA - non applicable

ND - non détectable

Chiffres en rouge - impuretés critiques

Applications dans le domaine des sciences de la vie

Résumé en page 16

APPLICATIONS POUR LA RECHERCHE

Biologie moléculaire

Pour la microbiologie, la qualité de l'eau doit généralement être élevée. Axée sur l'étude des acides nucléiques, des protéines et des enzymes, la recherche en biologie moléculaire peut être sérieusement affectée par des microorganismes contaminants et des débris et produits cellulaires biologiquement actifs associés. Outre l'utilisation d'une eau exempte de nucléases, il convient de veiller à ce qu'une eau de pureté inadéquate n'ait pas d'effet sur les concentrations en sel des solutions préparées pour l'électrophorèse et le transfert (« blotting »), ainsi que sur la production de réactifs pour le séquençage de l'ADN, l'extraction de l'ADN et l'amplification en chaîne par polymérisation (PCR). L'effet de l'acide humique en tant qu'inhibiteur de l'ADN est souvent négligé. Le choix d'un système d'eau spécifique de qualité génétique, capable de fournir une eau d'une pureté supérieure au type I, permet d'éviter les problèmes susmentionnés.

Électrophorèse

Les macromolécules peuvent être séparées les unes des autres par différentes techniques, dont les méthodes chimiques, l'ultra-centrifugation et l'électrophorèse. Pour

l'électrophorèse, l'exigence principale concernant l'eau est l'absence de niveaux significatifs de molécules biologiquement actives telles que les endotoxines (généralement $<0,005$ UE/ml), les nucléases et les protéases (non détectables). Le meilleur moyen d'y parvenir est d'utiliser de l'eau ultra pure avec une résistivité de $18,2 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT <10 ppb, une filtration des particules de $0,1 \mu\text{m}$ ou moins, et une numération bactérienne inférieure à 1 UFC/ml.

Électrophysiologie

L'électrophysiologie est utilisée dans des applications diverses, depuis la mesure des réponses biologiques aux courants électriques et aux champs électromagnétiques sur un animal entier, jusqu'à l'étude de cellules individuelles à l'aide de microélectrodes et de la technique du « patch-clamp ». Ces techniques sont souvent très sensibles et peuvent donner des résultats imprécis si l'on utilise de l'eau relativement riche en substances inorganiques contaminantes. En règle générale, il faut utiliser de l'eau ASTM de type II ayant une résistivité $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT <50 ppb et une numération bactérienne <1 UFC/ml.

Analyse des endotoxines

Des spécifications relatives aux endotoxines sont fixées pour une grande variété d'applications impliquant de l'eau, notamment la dialyse, les produits

injectables et la culture cellulaire. Les niveaux maximaux autorisés vont de $0,25$ UE/ml (unités d'endotoxine/millilitre) à $0,03$ UE/ml. Pour l'analyse des endotoxines, il faut de l'eau de type I (ultra-pure) avec une spécification appropriée pour les endotoxines, généralement de $0,05$ UE/ml ou moins. Une filtration avec des ultrafiltres ou des filtres chargés, de préférence combinée à une photo-oxydation par UV, sera nécessaire.

Eau pour l'histologie

Les cellules destinées à l'histologie sont fixes et non viables, c'est pourquoi l'eau de type II est suffisamment pure. Les valeurs typiques sont une résistivité $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT <50 ppb et une numération bactérienne <1 UFC/ml.

Hybridation

- voir Biologie moléculaire

Cultures hors sol

La source d'eau pour les cultures hors sol doit être suffisamment pure pour permettre de mesurer avec précision les concentrations de minéraux et de nutriments ajoutés, tout en protégeant contre les éventuels effets indirects qu'une contamination pourrait provoquer. Par exemple, des niveaux élevés d'éléments dissous, en particulier le calcium et le magnésium, peuvent entraîner une forte alcalinité qui varie en fonction de la profondeur de l'eau.

Le sodium et le chlorure peuvent également être directement toxiques pour les plantes à des concentrations élevées et causer des dommages indirects en interférant avec l'absorption de calcium, de magnésium, de nitrate et d'oligo-éléments. L'eau déminéralisée de type II, avec de faibles niveaux de contamination ionique, organique et bactérienne, est recommandée pour la culture hydroponique.

Immuno-cytochimie

L'utilisation d'anticorps en immuno-cytochimie pour détecter la distribution de protéines spécifiques est sujette aux interférences provenant des microorganismes contaminants et des débris et produits cellulaires biologiquement actifs associés, c'est pourquoi il est recommandé d'utiliser de l'eau apyrogène de type I (ultra-pure). Cette eau est produite en « polissant » l'eau qui a été préalablement purifiée par déionisation, osmose inverse ou distillation, puis en utilisant une ultrafiltration pour garantir l'élimination des nucléases et des endotoxines.

Analyse microbiologique

L'analyse microbiologique de routine nécessite une eau purifiée de type II, qui est largement exempte de contamination bactérienne et présente de faibles niveaux d'impuretés ioniques, organiques et particulaires. Les valeurs typiques sont une résistivité $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT $<50 \text{ ppb}$ et une numération bactérienne $<100 \text{ UFC/ml}$.

Recherche sur les anticorps monoclonaux

Les anticorps monoclonaux sont un outil précieux pour le développement de nouvelles thérapies et de produits de diagnostic in vivo. Des milieux de culture

et des tampons de grande pureté sont essentiels pour la culture de lignées cellulaires sensibles présentant des anticorps monoclonaux. Alors que des niveaux élevés de contaminants organiques et inorganiques et de gaz dissous peuvent avoir un impact direct ou indirect sur la culture (par exemple, des changements de pH), la principale préoccupation pour les applications de culture cellulaire est l'effet des microorganismes contaminants et de leurs produits et débris cellulaires biologiquement actifs associés. L'eau utilisée pour la culture de bactéries présentant des anticorps monoclonaux doit être au moins de qualité générale de laboratoire, avec une résistivité $>10 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT inférieur à 50 ppb et une numération bactérienne inférieure à 1 UFC/ml . Pour la culture de cellules de mammifères sensibles, l'utilisation d'une eau ASTM de type I apyrogène est recommandée.

Culture de tissus végétaux (micropropagation)

Les techniques de micropropagation permettent le clonage à grande échelle d'espèces végétales et la production de plantes exemptes de maladies. Pour minimiser les effets de la contamination potentielle des espèces biologiquement actives, il est recommandé d'utiliser de l'eau apyrogène de type I (ultra-pure).

Amplification en chaîne par polymérisation (PCR) - voir Biologie moléculaire

Culture de cellules de mammifères et bactériennes

Une culture cellulaire réussie nécessite des milieux de culture et des tampons très purs pour garantir que les cellules

soient exemptes de contaminants (bactéries, levures et virus). Alors que des niveaux élevés de contaminants organiques et inorganiques et de gaz dissous peuvent avoir un impact direct ou indirect sur la culture (par exemple, des changements de pH), la principale préoccupation pour les applications de culture cellulaire est l'effet des microorganismes contaminants et de leurs produits et débris cellulaires biologiquement actifs associés. L'eau utilisée pour la culture cellulaire doit être au moins de type II avec une résistivité $>10 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT de $<50 \text{ ppb}$ et une numération bactérienne inférieure à 1 UFC/ml . La culture de cellules de mammifères, plus sensible, nécessite une eau apyrogène de type I (ultra-pure).

Dosage radioimmunologique (RIA) et dosage immuno-enzymatique (ELISA)

Les réactions d'anticorps utilisées dans le cadre de la méthode ELISA sont relativement robustes et ne nécessitent généralement pas l'utilisation d'une eau de la plus haute pureté. Une eau de type II avec une résistivité $>10 \text{ M}\Omega\text{-cm}$, un COT de $<50 \text{ ppb}$ et une numération bactérienne inférieure à 1 UFC/ml convient.



APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DE LA SANTÉ

Biochimie clinique et immunologie

(voir la section 2 Diagnostics cliniques)

Dans les laboratoires cliniques, l'eau doit être conforme aux normes de qualité en vigueur, et notamment à la norme CLRW du Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) - voir page 45. Il faut veiller à ce que l'eau soit totalement stérile et utilisable pour les procédures de désinfection. L'eau utilisée pour alimenter les analyseurs cliniques, ou pour toute procédure préparative ou analytique, doit être de haute qualité et doit être produite via une combinaison de technologies de purification. Bien que la qualité de l'eau requise pour les analyseurs cliniques soit spécifiée par le fabricant, elle doit

généralement avoir les caractéristiques suivantes : résistivité >10 MΩ-cm, COT <50 ppb et numération bactérienne <5 UFC/ml. Cependant, avec le fort développement des immunoessais dans les équipements d'analyse automatisés, les exigences en matière de qualité bactériologique augmentent. Cela est dû en grande partie au fait que certains dosages utilisent des marqueurs enzymatiques qui peuvent être affectés par des sous-produits de bactéries présentes dans l'eau. Dans ce cas, une numération bactérienne <1 UFC/ml (vers l'analyseur et non simplement à la sortie du système d'eau pure) est nécessaire. Cela nécessite une évaluation détaillée de la distribution et du stockage de l'eau. Il est conseillé de contacter votre spécialiste ELGA local pour obtenir des recommandations à ce sujet.

Endoscopie

Les applications critiques dans le domaine de la santé peuvent nécessiter une numération bactérienne extrêmement basse (jusqu'à 10 UFC/100 ml). Dans certains cas, une eau à faible teneur en endotoxines est nécessaire pour le rinçage des endoscopes après la désinfection. Une eau ASTM de type III ou de type II peut être utilisée, associée à des technologies UV, à un mécanisme d'ultrafiltration et à une désinfection régulière. Pour les applications critiques, il est recommandé d'utiliser un système spécialement conçu pour atteindre les niveaux de biopureté nécessaires (par exemple, le système BIOPURE d'ELGA).

Application en biosciences

Technique	Sensibilité	Résistivité* MΩ-cm	COT ppb	Filtre µm	Bactéries UFC/ ml	Endotoxine UE/ ml	Nucléase	Qualité de l'eau pure
Culture de cellules bactériennes	Général	>1	<50	<0,2	<1	NA	NA	Général de laboratoire
Biochimie clinique	USP/ EP CLSI	>2 >10	<500 <500	<0,2 <0,2	<1 <1	NA NA	NA NA	Général de laboratoire Général de laboratoire
Electrophorèse	Élevée	>18	<10	UP	<1	<0,005	ND	Apyrogène Ultra pure
Électrophysiologie	Général	<1	<50	<0,2	<1	NA	NA	Général de laboratoire
ELISA	Général	<1	<50	<0,2	<1	NA	NA	Ultra pure
Analyse d'entoxine	Standard	>1	<50	<0,2	<1	<0,005	NA	Apyrogène Laboratoire
	Avancée	>18	<10	UF	<1	<0,002	ND	Apyrogène Ultra pure
Histologie	Général	<1	<50	<0,2	<1	NA	NA	Général de laboratoire
Culture hydroponique	Général	<1	<50	<0,2	<1	NA	NA	Général de laboratoire
Immunocytochimie	Élevée	>18	>10	UF	<1	<0,002	ND	Apyrogène Ultra pure
Culture de cellules de mammifères	Élevée	>18	>10	UF	<1	<0,002	ND	Apyrogène Ultra pure
Préparation du support	Général	<1	<50	<0,2	<1	NA	NA	Général de laboratoire
Analyse microbiologique	Général	<1	<50	<0,2	<1	NA	NA	Général de laboratoire
Biologie moléculaire	Élevée	>18	>10	UF	<1	<0,002	ND	Apyrogène Ultra pure
Recherche sur les anticorps monoclonaux	Générale Haute	>1 >18	<50 <10	<0,2 UF	UF	NA <0,002	NA ND	Général de laboratoire Apyrogène Ultra pure
Culture de tissu végétal	Élevée	>18	>10	UF	<1	<0,002	ND	Apyrogène Ultra pure
Dosage radio-immunologique	Général	>1	<50	<0,2	<1	NA	NA	Général de laboratoire

À 25°C

NA - non applicable

ND - non détectable

Chiffres en rouge - impuretés critiques

Section 2

Diagnostics cliniques

- les différentes impuretés et leurs effets sur les tests

—

La qualité de l'eau est extrêmement importante pour les diagnostics cliniques. Une qualité de l'eau inférieure aux normes acceptées affecte non seulement les aspects chimiques des tests mais aussi le fonctionnement général de l'analyseur, ce qui impactera la fiabilité des résultats des tests et se traduira par une augmentation du temps nécessaire aux étalonnages et des coûts des réactifs.

Schéma illustrant l'utilisation de l'eau purifiée dans un analyseur clinique

1 Station de lavage de cuvette

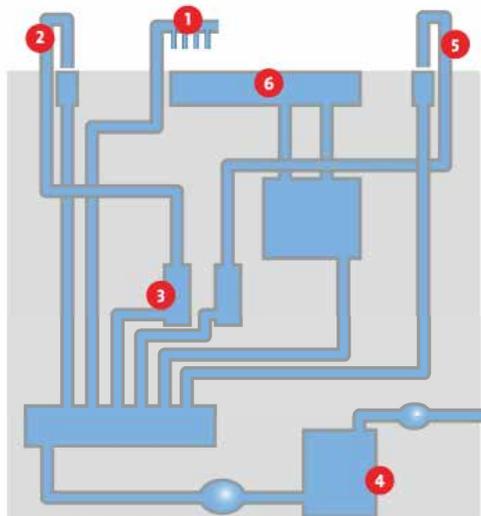
Maintenir une eau de haute qualité pour un nettoyage efficace de la cuvette, en éliminant les poussières et la contamination.

2 Sonde de prélèvement et station de lavage

Maintenir une eau de haute qualité augmente la stabilité du réglage et élimine les risques de contamination d'un échantillon à l'autre.

3 Seringues de pipetage

Eau de haute qualité sans particules pour un pipetage plus exact et précis du prélèvement et du réactif.



6 Bain-marie

Une eau sans bactérie et sans particules permet d'effectuer des relevés photométriques précis et exacts.

5 Sonde à réactif et station de lavage

Maintenir une eau de haute qualité sans bactérie fournit une plus longue stabilité de réactif et élimine la contamination d'un réactif à un autre.

4 Réservoir interne

Stérilisateur UV et filtre $0,2\mu$ afin de maîtriser la contamination bactérienne.

FONCTIONS

L'eau purifiée peut être utilisée pour de nombreuses fonctions différentes dans un analyseur clinique :

- Lavage des cuvettes de réaction
- Alimentation des stations de lavage pour les sondes et les pales d'agitateur
- Dilution des réactifs, échantillons et détergents
- Bains d'incubation
- Interface entre la seringue et l'échantillon

La fiabilité est sans doute la caractéristique la plus importante de l'eau pure pour les analyseurs de pathologie automatisés.

Les laboratoires qui ne disposent pas du budget ou de l'espace nécessaires pour un système « duplex » ont besoin d'une conception robuste, avec des mécanismes « de continuité des activités » qui seront utilisés en cas d'urgence ou de défaillance des systèmes en place.

QUALITÉ DE L'EAU

Une mauvaise qualité de l'eau peut affecter les performances de l'analyseur de différentes manières, notamment :

- Réduction de la précision du volume de pipetage en raison de la présence de particules et de bactéries.
- Erreurs dans les relevés photométriques dues à l'interférence de particules lors de l'utilisation d'un bain-marie.
- Contamination par le lavage des cuvettes, transferts et traces d'eau.
- Contamination et transfert lors du lavage des sondes de prélèvement et de réactifs.
- Manque de précision dans les échantillons et la dilution, ce qui entraîne des erreurs et une mauvaise stabilité des réactifs.
- Si l'eau est utilisée comme solution témoin zéro (Ca, Mg, PO₄, HCO₃, etc.), elle risque de réduire la stabilité et la sensibilité de l'étalonnage.
- Dans les systèmes de dosage immunologique, les sous-produits bactériens (notamment la phosphatase alcaline) peuvent affecter certains résultats de dosage basés sur des enzymes.

NORMES INTERNATIONALES

Étant donné que l'eau purifiée est nécessaire dans toutes les industries et organisations scientifiques, les autorités de normalisation internationales et nationales ont établi des normes de qualité de l'eau pour diverses applications. Pour le secteur de l'analyse clinique, les normes les plus pertinentes sont celles du Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), anciennement National Committee for Clinical Laboratory Standards, (voir la section 4 : Normes relatives à l'eau purifiée, pour plus de détails).

Pour les applications nécessitant des normes encore plus strictes que celles déjà établies, ELGA travaille avec le fabricant de l'analyseur pour définir la qualité d'eau appropriée.

Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) - Preparation and testing of reagent Water in the Clinical Laboratory - Third Edition (1997) [Préparation et test d'une eau de qualité réactif en laboratoire clinique, Troisième édition] - Révisée en 2006

Les principales directives sur l'eau purifiée établies dans la 3e édition du CLSI concernaient trois grands types d'eau (Type I-III). Le type I était le plus pertinent pour les laboratoires cliniques et l'alimentation des instruments automatisés. Ces types d'eau ont été remplacés par les catégories CLRW (Clinical Laboratory Reagent Water, eau de qualité réactif en laboratoire clinique), SRW (Special Reagent Water, eau de qualité réactif spéciale) et Instrument Feed Water (eau pour d'alimentation des instruments). Voir la page 45 pour plus de détails sur ces qualités d'eau.

Tendances en chimie clinique

L'automatisation des procédures de chimie clinique permet d'améliorer l'efficacité, la productivité et la rentabilité. L'automatisation peut

	Type I	Type II	Type III
Bactéries max (UFC/ml)	10	1000	NS
pH	NS	NS	5.0 - 8.0
Résistivité (MΩ-cm à 25°C) min.	10	1	0.1
SiO₂ mg/l max.	0.05	0.1	1
Particules	filtre 0.2 μ m	NS	NS
Contaminants organiques	Charbon actif, distillation ou osmose inverse	NS	NS

Types d'eau purifiées selon le Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI)

maintenant être intégrée aux processus sophistiqués d'identification des échantillons, à la pré-analyse (tri des échantillons, centrifugation, décapsulation et répartition dans des tubes secondaires codés pour diverses stations de travail en ligne et hors ligne), aux systèmes de traçage des transferts d'échantillons vers divers utilisateurs et enfin à un système de stockage réfrigéré pour la conservation des échantillons en vue de recherches et d'essais ultérieurs.

Validation et contrôle des tendances

La validation des systèmes de purification de l'eau devient peu à peu une obligation : des preuves objectives doivent être fournies pour confirmer qu'un système de purification répond aux exigences d'une utilisation ou d'une application spécifique. L'eau purifiée doit être validée comme étant « propre à l'usage auquel elle est destinée » et les spécifications de pureté doivent être intégrées dans la procédure de validation de la purification de l'eau. Cette validation sert à documenter la capacité du système à fournir des volumes adéquats d'eau purifiée selon les spécifications énoncées, telles que détaillées dans le cahier des charges de l'utilisateur.

Après avoir validé que l'eau est « propre à l'usage prévu », il est essentiel de s'assurer qu'elle continue à répondre aux spécifications requises dans le temps ; pour ce faire, il faut mesurer et documenter les paramètres définis à intervalles réguliers. En outre, cette approche permet de détecter la détérioration des composants de purification avant que la qualité de l'eau n'en soit affectée. La détérioration d'un paramètre mesuré, par exemple des changements dans la résistivité ou le COT requis, indique la nécessité d'une intervention d'entretien sur le système ou d'un examen plus approfondi, afin de garantir que les spécifications requises sont toujours respectées. En outre, l'enregistrement des paramètres critiques sur une période de temps définie est essentiel pour identifier les changements progressifs de la qualité de l'eau et permettre de prendre des mesures correctives. Par exemple, si les cartouches d'échange d'ions sont utilisées au-delà de leur durée de vie prévue, des impuretés susceptibles d'interférer avec les réactions obtenues dans le cadre de l'analyse peuvent être éluées dans l'eau purifiée à des niveaux non décelables par les systèmes de contrôle intégrés.

EFFET DES EXIGENCES EN MATIÈRE D'EAU PURE

Une plus grande pureté

Les progrès technologiques réalisés en termes d'analyseurs exigent une alimentation en eau de bonne qualité pour garantir des performances et une fiabilité élevées. Étant donné que

l'eau est utilisée dans pratiquement toutes les procédures réalisées sur un analyseur, il est crucial que sa qualité soit contrôlée et vérifiée pour garantir l'intégrité des résultats des tests. L'intégration de plusieurs technologies

dans un seul analyseur pour réaliser à la fois des procédures chimiques et immunologiques impose l'utilisation d'une eau pure de qualité supérieure, les essais immunologiques étant plus sensibles.

Les petits volumes d'échantillons et de réactifs permettent de réduire les coûts, mais ils exigent aussi une eau plus pure dans la mesure où un volume réduit nécessite une sensibilité accrue.

Essais

Le diagnostic ou le stade d'évolution de certaines maladies est associé à des niveaux élevés de protéines spécifiques, connues sous le nom de biomarqueurs, dans le sang. Par exemple, des niveaux élevés de tropinine indiquent une athérosclérose, le peptide cérébral natriurétique de type B est associé à une maladie coronarienne, l'alpha-fœtoprotéine (AFP) est un marqueur de carcinome hépatocellulaire, l'antigène carbohydrate CA-19-9 est corrélé au cancer du pancréas et l'antigène spécifique de la prostate (PSA) est un marqueur du cancer de la prostate. Ces protéines sont généralement présentes en très faibles concentrations (nmol/L ou pmol/L) et sont détectées par des techniques extrêmement sensibles. Par rapport aux essais/analyses classiques, les méthodes de détection actuelles ont l'avantage de réduire le nombre de tests à effectuer. Cependant, comme elles sont plus sensibles aux interférences des contaminants, il est crucial que l'eau utilisée soit de qualité appropriée afin de réduire autant que possible les interférences potentielles.

Réglementation

Dans la plupart des pays, les laboratoires du secteur public sont conseillés/régulés par un organisme d'accréditation qui établit des normes et des directives de travail. Bien que les laboratoires du secteur privé ne soient pas astreints à cette obligation, bon nombre d'entre eux se sont enregistrés auprès d'un organisme d'accréditation, compte tenu de la crédibilité et des avantages qu'il en retirent. Par exemple, le Collegiate of American Pathologists (CAP) est l'organisme d'accréditation aux États-Unis, mais de nombreux laboratoires de différents pays demandent

également à être enregistrés auprès du CAP. Le CAP recommande que l'eau de laboratoire réponde au minimum à la norme de qualité CLRW (Clinical Laboratory Reagent Water, eau de qualité réactif en laboratoire clinique) du CLSI.

Les fabricants d'analyseurs cliniques sont également réglementés par des organisations telles que la Federal Drug Association (FDA) et la Medical Devices Agency. Les fournisseurs d'automates sont tenus de veiller à la validation de leurs produits chimiques et d'utiliser une eau purifiée de qualité appropriée, de sorte que tous les résultats soient précis et reproductibles.

Contaminants éventuels des sources d'eau et technologies de purification

Test clinique*	Interférence *	Source	Suppression
Calcium total	Fluorure	Traitement de l'eau, géologie	OI, DI
	Oxalate	Feuilles, végétation	OI, DI, CA
	Sulfates	Roches, traitement de l'eau	OI, DI
	Sels de calcium	Roches, traitement de l'eau	OI, DI
Phosphatase alcaline	Fluorure	Traitement de l'eau	OI, DI
	Oxalate	Feuilles, végétation	OI, DI, CA
	Phosphate	Roches, détergents, traitement de l'eau	OI, DI
	Sels de zinc	Roches	OI, DI
	Manganèse	Roches	OI, DI
	Arséniate	Roches, pesticides	OI, DI
	Citrate	Agrumes	OI, DI, CA
	EDTA	Processus chimique, détergents	OI, DI, CA
	Bactéries	Canalisation/biofilm	OI, filtre 2 µm, UV, san
	Endotoxines	Canalisation/biofilm	OI, CA, UF
Créatine kinase (CK)	Agents oxydants	Traitement de l'eau	CA
Amylase	Oxalate	Feuilles, végétation	OI, DI, CA
	Citrate	Agrumes	OI, DI, CA
	Fluorure	Traitement de l'eau	OI, DI
	EDTA	Processus chimique, détergents	OI, DI, CA
Lactodéshydrogénase (LDH)	Oxalate	Feuilles, végétation	OI, DI, CA
	Urée	Effluent	OI, CA
Phosphore	Citrate	Agrumes	OI, DI, CA
	Oxalate	Feuilles, végétation	OI, DI, CA
Azote d'urée	Citrate	Agrumes	OI, DI, CA
	Fluorure (conc. élevée)	Traitement de l'eau	OI, DI
Fer	Citrate de sodium	Agrumes	OI, DI, CA
	EDTA	Processus chimique, détergents	OI, DI, CA
	Fluorure	Traitement de l'eau, pierres	OI, DI
	Oxalate	Feuilles, végétation	OI, DI, CA
Magnésium	Citrates	Agrumes	OI, DI, CA
Triglycérides	Glycérol	Produits chimiques anti-gel, plastiques	OI, CA
LDH	Péroxyde d'hydrogène	Produit chimique de nettoyage	CA, UV
Toutes réactions de peroxydase	Péroxyde d'hydrogène	Produit chimique de nettoyage	CA, UV

Section 3

Santé

Le nettoyage, la désinfection et la stérilisation des équipements médicaux réutilisables sont de plus en plus réglementés par les directives de l'industrie et les normes internationales, en raison de la nécessité de contrôler les infections en milieu hospitalier et de la propagation du staphylocoque doré résistant à la méthicilline (SARM), de l'hépatite, de la maladie de Creutzfeldt-Jakob et d'autres agents pathogènes résistants. Deux éléments-clés doivent être pris en compte pour la stérilisation des équipements médicaux réutilisables : la protection des personnes (patients et personnel) et la protection des équipements.

PROTECTION DES PATIENTS (ÉVITER LA CONTAMINATION CROISÉE)

Les encéphalopathies spongiformes transmissibles (EST), également connues sous le nom de maladies à prions, sont des maladies dégénératives rares qui affectent le cerveau et le système nerveux chez l'homme et chez certains mammifères. Ces maladies (actuellement incurables), qui entraînent une altération progressive

des fonctions cérébrales, notamment des problèmes de mémoire, des changements de personnalité et des problèmes de motricité, sont mortelles. Les maladies à prions humaines les plus courantes sont la maladie de Creutzfeldt-Jakob (MCJ) classique et une nouvelle variante de la maladie de Creutzfeldt-Jakob (vMCJ), toutes deux liées à l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB). En général, les individus ne présentent pas de symptômes de la maladie pendant de nombreuses années après

l'infection. Par conséquent, pendant cette phase d'incubation, ni eux ni leurs médecins ne savent qu'ils sont potentiellement infectieux, sauf s'ils appartiennent à un groupe à risque connu. Étant donné que l'agent infectieux qui provoque la maladie est très stable et qu'il n'est pas inactivé par les méthodes couramment utilisées pour nettoyer et stériliser les instruments, il existe un faible risque que la transmission puisse avoir lieu lors d'une opération chirurgicale de routine sur ces personnes, en particulier en cas de

contact avec des tissus à haut risque tels que le cerveau ou le système nerveux central. La lutte contre ces infections nosocomiales secondaires, et en particulier contre la transmission des maladies à prions, a amené les autorités sanitaires et les organismes professionnels de certains pays à réglementer la procédure de décontamination des

instruments médicaux, y compris les endoscopes.

Pour prévenir la contamination par les prions, les professionnels de santé doivent veiller à ce que leurs instruments et endoscopes soient toujours parfaitement propres, désinfectés et prêts à l'emploi. Le nettoyage approfondi des instruments est nécessaire pour

garantir l'élimination des agents infectieux adhérents et des matières organiques qui les protègent, afin de permettre un meilleur contact entre le désinfectant et tout agent infectieux qui resterait sur les surfaces de l'instrument ou du dispositif médical.

PROTECTION DES ÉQUIPEMENTS

Les contaminants inorganiques tels que la rouille, les dépôts d'eau dure (tartre), la silice et les résidus de produits de nettoyage peuvent, avec le temps, endommager la surface de l'instrument médical et créer un habitat propice à la croissance bactérienne. La chaleur et certains désinfectants (alcools et aldéhydes) sont également des fixateurs de tissus et peuvent entraîner le raidissement des parties mobiles d'un appareil si les surfaces ne sont pas soigneusement nettoyées

avant la stérilisation/désinfection. L'utilisation d'une eau de meilleure qualité réduit les volumes de nettoyants chimiques nécessaires, ce qui constitue un avantage économique.

Les exigences typiques en matière de qualité de l'eau sont les suivantes :

- Nombre total de bactéries viables inférieur à 10 UFC/100 ml
- Niveaux d'endotoxines inférieurs à 0,25 UE/ml
- Conductivité comprise entre 5 et 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Les systèmes d'eau de rinçage

doivent être régulièrement désinfectés et validés pour garantir qu'ils continuent à répondre aux spécifications en matière d'eau

- Des échantillons d'eau doivent être prélevés régulièrement pour s'assurer de la conformité

Ces directives et normes ont été introduites pour minimiser le risque d'infection croisée des patients par une série de bactéries, notamment les *mycobactéries*, les *pseudomonas* et le *staphylococcus epidermidis*.

DÉCONTAMINATION DES ENDOSCOPES

La plupart des instruments chirurgicaux sont désinfectés par un processus de nettoyage, de désinfection thermique et de stérilisation. Cependant, les endoscopes et certains autres instruments sont thermiquement labiles. Ne pouvant tolérer des températures de 60 °C ou plus, ces instruments ne peuvent donc pas être désinfectés et stérilisés thermiquement.

Les endoscopes sont donc stérilisés par une procédure de désinfection chimique, puis rincés dans de l'eau purifiée pour éliminer toute trace de désinfectant. Après la décontamination, l'équipement doit être manipulé avec soin pour minimiser tout risque de recontamination.

Récemment, l'Organisation internationale de normalisation a publié une norme (ISO 15883 partie 4) relative aux exigences et aux essais concernant les autolaveurs utilisant la désinfection chimique pour les endoscopes thermolabiles. Ces normes spécifient l'utilisation d'une eau dont la numération microbienne est <10 UFC/100 ml (testée sur au moins deux échantillons). Si le dispositif médical entre en contact avec la circulation sanguine ou d'autres zones normalement stériles du corps, les normes exigent que l'eau de rinçage final soit contrôlée et surveillée dans les limites spécifiées par les réglementations nationales (par exemple HTM0101 au Royaume-Uni, ou le cas échéant la norme « Eau pour préparation injectable » de la Pharmacopée américaine (USP, United States Pharmacopeia)). Pour de

nombreux pays, cela nécessite un nombre d'endotoxines <0,25 UE/ml.

Pour respecter ces normes strictes, il est recommandé d'utiliser un système de purification de l'eau par osmose inverse avec recirculation UV et filtration en ligne des endotoxines. Cependant, dans l'ensemble, l'aspect le plus important des exigences est la nécessité d'utiliser un système de purification de l'eau capable de maintenir la pureté biologique grâce à une désinfection simple et facile.

Section 4

Présentation de la purification de l'eau

SOURCE - PRODUCTION D'EAU POTABLE

L'eau purifiée de laboratoire est généralement produite *in situ* à partir de l'eau potable locale issue du traitement des sources d'eau naturelles. L'exigence générale pour la production de l'eau potable est qu'elle se conforme aux réglementations et possède une clarté, un goût et une odeur acceptables. L'eau naturelle est

dérivée de sources d'altitude, telles que des réservoirs, des rivières ou des couches aquifères souterraines ; l'eau potable est produite par une série d'étapes qui peuvent varier avec la source d'eau, les réglementations locales et nationales et le choix des technologies.

Variations de la qualité de l'eau brute

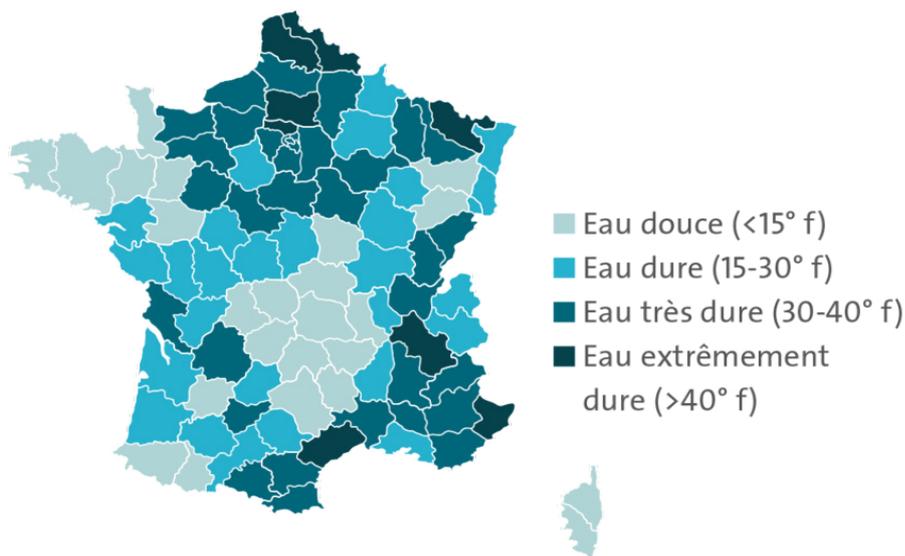
Contrairement aux autres matériaux bruts, la pureté de l'eau potable peut être variable d'une région géographique à une autre et d'une saison à l'autre. L'eau issue d'une source de surface en altitude, par exemple, a généralement une faible teneur en sels dissous et est relativement douce, mais présente une forte concentration de contamination organique, majoritairement colloïdale.

En revanche, l'eau provenant d'une source souterraine a généralement une teneur élevée en sels et un haut niveau de dureté mais une faible teneur en matières organique faible. Les sources de rivières sont de qualité intermédiaire, mais contiennent souvent des produits issus des activités industrielles, agricoles et domestiques. Les variations saisonnières de la qualité de l'eau sont plus apparentes dans les eaux de surfaces. Durant les mois d'automne et d'hiver, les feuilles mortes et les plantes en décomposition libèrent de grandes quantités de matières organiques dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs. Par conséquent, la

contamination organique des eaux de surface atteint un pic en hiver et reste minimale en été. Les eaux souterraines sont beaucoup moins affectées par les saisons. La qualité et les caractéristiques de la source d'eau potable déterminent le régime de purification requis pour produire l'eau purifiée.

La qualité de l'eau naturelle varie selon :

- la géographie
- la source : eau de surface ou source souterraine
- la saison



L'EAU POTABLE EST SOUVENT

- Dirigée à travers une série de filtres pour retirer les débris, puis mise en contact avec de l'ozone dans des réservoirs de mélange pour oxyder les pesticides et les herbicides et tuer les bactéries et les algues
- Traitée pour détruire l'excès d'ozone
- Clarifiée pour supprimer les solides en suspension, qui sont collectés sous forme d'un gâteau de boues (parfois un agent floculant tel que le chlorure de polyaluminium est ajouté pour faciliter ce processus)
- Filtrée à travers un filtre à sable par gravité et/ou soumise à une ozonation supplémentaire
- Filtrée à travers un filtre à charbon actif granulaire (GAC) afin de piéger la matière solide et organique
- Traitée au chlore pour tuer les bactéries restantes. Une faible proportion résiduelle est conservée pour maintenir des niveaux bactériens faibles. Une étape d'ultrafiltration supplémentaire est de plus en plus utilisée pour éliminer le cryptosporidium.

IMPURETÉS DANS L'EAU POTABLE

La capacité unique de l'eau à dissoudre, dans une certaine mesure, quasiment tout composant chimique, et de prendre en charge pratiquement toute forme de vie signifie que les sources d'eau potable contiennent de nombreuses substances en solution ou en suspension. Nombre de ces contaminants peuvent affecter les applications scientifiques par leur interaction avec d'autres substances – dont certaines peuvent être celles que vous analysez.

Particules en suspension

La matière en suspension dans l'eau inclut des particules dures (sable, pierre, limon, débris de canalisation), des particules molles (débris végétaux) et des particules colloïdales (organiques ou non). Les particules en suspension peuvent encrasser les membranes d'osmose inverse, bloquer les colonnes analytiques à pores fins et compromettre le fonctionnement des vannes et des compteurs. Les particules colloïdales créent du trouble ou de la turbidité dans l'eau et affectent le fonctionnement des instruments.

Composés inorganiques dissous

Les substances inorganiques représentent la plus grande partie des impuretés dans l'eau. Elles incluent :

- *Des sels de calcium et de magnésium, qui causent une dureté « temporaire » ou « permanente »*
- *Du dioxyde de carbone, qui se dissout pour produire un acide carbonique qui influence, en fonction de la technologie utilisée, le pH de l'eau produite*
- *Des sels de sodium*
- *Des silices en provenance des lits de rivière sableux*
- *Des composés de fer ferreux et ferriques dérivés des minéraux et canalisations rouillées*
- *Des chlorures issus de l'intrusion de sel*
- *De l'aluminium produit par le dosage des produits chimiques et minéraux*
- *Des phosphates issus des détergents*
- *Des nitrates issus des engrais*

De nombreux ions peuvent être présents en fonction de la source d'eau naturelle. Même sous forme de trace, les ions inorganiques peuvent affecter les réactions organiques et biochimiques en jouant le rôle de catalyseur. Cependant, l'eau déminéralisée peut encore contenir d'autres contaminants.

Composés organiques dissous

Les impuretés organiques dans l'eau sont principalement d'origine biologique. La décomposition des végétaux génère des produits dérivés qui incluent des acides humiques et fulviques, des tanins et de la lignine. L'agriculture, l'industrie du papier, les déchets domestiques et les déchets industriels génèrent également des composants organiques, parmi lesquels des détergents, des graisses, des huiles, des solvants et des résidus de pesticides et d'herbicides. De plus, les composés organiques présents dans l'eau peuvent inclure les composants lessivés des canalisations, réservoirs et milieux de purification. Les composés organiques dissous peuvent compromettre les techniques d'analyse et affecter les expériences biologiques, notamment la culture cellulaire. Même une légère contamination présente dans l'eau utilisée pour préparer les éluants de chromatographie liquide peuvent causer une instabilité de la ligne de base ou un pic fantôme, réduire la sensibilité et la résolution et également la durée de vie de la colonne.

Microorganismes

Les bactéries sont les principaux microorganismes qui contaminent l'eau naturelle. La chloration garantit la suppression des bactéries nuisibles, mais l'eau potable contient toujours des microorganismes vivants. Un niveau bactérien type pour une alimentation d'eau potable de laboratoire, par exemple, est de dix unités formant colonie par millilitre (UFC/ml) ou moins. Les bactéries sont généralement maintenues à des niveaux faibles en employant des niveaux résiduels de chlore ou d'autres désinfectants. Cependant, après avoir été fortement limitées lors de purification de l'eau, les bactéries restantes peuvent proliférer. Les bactéries peuvent compromettre des expériences de laboratoire directement ou via leurs produits dérivés, tels que des pyrogènes, des phosphatases alcalines ou des nucléases. La désinfection de l'eau joue donc un rôle important.

L'EAU NATURELLE POTABLE CONTIENT CINQ GRANDES CLASSES D'IMPURETÉS :

- Particules en suspension
- Composés inorganiques dissous
- Composés organiques dissous
- Microorganismes
- Gaz dissous

Gaz dissous

L'eau potable est en équilibre avec l'air et contient ainsi des gaz dissous tels que l'azote, l'oxygène et le dioxyde de carbone. Dans l'eau purifiée, le dioxyde de carbone est dissocié pour former un acide carbonique faible ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$).

Cet anion faible réduit la capacité des résines d'échange d'anions. L'oxygène dissous ne pose habituellement problème que lorsque la formation de

bulles est gênante. Dans les applications où l'eau purifiée est utilisée dans des récipients ouverts, l'équilibre avec les gaz de l'air se rétablit rapidement. La mise en oeuvre de membranes de dégazage est possible dans ce cas. L'oxygène et l'azote peuvent tous deux former des bulles nuisant à des processus tels que le comptage des particules ou les mesures du spectrophotomètre.

Mesure des impuretés dans l'eau potable

Afin de concevoir ou de sélectionner un système de purification d'eau, il est nécessaire de posséder des informations sur la composition de l'eau d'alimentation, qui est généralement de l'eau potable locale. Votre fournisseur d'eau local peut vous communiquer les données de qualité moyenne de l'eau de votre site. Autrement, un échantillon peut être prélevé et analysé.

ANALYSE DIRECTE DE L'EAU

- Le risque de colmatage du filtre est estimé à l'aide d'un test d'indice de colmatage (ou Fouling Index, FI), ou, mais moins fiable, à l'aide de la turbidité.
- Les composants inorganiques peuvent être déterminés par :
 - Chromatographie ionique
 - Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif
 - Méthodes spectrophotométriques
- La conductivité électrique donne une indication des problèmes potentiels.
- Les composés organiques peuvent être déterminés individuellement, par exemple de façon chromatographique, ou par une indication totale du contenu organique à l'aide d'une mesure de carbone organique total (COT).
- La numération des germes viables totaux ainsi que celle des espèces individuelles peut être mesurée par filtration ou inoculation et incubation dans un milieu de culture adapté.
- Les solides dissous totaux (TDS) sont les résidus (en ppm) produits par l'évaporation d'un échantillon d'eau jusqu'à évaporation et un chauffage à 180°C. Étant donné que les sels inorganiques forment la plus grande proportion du résidu TDS, ils servent d'indicateur du niveau total de composés inorganiques. Ils peuvent être mesurés directement ou évalués en multipliant la conductivité de l'eau, en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 °C, par 0,7.

Procédés de purification de l'eau

Pour la plupart des applications de laboratoire et cliniques, l'eau est généralement purifiée à partir de l'eau potable. L'objectif général est d'éliminer les impuretés de l'eau potable (alimentation en eau) tout en réduisant la contamination supplémentaire des composants du système de purification et de la croissance bactérienne. La conception du système et la sélection des composants sont essentielles à la réussite de l'opération. La sélection des étapes initiales d'un système de purification dépendra des caractéristiques de l'eau d'alimentation.

Le processus de purification commence par une étape de traitement préalable pour réduire l'altération des composants de purification d'eau suivants, assurer un fonctionnement fiable et réduire le coût d'exploitation en évitant de remplacer trop souvent les composants onéreux. Les principales technologies de purification de l'eau sont décrites ci-dessous. Elles ont chacune leurs avantages et leurs limites.

Bactéries - principaux contaminants de l'eau

Les microorganismes et leurs produits dérivés représentent un défi particulier car ils pénètrent dans les systèmes de purification d'eau non protégés à partir de l'eau d'alimentation, par toutes les ouvertures du système ou par le point d'utilisation. Ils se développent sous forme de biofilms sur toutes les surfaces humides des composants de purification d'eau, y compris les réservoirs de stockage et les canalisations d'un système de distribution. Un biofilm est une couche composée en majeure partie de glycoprotéines et d'hétéropolysaccharides dans laquelle les bactéries peuvent se multiplier même lorsque la concentration de nutriments dans l'eau est très faible. Cette couche protège les organismes du traitement périodique à l'aide de biocides ayant pour principal effet de tuer les microorganismes planctoniques (flottant librement).

Le relargage du biofilm d'impuretés ainsi que les produits dérivés de la croissance

et du métabolisme des microorganismes (par exemple les endotoxines) restent des contaminants potentiels de l'eau. L'analyse microbiologique de l'eau peut aider à identifier les germes problématiques.

Les défis à relever pour un système de purification d'eau pure et ultra pure sont les suivants :

- *Éliminer les bactéries présentes dans l'eau d'alimentation*
- *Garantir que le moins de bactéries possibles sont présentes dans l'eau produite*
- *Éviter que des bactéries n'entrent dans le système et ne le recontaminent*
- *Inhiber la croissance des bactéries dans le système grâce à sa conception et à un nettoyage régulier*

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES DE PRÉTRAITEMENT DE L'EAU

Filtres microporeux en profondeur

Les filtres microporeux en profondeur sont constitués d'agrégats de fibres ou de matériaux comprimés pour former une matrice servant de barrière physique bloquant le passage des particules par adsorption ou piégeage aléatoire et sont caractérisés par des valeurs nominales de taille de particule. La plupart des eaux brutes contiennent des colloïdes, qui ont une légère charge négative (mesurée à l'aide du potentiel Zeta). Les performances de filtration peuvent être améliorées à l'aide de micro filtres à surface modifiée, attirant et retenant ces colloïdes d'origine naturelle, qui sont généralement beaucoup plus petits que les pores de la membrane. Les filtres en profondeur (généralement de 1 à 50 µm) sont généralement utilisés pour éliminer de façon peu coûteuse la majeure partie (> 98 %) des solides en suspension et pour éviter l'encrassement et le colmatage des instruments de purification en aval. Ils sont remplacés périodiquement en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation.

Charbon actif (CA) - dans le milieu en prétraitement

Le charbon actif est utilisé pour le prétraitement de l'eau d'alimentation. Il élimine le chlore et la chloramine pour éviter qu'ils n'endommagent les filtres à membrane et les résines d'échange d'ions. La plupart des charbons actifs sont produits par « activation » du charbon, à partir de coquilles de noix de coco ou de charbon, par chauffage à 800-1000 °C en présence de vapeur d'eau et de CO₂. Un rinçage à l'acide élimine la plupart des oxydes résiduels et autres matériaux solubles. Le charbon actif contient un ensemble de pores minuscules dont les tailles sont comprises entre 500 et 1 000 nm et d'une surface d'environ 1 000 mètres carrés par gramme. Le processus d'adsorption est contrôlé par le diamètre des pores dans le filtre à charbon et le débit de diffusion des molécules organiques à travers les pores. Le débit d'adsorption est fonction du poids moléculaire et de la taille moléculaire des composants organiques.

Le charbon est utilisé sous forme de granules ou de cartouches moulées et encapsulées qui produisent moins de particules fines. Le charbon actif réagit chimiquement avec 2 à 4 fois son poids de chlore pour produire rapidement des

chlorures. Par conséquent, même les filtres à charbon de petite taille peuvent éliminer de manière efficace le chlore présent dans l'eau.

En revanche, le charbon décompose les chloramines par un processus de réaction catalytique relativement lent en produisant de l'ammoniaque, de l'azote et des chlorures. Ce processus requiert donc d'importants volumes de charbon. L'encrassement organique (dont l'importance varie d'un site à l'autre) peut réduire l'efficacité du charbon. Cet élément doit être pris en compte lors du choix de la taille des filtres à charbon.

La grande superficie et la forte porosité des charbons actifs, ainsi que les substances qu'ils retiennent, en font un terrain propice aux microorganismes. Ce phénomène peut être partiellement atténué en ajoutant des biocides insolubles (par exemple de l'argent) au charbon. Les lits de charbon actif doivent être régulièrement remplacés afin de réduire autant que possible la prolifération bactérienne.

RAPPEL FILTRES MICROPOREUX EN PROFONDEUR

Avantages :

- Ces préfiltres constituent un moyen économique de supprimer plus de 98 % des solides en suspension, évitant ainsi l'encrassement, le colmatage des systèmes en aval et la saturation des sites actifs des résines lits mélangés
- Haute capacité

Limitations :

- Non régénérable

RAPPEL CHARBON ACTIF

Avantages :

- Ces préfiltres éliminent le chlore et la chloramine et réduisent, dans une certaine mesure, la contamination organique dissoute

Limitations :

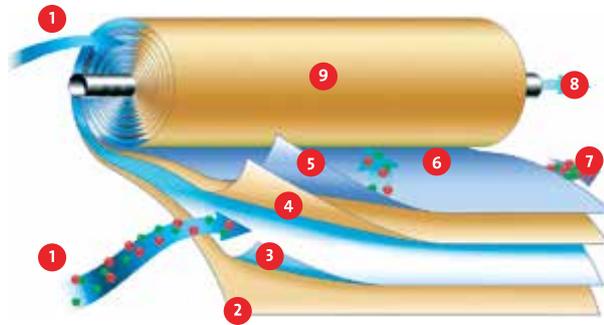
- N'éliminent pas les ions et les particules
- Doivent être changés régulièrement pour minimiser la prolifération bactérienne
- Peuvent libérer des particules de charbon

PRÉSENTATION DES PRINCIPALES TECHNOLOGIES DE PURIFICATION DE L'EAU

Osmose inverse (RO)

Les membranes RO éliminent les contaminants de l'eau dont la taille est inférieure à 1 nm de diamètre et suppriment généralement plus de 90 % de la contamination ionique ainsi qu'une grande partie de la contamination organique et la quasi-totalité de la contamination particulaire. Cependant, l'élimination des contaminants non ioniques dont le poids moléculaire est inférieur à 100 Da peut être faible avec l'osmose inverse. Celle-ci augmente en présence de poids moléculaires plus élevés, en théorie, les molécules de plus de 300 Da, les particules, colloïdes et microorganismes (y compris les pyrogènes), sont totalement éliminés. Les gaz dissous ne sont pas éliminés.

Dans le processus d'osmose inverse, l'eau d'alimentation est pompée à travers le point d'entrée latéral d'une membrane RO sous pression (généralement de 4 à 15 bars, 60 à 220 psi) selon un écoulement tangentiel. Les membranes RO sont généralement constituées d'un film polyamide mince et restent stables sur une large plage de pH. Elles risquent cependant d'être endommagées par des agents oxydants tels que le chlore. Il est généralement nécessaire de prétraiter l'eau d'alimentation à l'aide de filtres microporeux en profondeur et de charbon actif afin de protéger la membrane contre les particules de grande taille, les



- 1 Eau d'alimentation
- 2 Membrane RO
- 3 Espace d'alimentation
- 4 Membrane RO
- 5 Espace de produit
- 6 Perméat
- 7 Concentrat
- 8 Perméat
- 9 Module spirale RO

métaux de transition et le chlore libre. En règle générale, 15 à 30 % de l'eau d'alimentation traversent la membrane (c'est le perméat), le reste sortant de la membrane (c'est le concentrat, qui renferme la plupart des sels, des composants organiques, et quasiment toutes les particules). Le rapport entre le volume de perméat et le volume d'eau d'alimentation est appelé « taux de conversion ». L'utilisation d'un système RO à faible rendement permet de réduire l'encrassement de la membrane dû à la précipitation des sels peu solubles. Toutefois, il est possible d'obtenir des rendements allant jusqu'à 75 %, selon la composition de l'eau d'alimentation, la filtration et le prétraitement par adoucissement utilisé. Les performances de la membrane d'osmose inverse sont généralement surveillées en mesurant le pourcentage de réjection ionique, c'est-à-dire la différence entre les conductivités de l'eau d'alimentation et du perméat divisée par la conductivité de l'eau

d'alimentation, calculée sous forme de pourcentage.

La « réjection ionique » et le « rendement » varient en fonction de l'eau d'alimentation, de la pression d'arrivée, de la température de l'eau et de l'état de la membrane RO. L'osmose inverse, grâce à son efficacité exceptionnelle, constitue une technologie très rentable pour éliminer la plupart des impuretés. Elle est néanmoins limitée par un débit de production relativement faible et est par conséquent généralement utilisée en prétraitement pour remplir un réservoir avant une utilisation ou une purification ultérieure. Un système de purification d'eau par osmose inverse protège le système contre l'encrassement dû aux colloïdes et aux substances organiques. Il est généralement complété par un procédé d'échange d'ions ou une électrodéionisation.

RAPPEL OSMOSE INVERSE

Avantages :

- Élimination efficace de tous les types de contaminants à des degrés divers (bactéries, colloïdes, composés inorganiques dissous, particules et pyrogènes)
- Entretien minimal
- Paramètres de fonctionnement faciles à contrôler

Limitations :

- Des débits par unité de surface limités nécessitent une membrane de grande surface ou un stockage dans lequel l'eau doit être maintenue en qualité

- Prétraitement efficace nécessaire afin d'éviter que la membrane ne soit endommagée par les contaminants :

- Entartrage : Dépôts de CaCO_3 en surface
- Encrassement : dépôts organiques ou colloïdaux en surface
- Percement : dommages physiques causés par des particules

- Faible élimination du CO_2 dissous

- Nécessité de fonctionner régulièrement afin d'éviter la dégradation et contamination du module d'osmose

Échange d'ions (IX ou DI)

Avec ce procédé, des lits de résines d'échange d'ions peuvent éliminer efficacement les espèces ionisées de l'eau en les échangeant contre des ions H⁺ et OH⁻. Ces résines sont des billes poreuses de moins d'1 mm constituées de polymères insolubles hautement réticulés comprenant de grands nombres de sites d'échange ioniques forts. Les ions en solution migrent dans les billes pour atteindre les sites actifs d'échange. Les billes de résine sont soit cationiques, soit anioniques et échangent soit des ions hydrogène contre des cations (par exemple, sodium, calcium et aluminium), soit des ions hydroxyle contre des anions, (par exemple, chlorure, nitrate et sulfate). L'ion d'hydrogène de l'échangeur de cations se combine avec l'ion hydroxyle de l'échangeur d'anions pour former de l'eau pure. Les résines de cation fortes sont constituées de dérivés d'acide polysulfonique de polystyrène réticulé avec du divinylbenzène. Les résines d'anions fortes sont de l'hydroxyde d'ammonium quaternaire de benzyltriméthyle (Type 1) ou de l'hydroxyde d'ammonium

quaternaire de benzyltriméthyle (Type 2) dérivés de polystyrène réticulé avec du divinylbenzène.

Les lits de résines d'échange d'ions sont disponibles sous forme de cartouches ou de cylindres. Lorsque l'ensemble des sites actifs ont échangé les H⁺ et les OH⁻ avec les cations et anions présent dans l'eau d'alimentation, la résine est dite saturée. On procède alors à un échange standard de cylindre de déminéralisation (avec résine régénérée) ou à la mise en place d'une charge de résine neuve. Les cylindres peuvent être directement alimentés avec de l'eau potable pour fournir de l'eau purifiée sur demande

et sans rejet. La capacité d'échange dépendra principalement de la qualité de votre eau d'alimentation et du volume de résine mis en oeuvre. Cette approche est souvent utilisée pour les purificateurs d'eau de laboratoire de grande pureté.

RAPPEL ÉCHANGE D'IONS**Avantages :**

- Supprime les ions inorganiques dissous, ce qui produit une résistivité de 15 à 18,2 Mohm.cm en fonction du type de résine utilisé ; contamination ionique totale <1 ppb
- Régénéré par déionisation au moyen d'acides et de bases ou de l'électrodéionisation
- Relativement peu coûteux
- 0 rejet sur site (sauf en cas d'électrodéionisation)

Limitations :

- N'élimine pas efficacement les bactéries, les composés organiques, les particules et les pyrogènes. Nécessité d'une filtration complémentaire en fonction de l'application, voire un traitement UV si besoin
- Capacité d'échange dépendant de la qualité de l'eau d'alimentation et du volume de résine mis en oeuvre
- Les résines à usage unique requièrent une eau prétraitée de bonne qualité pour être utilisées de manière efficace et rentable

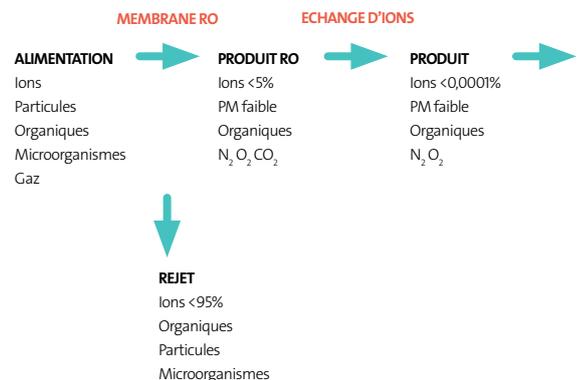
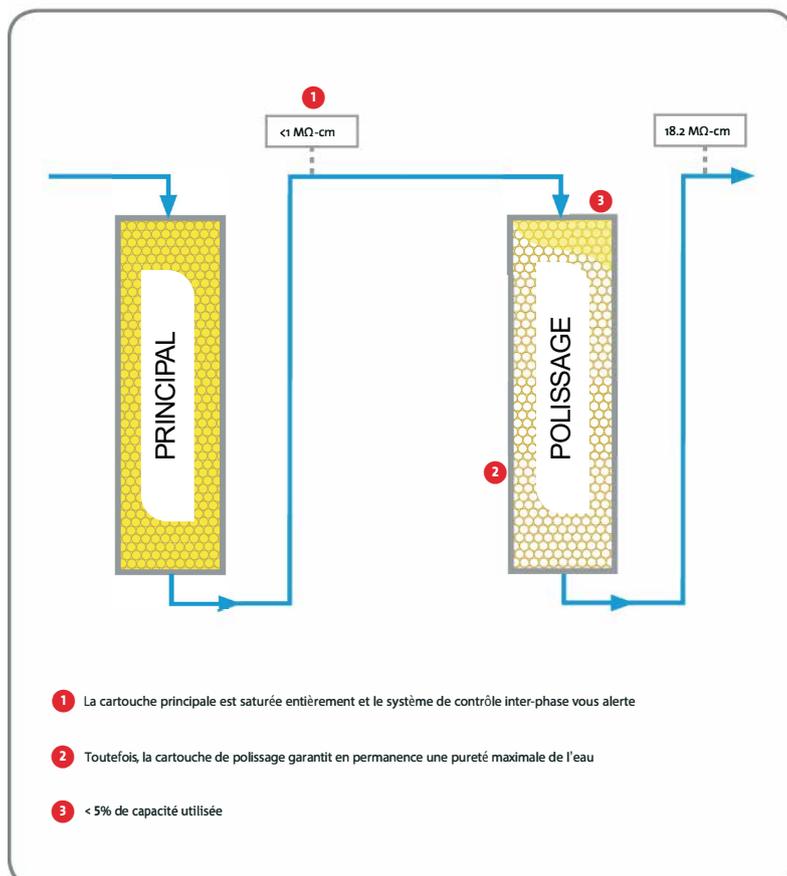
Afin de limiter le développement bactérien et obtenir une bonne résistivité en sortie de process, il convient d'utiliser des résines de bonne qualité avec une fréquence régulière de changement. Des filtres sont généralement installés après les lits des résines pour piéger les fines et autres matières particulaires. La prolifération bactérienne peut être réduite par la recirculation fréquente de l'eau et par la mise en place d'un rayonnement UV 254 nm ou d'une post filtration 0,2µ absolu. Au fur et à mesure de leur épuisement, les lits d'échange d'ions libèrent des contaminants qui se sont accumulés à partir de l'eau. Les contaminants liés fortement peuvent déplacer des contaminants faiblement liés, et les premiers relargages de contaminants seront probablement des substances faiblement ionisées qui auront pu d'effet sur la résistivité de l'eau du produit.

Le contrôle de la résistivité ne détectera vraisemblablement pas la libération initiale de ces espèces faiblement ionisées, notamment les composés organiques chargés, les silicates et les

borates. Cette situation est illustrée dans le graphique ci-dessus, qui montre la libération de silice et de composés organiques tels que le COT, avant que la résistivité ne chute de façon remarquable, tandis qu'un lit d'échange d'ions commence à s'épuiser.

La libération non détectée de contaminants ioniques faiblement liés peut être évitée par un contrôle multi-étape (par exemple avec la technologie PureSure d'ELGA ou avec un procédé double cycle d'Aquadem), utilisant deux lits de résine d'échange d'ions identiques en série séparés par une sonde de résistivité. Lorsque le premier lit (principal) commence à s'épuiser, les espèces relâchées faiblement ionisées sont fixées par le second lit (polissage) et ne sont ainsi pas présentes dans l'eau traitée finale. La résistivité est mesurée après la première étape pour détecter l'épuisement du lit. Le second lit est alors décalé en première position et un nouveau lit est installé en seconde position.

Cette stratégie permet une utilisation efficace de la résine, car le premier lit n'a pas à être échangé avant que la résistivité intermédiaire ne chute en-dessous de 1 MΩ-cm à 25 °C, ce qui est facilement déterminé, et le second lit dispose encore de quasiment toute sa capacité initiale lorsqu'il est déplacé en première position. D'autres approches moins efficaces incluent le remplacement des lits avant qu'ils ne s'épuisent ou l'utilisation de résines spécialisées liant plus étroitement les espèces faiblement ionisées. Avec un choix de résine, un prétraitement et une conception de système adaptés, l'échange d'ions permet d'atteindre les niveaux de contamination ionique les plus faibles.



Électrodéionisation (EDI)

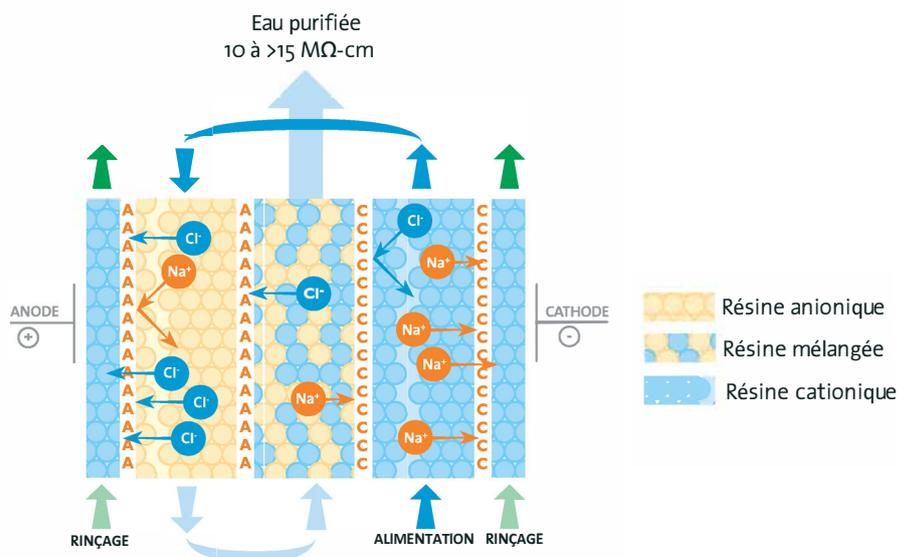
L'électrodéionisation (EDI) est une technologie qui associe des résines d'échange d'ions et des membranes sélectives à un courant continu, afin d'éliminer de l'eau les espèces ionisées. Son développement et son utilisation dans la purification d'eau a permis de dépasser certaines limitations des lits de résine d'échange d'ions, notamment la libération des ions au fur et à mesure de l'épuisement des lits et la nécessité de remplacer ou régénérer les résines. L'eau traverse un ou plusieurs compartiments remplis de résines d'échange d'ions maintenues entre des membranes sélectives des cations ou des anions. Les ions qui se lient aux résines d'échange d'ions migrent vers un compartiment séparé sous l'influence d'un champ électrique appliqué de façon externe, qui produit également les H⁺ et OH⁻ nécessaires au maintien des résines à leur état régénéré. Les ions du compartiment séparé sont rejetés à l'égout.

Les lits d'échange d'ions dans les systèmes EDI sont régénérés de façon continue, et par conséquent, ils ne s'épuisent pas de la même manière que les lits d'échange d'ions fonctionnant en mode discontinu. De plus, les lits EDI sont généralement plus petits et restent opérationnels plus longtemps. Les résines

utilisées dans les systèmes EDI peuvent se trouver dans des compartiments séparés de billes d'anions ou de cations (des couches de chaque type étant placées dans un seul compartiment), ou être utilisées sous la forme d'un mélange de billes de cations et d'anions. Le processus EDI de la gamme laboratoire ELGA utilise des lits de résines de cations et d'anions séparés ainsi qu'un lit de résine mixte. Les lits séparés de résines de cations et d'anions sont logés dans de vastes cellules offrant une voie de passage pour les ions en transit, ce qui

apporte des avantages en termes de flexibilité de conception et de simplicité mécanique à l'échelle du laboratoire. La résine des cellules sert de tampon contre les changements de la qualité de l'eau d'alimentation.

La qualité de l'eau traitée est ensuite améliorée par le passage via un lit de résine mixte. L'osmose inverse est généralement utilisée avant l'EDI pour garantir que le « module » EDI n'est pas surchargé par des niveaux élevés de sels, de composés organiques ou de particules. Le faible volume de résines dans le module libère une faible quantité de molécules organiques. Généralement, l'osmose inverse supprime près de 95 % des ions. L'électrodéionisation supprime environ 95 % des ions restants ainsi que le dioxyde de carbone et la silice. L'eau traitée EDI a généralement une résistivité de 5 à 17 MΩ-cm (à 25 °C) et une teneur en COT inférieure à 20 ppb. Les niveaux bactériens sont réduits parce que les conditions chimiques et électriques du système inhibent la croissance des microorganismes. L'EDI ne fournira généralement pas une eau ultra pure d'une résistivité de 18,2 MΩ-cm. Cependant, ce résultat peut être obtenu de façon efficace en intégrant un faible volume de résine d'échange d'ions en aval du module. Cette résine a très peu d'ions à éliminer et aura une très longue durée de vie.



RAPPEL ÉCHANGE D'IONS PAR EDI

Avantages :

- Élimine les ions inorganiques dissous, ce qui produit une résistivité de 5 à 17 MΩ-cm (à 25 °C) et une teneur en COT inférieure à 20 ppb
- Respectueux de l'environnement :
 - Aucun produit chimique n'est nécessaire pour régénérer la résine
 - Pas de mise au rebut de produits chimiques ou de résines
 - Les résines dans les cellules libèrent peu de matières organiques et servent de tampon contre les changements de la qualité de l'eau d'alimentation

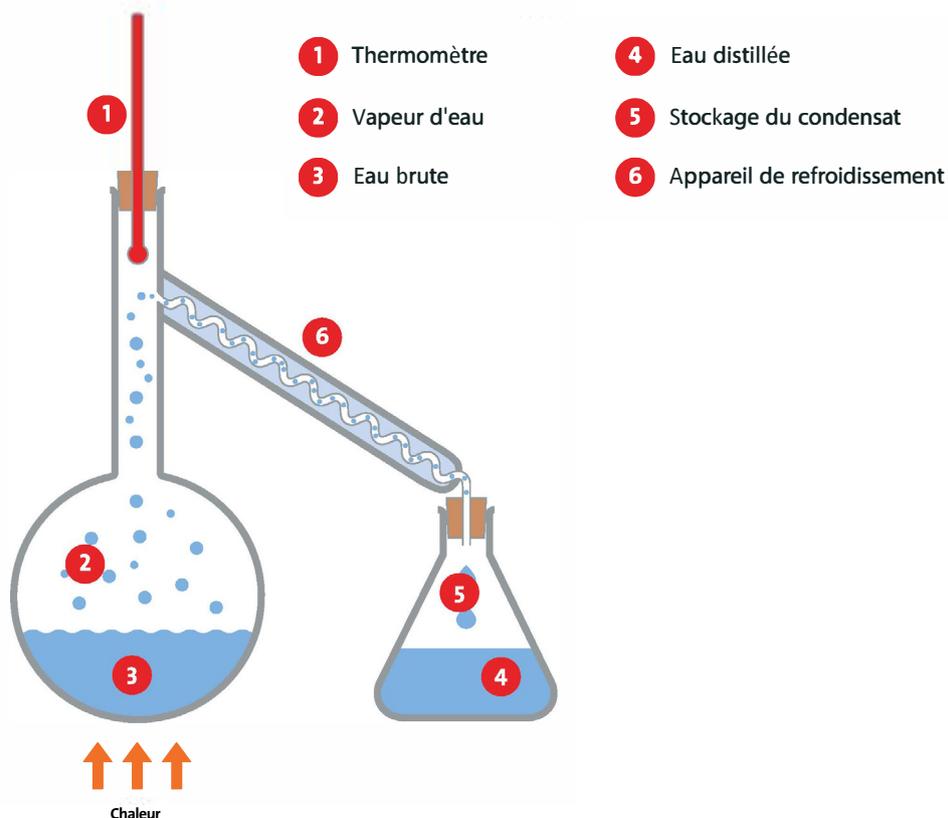
Limitations :

- N'élimine qu'un nombre limité de substances organiques chargées et ne peut donc pas produire une eau ultra pure avec une résistivité de 18,2 MΩ-cm
- L'eau d'alimentation doit être de bonne qualité afin de ne pas surcharger le module EDI avec des matières organiques, des sels multivalents ou des particules. Elle est généralement traitée par osmose inverse
- Limitations : rejets (au niveau de l'osmose et du module EDI)

Distillation

La distillation est une méthode de purification de l'eau utilisée depuis longtemps pour séparer l'eau des contaminants en la faisant passer de la phase liquide à la phase gazeuse, puis à nouveau à la phase liquide. Chacune de ces transitions donne la possibilité de séparer l'eau des contaminants. L'eau est d'abord chauffée au point d'ébullition et la vapeur d'eau monte dans un condensateur où de l'eau de refroidissement baisse la température afin que la vapeur d'eau soit condensée, collectée et stockée. En principe, la distillation peut supprimer toutes les catégories de contaminants de l'eau, à l'exception de ceux dont les pressions de vapeur sont proches de celle de l'eau et des azéotropes. Le procédé de distillation est plus efficace avec de l'eau pré-traitée pour réduire l'accumulation de précipités et le transfert des impuretés. L'eau traitée par cette méthode est appelée « eau distillée ».

Il est peu probable que les alambics de laboratoire produisent une purification adéquate à partir d'eau d'alimentation non traitée, particulièrement lorsqu'il se produit une précipitation. Par conséquent, les alambics de laboratoire sont le plus souvent alimentés en eau pré-purifiée par osmose inverse ou échange d'ions. Les alambics de laboratoire fonctionnent en continu : au fur et à mesure que l'eau en ébullition est distillée, elle est remplacée par



une nouvelle eau d'alimentation. Une conception soignée est essentielle pour réduire le risque de transfert de contaminants moins volatiles, par exemple par aspersion ou par projection en surface ou de vapeur. Les contaminants ayant des pressions de vapeur supérieures à l'eau sont éliminés

lors de la phase de condensation dans le distillateur. Des condenseurs composés (à étages multiples) qui équilibrent la vapeur et l'eau en ébullition dans des compartiments multiples et spécialisés sont nécessaires pour supprimer ces contaminants de manière efficace. La contamination à partir de l'air ambiant (par exemple la poussière, les composants volatiles, etc.) doit également être réduite.

De même que l'osmose inverse, la distillation génère l'eau purifiée lentement et le distillat doit être stocké en vue d'une utilisation ultérieure. Les alambics consomment beaucoup d'énergie : généralement 1 kW d'électricité par litre d'eau produite. Selon la conception de l'alambic, l'eau distillée peut avoir une résistivité de près de 1 MΩ-cm lorsque le CO₂ de l'air se dissout dans l'eau distillée. Le distillat est stérile dès qu'il est produit. Pour maintenir sa stérilité, il est collecté dans des bouteilles de stockage stériles puis passé à l'autoclave. Cependant, après ouverture de la bouteille, il est exposé aux bactéries et aux impuretés de l'air et sa pureté diminue rapidement.

RAPPEL DISTILLATION

Avantages :

- Élimine une large gamme de contaminants
- Longue durée de vie

Limitations :

- L'eau est purifiée lentement
- Certains contaminants sont transmis à des quantités variables dans le condensat
- Doit être alimenté avec de l'eau purifiée au préalable

- L'eau distillée peut être sujette à la recontamination durant un stockage prolongé, ce qui nécessite par conséquent un entretien méticuleux
- Peu économique et peu écologique : nécessite de grandes quantités d'électricité pour le chauffage et de grands volumes d'eau du robinet pour le refroidissement

Charbon actif - dans l'eau purifiée

La seconde application importante du charbon actif consiste à éliminer les composants organiques de l'eau purifiée, souvent dans le circuit de purification avant le lit final d'échange d'ions. Le charbon actif capte les contaminants de l'eau au moyen des forces ioniques, des forces polaires et des forces de van der Waals, ainsi que de l'attraction de surface active. Les lits de charbon actif ont tendance à libérer des particules fines et des composants solubles dans le flux d'eau et n'éliminent pas tous les contaminants organiques dissous, mais leur utilisation peut produire une réduction importante du COT. Une forme plus pure de charbon actif fabriquée à partir de billes de polymère est parfois utilisée pour cette application.

Filtres microporeux

Les filtres à tamis microporeux jouent le rôle de barrière physique bloquant le passage des particules et des microorganismes dans les systèmes d'eau purifiée. Les filtres à tamis, caractérisés par des valeurs nominales de taille de particules absolues, ont des structures moléculaires uniformes, qui, comme un tamis, retiennent toutes les particules dont la taille de pore est supérieure à celle contrôlée sur leur surface. Des filtres à tamis (0,05 à 0,22 μm) sont généralement utilisés le plus près possible du point d'utilisation pour retenir les microorganismes et les particules fines. Les particules piégées, y compris les microorganismes ou leurs produits métaboliques, et la matière soluble, peuvent être rincées au niveau des filtres. Un entretien adapté

(nettoyage régulier et remplacement périodique) est nécessaire pour conserver les niveaux de performance souhaités. Les filtres nouvellement installés nécessitent généralement un rinçage avant utilisation pour éliminer les contaminants extractibles. Un filtre à membrane microporeux est généralement considéré comme indispensable dans un système de purification d'eau, à moins d'être remplacé par un ultrafiltre.

RAPPEL CHARBON ACTIF

Avantages :

- Produit une réduction significative du COT
- Une longue durée de vie attribuée à une capacité de liaison élevée

Limitations :

- N'élimine pas tous les contaminants organiques dissous
- Rejette parfois des particules fines et des composants solubles dans le circuit d'eau

RAPPEL FILTRES MICROPOREUX

Avantages :

- Les filtres à tamis fonctionnent comme des filtres absolus qui retiennent et éliminent tous les microorganismes et toutes les particules dont la taille dépasse celle de leurs pores
- Sont efficaces à moins d'être endommagés
- Entretien facile : il suffit de les remplacer

Limitations :

- Sont colmatés lorsque la surface est couverte de contaminants, et doivent par conséquent être utilisés dans la dernière étape de purification en tant que garantie
- N'éliminent pas les matières inorganiques, organiques ou pyrogènes dissoutes

Ultrafiltres (UF)

Les UF sont des filtres à membrane qui éliminent des particules aussi petites que les macromolécules de protéine. Les pores mesurent généralement 1 à 10 nm et des membranes sous forme de fibres creuses sont souvent utilisées pour bénéficier de débits élevés. Les ultrafiltres se caractérisent par leur efficacité en termes de réduction de la concentration des contaminants concernés à des niveaux acceptables. Ils sont généralement installés près de la sortie d'un système de purification d'eau afin de réduire la concentration des microorganismes et des grosses molécules organiques, telles que les nucléases et les endotoxines. Les UF doivent être désinfectés et/ou remplacés régulièrement pour rester efficaces. Les UF peuvent être installés de façon traditionnelle, avec le flux d'eau directement envoyé dans la membrane, ou « en travers » (flux tangentiel), avec une partie de l'eau d'entrée qui traverse la surface de la membrane pour réduire le colmatage en rinçant les contaminants. L'UF est une excellente technologie pour garantir la stabilité de la qualité de l'eau ultra pure en ce qui concerne les particules, les bactéries et les pyrogènes.

Performances d'un ultrafiltre (UF)

Echantillon	Cone. d'endotoxines (UE/ml)	Cone. de bacteries (UFC/ml)
Challenge	1000	2 X 10 ⁷
Post UF-1	<0,001	<0,01
Post UF-2	<0,001	<0,01
Post UF-3	<0,001	<0,01
Post UF-4	<0,001	<0,01
Post UF-5	<0,001	<0,01
Réduction logarithmique	>6	>9

Filtres événements

Des filtres hydrophobiques microporeux sont souvent installés sur les réservoirs de stockage d'eau en tant que filtres événements afin d'éviter que les particules, notamment les bactéries, n'entrent dans l'eau pure stockée. En combinant un milieu absorbant et un milieu de filtration, les filtres à air composites peuvent également réduire le CO₂ et la contamination organique de l'eau stockée. Un remplacement régulier est essentiel pour maintenir leur efficacité.

Membranes de dégazage

Un contacteur utilise un filtre à membrane hydrophobe pour éliminer les gaz (CO₂, O₂ par exemple) de l'eau. Le flux d'eau passe d'un côté de la membrane tandis que les gaz sont supprimés de l'autre côté de la membrane par un gaz de rinçage ou par le vide. Le taux d'élimination d'une espèce dépend de la perméabilité de la membrane, de la zone de contact, de la durée du contact et des différences de pression partielle à travers la membrane.

RAPPEL ULTRAFILTRES

Avantages :

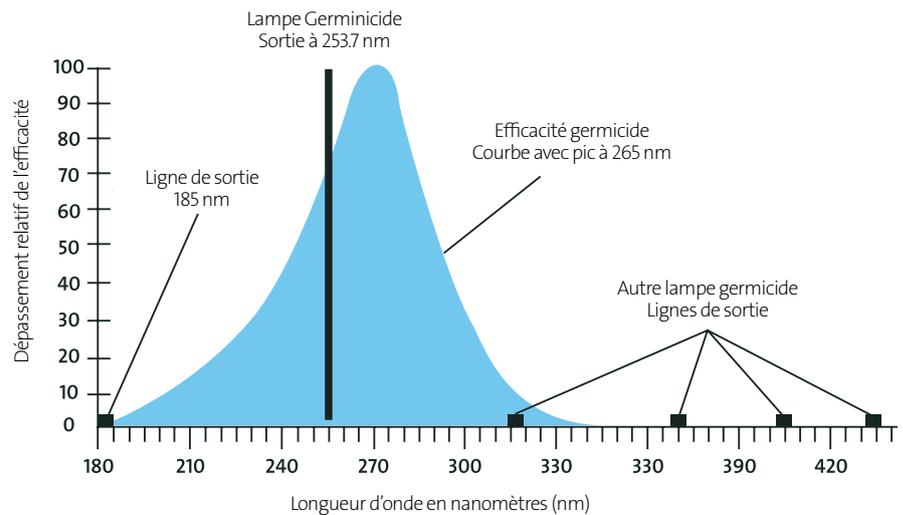
- Élimine efficacement la plupart des colloïdes, enzymes, particules de micro-organismes et endotoxines au-dessus de leur taille nominale, en les maintenant au-delà de sa surface
- Fonctionnement efficace, à moins qu'il ne soit endommagé
- Sa durée de vie peut être prolongée avec un nettoyage régulier

Limitations :

- N'élimine pas les matières inorganiques ou organiques dissoutes
- Peut se colmater en présence d'un haut niveau de contaminants au poids moléculaire élevé

Ultraviolets (UV)

Les ultraviolets sont largement utilisés en tant que bactéricide, pour dégrader et photo-oxyder les contaminants organiques en espèces polarisées ou ionisées qui peuvent être ensuite supprimées par échange d'ions. Les sources d'UV dans les systèmes de purification d'eau de laboratoire sont des lampes à mercure basse pression qui produisent un rayonnement d'une longueur d'onde de 254 nm. Ce processus a l'action bactéricide la plus importante car à faible dose, il endommage l'ADN et l'ARN polymérase, ce qui a pour effet de limiter la réplication. Les doses élevées sont biocides, ce qui garantit la stérilisation et la désinfection de l'eau. Les chambres et les lampes UV doivent être conçues pour fournir une dose suffisante d'UV, afin d'éviter la production de microorganismes vivants mais inactivés. Le rayonnement à des longueurs d'onde plus courtes (185 nm) est plus efficace pour l'oxydation des composés organiques car il brise les grandes molécules organiques en composants ionisés plus petits, qui peuvent ensuite être supprimés par un lit de résine d'échange d'ions de haute pureté en aval. L'élimination préalable des ions organiques, par un échange d'ions initial, optimise l'efficacité de ce traitement. Le rayonnement UV à 185 nm est un oxydant extrêmement efficace et un processus clé pour produire de l'eau ultra pure avec des niveaux très faibles de contaminants organiques. Enfin, le rayonnement UV est souvent accompagné d'un polissage sur pack résine jetable ou régénérable permettant de fixer les résidus d'oxydation.



Technologies de contrôle des microorganismes

	Filtre microporeux	Ultrafiltre	Osmose inverse	Echange d'ions	Charbon actif	Ultraviolets
Microorganismes	333	333	33	3*	3*	333
Endotoxines	3	333	33	33*	3*	3

Légende

333 Elimination parfaite
33 Elimination correcte
3 Elimination partielle

* Haute efficacité initiale

RAPPEL RAYONNEMENT UV

Avantages :

- Oxydation des composés organiques (185 nm et 254 nm) pour atteindre des niveaux de COT < 5 ppb
- Traitement bactéricide efficace

Limitations :

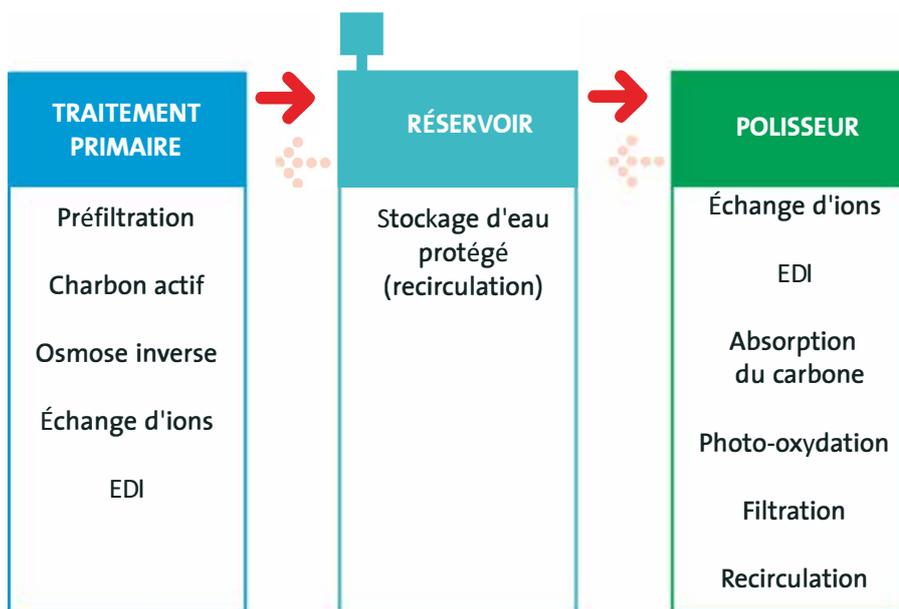
- La photo-oxydation des composés organiques est une étape du polissage qui ne peut réduire les niveaux de COT que de façon limitée
- Pas d'effet sur les ions, particules ou colloïdes
- La résistivité de l'eau est diminuée en raison du CO₂ libéré par la photo-oxydation, car du H₂CO₃ (H⁺, HCO₃⁻) est produit

Conception du système

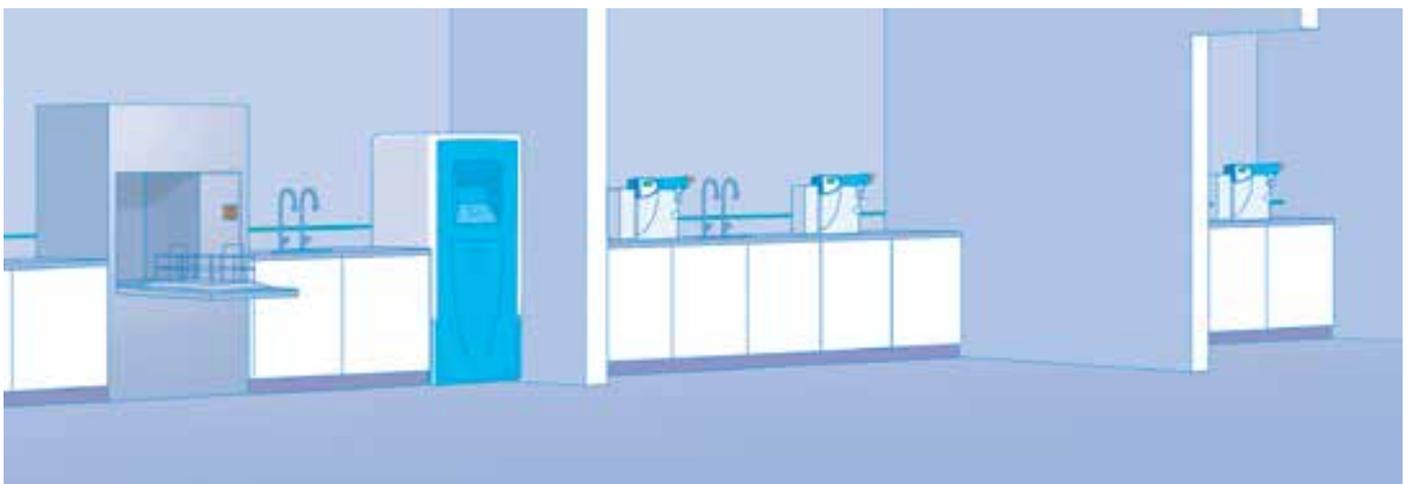
Les différentes technologies de purification de l'eau ont été décrites dans cette section. Chacune a ses avantages et ses limites. Certaines ont pour vocation de simplement réduire le niveau de plusieurs types d'impuretés, tandis que d'autres éliminent de manière quasi-totale un contaminant particulier. C'est pourquoi, afin d'éliminer tous les contaminants pour atteindre le niveau de purification voulu pour une application particulière, il est nécessaire de combiner plusieurs technologies.

Chaque système nécessitera des traitements préalables selon l'eau d'alimentation utilisée, pour éliminer les particules, le chlore et la chloramine et, si possible, le calcium et le magnésium. Cette procédure sera suivie, de préférence, d'une osmose inverse pour éliminer pratiquement tous les colloïdes, les particules et les composés organiques de poids moléculaire élevé et plus de 90 % des ions. L'eau de qualité primaire obtenue, qui est traitée de façon relativement lente et stockée dans un réservoir, contiendra un certain niveau de

composés organiques, d'ions, de bactéries et débris de cellulaires, de dioxyde de carbone dissous et d'oxygène. Ces étapes peuvent être réalisées dans des unités séparées, dans un système local ou un ensemble plus vaste avec un circuit fournissant de l'eau à un seul laboratoire ou dans tout le bâtiment.

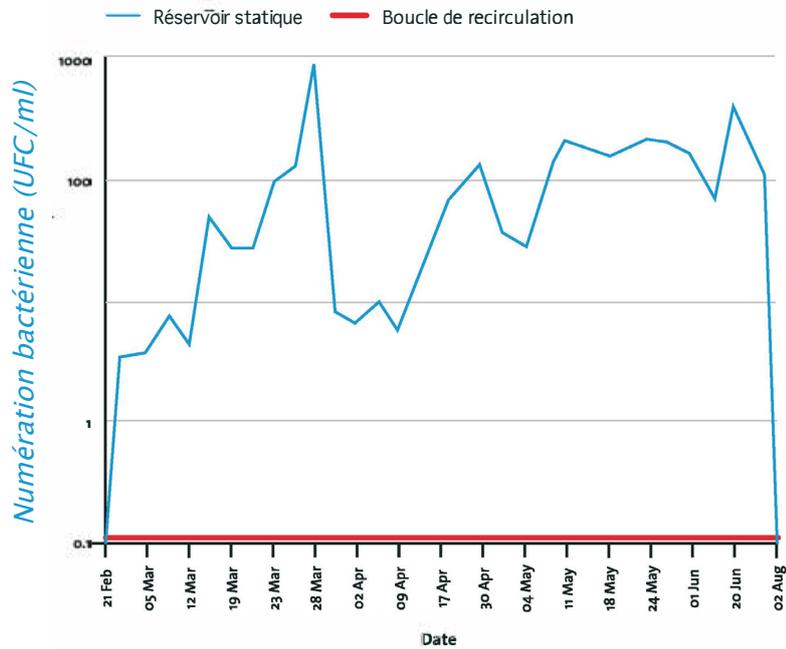


**SUR UNE
INSTALLATION
AQUADEM,
O STOCKAGE**



L'eau est ensuite traitée au moyen d'une à plusieurs techniques selon la pureté requise : échange d'ions et/ou EDI pour éliminer les ions, charbon actif et autres solutions absorbantes pour éliminer des composés organiques, ultraviolets pour tuer les bactéries et/ou pour oxyder les composés organiques résiduels, microfiltration pour supprimer les particules et les bactéries, et ultrafiltration pour éliminer les endotoxines, les protéases et les nucléases. Toutes ces étapes ou certaines d'entre elles peuvent être combinées dans la même unité que l'osmose inverse, ou séparément dans un « polisseur ».

Effacité de la recirculation et repurification de l'eau sur la contamination bactérienne



EXEMPLE APPAREIL COMPACT

- 1 Système de gestion contrôlé par microprocesseur et afficheur de pureté de l'eau
- 2 Filtre à charbon actif
- 3 Module de photo-oxydation par rayons UV
- 4 Recirculation de l'eau via le réservoir de la cuve afin de la stocker et d'en maintenir sa qualité



- 5 Cartouche de purification - échanges d'ions plus média absorbant
- 6 Sortie d'eau ultra pure : 18,2 MΩ.cm (0,055 μS/cm)
- 7 Membrane osmose inverse

Stockage et distribution

Le stockage et la distribution sont des sources potentielles de contamination, notamment par les bactéries. Une conception adéquate et des procédures d'entretien appropriées sont nécessaires pour limiter ces problèmes. Les matériaux choisis pour la construction sont également importants et l'acier

inoxydable doit être utilisé de préférence à tout autre métal. Il existe de nombreux plastiques de haute pureté, mais il faut veiller à éviter ceux qui contiennent des enduits et additifs qui pourraient se lixivier et ainsi contaminer l'eau. Les réservoirs doivent être protégés contre l'entrée des contaminants au moyen de

filtres événements composites adaptés. L'eau purifiée est souvent remise en circulation de façon continue ou intermittente, par le biais de certaines technologies de purification, pour conserver sa pureté.



	Eau d'alimentation	Post filtre charbon	Post RO	Post UV	Post échange d'ions
Conductivité (µS/cm)	50 à 900	50 à 900	1 à 30	1 à 30	0,055
Calcium (mg/l)	20 à 150	20 à 150	0,4 à 5	0,4 à 5	<0,0001
Sodium (mg/l)	20 à 150	20 à 150	1 à 10	1 à 10	<0,0001
Fer (mg/l)	0,01 à 0,1	0,01 à 0,1	<0,01	<0,01	<0,0001
Bicarbonate (mg/l)	30 à 300	30 à 300	1 à 10	1 à 10	<0,0001
Chlorure (mg/l)	10 à 150	10 à 150	0,5 à 5	0,5 à 5	<0,0001
Sulfate (mg/l)	1 à 100	1 à 100	0,1 à 5	0,1 à 5	<0,0001
COT (mg/l)	0,2 à 5	0,1 à 2	0,05 à 0,2	<0,05	<0,01
Chlore total (mg/l)	0,1 à 1	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
Bactéries (UFC/ml)	10 à 100	10 à 100	1 à 10	<1	<1
Endotoxine (UE/ml)	1 à 100	1 à 100	<1	<1	<0,1
Turbidité	0,1 à 2	0,1 à 1	<0,01	<0,01	<0,01

CONTRÔLE - CONSERVER LA PURETÉ DE L'EAU PURIFIÉE

Il est difficile de contrôler toutes les impuretés potentielles dans l'eau purifiée. Les sels inorganiques et les composés organiques dissous sont les principaux contaminants qui affectent la plupart des applications de laboratoire et il est donc important qu'ils soient contrôlés en ligne dans les systèmes d'eau de laboratoire. Les principales techniques de contrôle rapides en ligne sont la résistivité et le COT.

Conductivité	Résistivité
0,01 μS	100 $\text{M}\Omega$
0,055 μS	18,0 $\text{M}\Omega$
0,1 μS	10 $\text{M}\Omega$

La conductivité, k , représente les contributions totales des ions individuels dans l'eau et fournit par conséquent une indication non spécifique utile de la quantité d'ions dans l'eau purifié. Cela inclut tous les ions d'impuretés et les ions hydrogène et hydroxyle provenant de la dissociation naturelle très légère de l'eau. Ces ions hydrogène et hydroxyle font que l'eau totalement pure a une conductivité de 0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 $^{\circ}\text{C}$ (résistivité de 18,2 $\text{M}\Omega\text{-cm}$).

Contrôle des impuretés	
Impuretés	Approche de contrôle
Ions	OI, DI, EDI, contrôle de résistivité en ligne
Organiques	OI, charbon, photo-oxydation par UV, mesure en ligne du TOC
Particules	Filtre absolu. Test en ligne occasionnel si nécessaire
Bactéries	Microfiltre, UV et nettoyage. Test hors-ligne
Endotoxines	Ultrafiltre, photo-oxydation par UV. Test hors-ligne
Particules bio-actives	Ultrafiltre, photo-oxydation par UV. Test hors-ligne
Gaz	Dégazage au point d'utilisation. Test en ligne occasionnel si nécessaire

Pour un sel fortement ionisé, la valeur k est approximativement proportionnelle à la concentration du sel dans la solution et aux mobilités de ses ions, exprimées en $u+$ (cation) et $u-$ (anion). Les valeurs de $u+$ et $u-$ dépendent également fortement de la viscosité de la solution, et par conséquent, de la température de l'eau, t . Pour la plupart des ions, le coefficient de température relatif de u est d'environ +2 %/ $^{\circ}\text{C}$. De plus, la valeur de la constante d'équilibre pour la dissociation de l'eau, K_w , dépend également de la température, et la conductivité de l'eau pure peut ainsi augmenter de 6 %/ $^{\circ}\text{C}$.

La méthode habituelle consiste à corriger automatiquement toutes les valeurs de conductivité et de résistivité à 25 $^{\circ}\text{C}$. La résistivité et la conductivité se mesurent facilement et rapidement à l'aide d'une cellule (capteur) de conductivité en ligne avec un câble et un compteur (ou un écran d'affichage) avec des équipements électroniques associés, et sont généralement indiquées avec une compensation de la

température. Le compteur mesure la résistance, R , entre les électrodes de détection de la cellule de conductivité.

Valeurs de conductivité courantes	
	$\mu\text{S}/\text{cm}$
1mg/l NaCl	2,2
10mg/l NaCl	22,0
100mg/l NaCl	220,0
1mg/l HCl	8,0
10mg/l CO_2	4,0

Les valeurs de conductivité inférieures à 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ doivent être mesurées en ligne car l'eau de haute pureté absorbe rapidement les contaminants de l'environnement, notamment le dioxyde de carbone, ce

qui augmente la conductivité. Bien que la résistivité offre une excellente indication de la qualité ionique de l'eau de haute pureté, elle ne peut pas indiquer la présence ou la concentration des espèces chimiques non ionisées (comme la silice par exemple), et n'est pas non plus sensible aux concentrations d'ions de niveau sub-ppb en raison de l'équilibre avec les ions hydrogène et hydroxyle de l'eau. Lorsque ces niveaux sont importants, il convient de mesurer les contaminants individuels à l'aide de techniques analytiques telles que la spectrométrie de masse à plasma couplé par induction, la chromatographie ionique et la spectrométrie d'absorption atomique en four graphite.

Variation de la résistivité en fonction de la température		
Température ($^{\circ}\text{C}$)	Résistivité de l'eau pure ($\text{M}\Omega\text{-cm}$)	Résistivité de 21. 1 $\mu\text{g}/\text{l}$ NaCl dans l'eau ($\text{M}\Omega\text{-cm}$)
0	86.19	28.21
5	60.48	22.66
10	43.43	18.30
15	31.87	14.87
20	23.85	12.15
25	18.18	10.00
30	14.09	8.28
35	11.09	6.90
40	8.85	5.79
45	7.15	4.89
50	5.85	4.15

Conseils

Selon les applications, le stockage de l'eau sans recirculation est à limiter afin d'éviter la dégradation de sa qualité et l'apparition de bactéries.

Le carbone organique total (COT) pour détecter les composés organiques

La variété et la complexité potentielles des composés organiques dans l'eau purifiée rend difficile leur mesure régulière, c'est pourquoi un indicateur de contamination organique globale est utilisé. La méthode la plus pratique est la mesure du COT, qui consiste à oxyder les substances organiques dans des échantillons d'eau, puis mesure les produits d'oxydation qui en résultent. Il existe une large gamme d'analyseurs de COT, qui peut être subdivisée en deux catégories : les analyseurs qui oxydent tout le carbone en dioxyde de carbone et mesurent sélectivement le CO₂, et ceux qui oxydent partiellement les composés organiques, par exemple en acides, ou oxydent entièrement toutes les espèces présentes et mesurent le changement de conductivité dû à toutes les espèces oxydées. La première catégorie est généralement utilisée hors ligne pour être conforme aux spécifications COT, tandis que la deuxième est utilisée pour le contrôle en ligne et inclut, par exemple, les contributions des acides nitriques et sulfuriques provenant de l'oxydation des atomes N et S. Le COT est utilisé principalement pour le contrôle et le suivi des tendances. Pour la plupart des eaux, le COT ne peut pas être lié directement à la concentration des molécules organiques car la quantité de carbone est différente selon le type de molécule.

Valeurs générales du TOC (ppb)	
Eaux principales	500 - 5000*
Perméat OI	25 - 100
Eau SDI	50 - 500**
OI+ DI	10 - 50
Polissage	3 - 5
Polissage avec 185nm UV	<2

*(Généralement 1000-3000)

** Elle peut être plusieurs fois supérieure lorsque le cylindre s'épuise, en raison de l'éluion des espèces organiques faiblement liées, comme les matières organiques.

Conseils

Pour prolonger la durée de vie d'une membrane d'osmose inverse, vérifiez qu'elle est dimensionnée correctement, rincée et nettoyée régulièrement. L'aspersion élimine les particules ou les solides précipités de la surface de la membrane.

Conseils

Pour garantir le bon fonctionnement des capteurs de résistivité, un employé qualifié doit nettoyer les électrodes de la cellule de ligne et les recalibrer régulièrement.

Conseils

Un nettoyage régulier est essentiel pour éviter la formation d'un biofilm. Des tablettes de chlore, l'acide péracétique ou le peroxyde d'hydrogène peuvent convenir pour le nettoyage.

Conseils

Faites toujours circuler au moins 5 litres d'eau purifiée pour effectuer une purge après une période d'inactivité, après le week-end par exemple, particulièrement lorsque l'eau est utilisée pour des applications critiques.

CONDUCTIVITÉ/ RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE POUR LA DÉTECTION DES IONS

La conductivité et la résistivité électriques mesurent la capacité d'un fluide à conduire le courant électrique. La conductivité est l'inverse de la résistivité : $\text{conductivité} = 1/\text{résistivité}$. Le contenu ionique de l'eau purifiée est fourni par la mesure de la conductivité électrolytique, k , et de son inverse, la résistivité, r .

$$k = F \cdot \sum c_i z_i u_i$$

$$r = 1/k$$

Conductivité faible = haute résistivité

En pratique, les mesures de conductivité sont généralement utilisées dans des applications qui vont de l'eau brute à l'eau potable et au niveau primaire tandis que les mesures de résistivité sont utilisées pour l'eau ultra pure déionisée ou obtenue par osmose inverse.

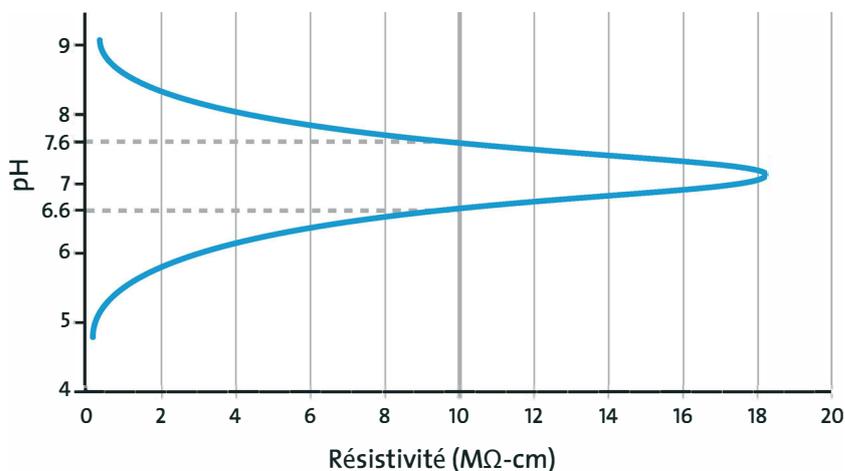
L'unité de conductivité est le Siemens (S/cm) et l'unité de résistivité est l'Ohm (Ω-cm).

Un méga-ohm (MΩ-cm) = 1 000 000 Ohms.

Puisque la conductivité et la résistivité font référence à une surface dans laquelle le courant est mesuré, c'est-à-dire la longueur/surface, il est fréquent de rencontrer des unités exprimées en MΩ-cm ou μS/cm.

pH

La mesure du pH n'est pas recommandée pour l'eau pure. L'eau de haute pureté absorbe rapidement des contaminants affectant son pH et présente également une conductance faible, produisant une instabilité dans la plupart des pH-mètres. Heureusement, puisque la concentration des ions hydrogène dans l'eau affecte à la fois le pH et la résistivité. Le pH doit se trouver dans certaines limites pour une valeur de résistivité donnée. Par exemple, si la résistivité est de 10 MΩ-cm, le pH doit se situer entre 6,6 et 7,6 (pour plus de précision, utilisation de sonde pH avec apport de KCl).



Surveillance des espèces biologiquement actives

Pour surveiller les espèces biologiquement actives, des échantillons d'eau purifiée sont filtrés à travers un filtre à membrane stérile de 0,22 µm. Les bactéries présentes dans l'échantillon sont retenues sur le filtre, qui est alors placé à la surface d'un milieu à faible teneur en éléments nutritifs puis mis à l'étuve. Les nutriments se diffusent à partir du milieu à travers le filtre et permettent la prolifération de colonies, qui sont généralement comptées au bout de 3 à 5 jours.

Cette technique de « comptage sur plaques » nécessitant par nature un long délai avant que les résultats puissent être obtenus, il est essentiel de procéder à des comptages bactériens réguliers pour contrôler l'acceptabilité bactérienne à long terme. Pour ce faire, un échantillon coloré et filtré est analysé par microscopie à épifluorescence. Cette technique permet de détecter et de distinguer rapidement les microorganismes vivants et morts. Elle est particulièrement utile lorsqu'une action corrective rapide est indiquée. Les numérations en épifluorescence peuvent

être radicalement différentes de celles obtenues par comptage sur plaques car les microorganismes qui se développent dans les systèmes de purification d'eau de laboratoire ne se développent pas toujours rapidement ou correctement sur des plaques. Les endotoxines sont des lipopolysaccharides présents dans les parois des cellules des bactéries à Gram négatif. Elles produisent des effets indésirables dans de nombreuses procédures de biologie moléculaire et provoquent une réaction toxique si elles sont injectées à l'homme. Des tests standard basés sur l'activité du lysat d'amœbocyte de limule permettent de mesurer les niveaux d'endotoxine. De même, d'autres espèces biologiquement actives telles que les RNases, les DNases et les protéases peuvent sérieusement affecter de nombreuses techniques de biologie moléculaire. L'utilisation d'une eau exempte de nucléases est donc recommandée. Différents tests spécifiques, souvent sous forme de kit, sont disponibles pour la détection de ces espèces hors ligne.

Des procédures doivent être établies pour l'entretien et/ou le remplacement des composants du système de purification d'eau, afin de garantir que l'eau produite est constamment conforme aux spécifications. Le contrôle de l'évolution des paramètres de mesure des spécifications d'eau rend possible l'anticipation de certaines tâches d'entretien. La fréquence des opérations de maintenance doit suivre au minimum, les recommandations du fabricant.

La désinfection du système de purification et de distribution d'eau est essentielle pour garantir que la contamination microbienne reste dans les limites des spécifications. La fréquence de la désinfection doit être suffisante pour maintenir les spécifications de pureté et est établie à partir de l'utilisation du système, des tendances issues des contrôles qualité réguliers et de la recommandation du fabricant du système. Les solutions de chlore, l'acide péraétique et le peroxyde d'hydrogène sont souvent utilisés en tant que désinfectants.

Conseils

La pureté microbiologique de l'eau dans un système de traitement ne peut être conservée que par la recirculation de l'eau dans les différents processus de purification. S'il y a un réservoir de stockage, ce dernier doit être scellé et équipé d'un filtre à air anti-bactérien ou filtre à purge d'air composite pour éviter l'entrée d'agents contaminants provenant de l'air.

Conseils

Pour éviter la croissance d'algues, évitez d'utiliser des réservoirs et canalisations translucides et évitez l'installation des cuves de stockage à proximité des rayons solaires directs ou de sources de chaleur. Vous pouvez également mettre en place un traitement UV.

Conseils

Utilisez des récipients ultrapropres (en verre ou plastique) pour les travaux exigeant de l'eau ultra-pure. Pour les techniques analytiques sensibles, les conteneurs de prélèvements doivent être rincés à l'eau ultra-pure avant une utilisation rapide. Les récipients de verre sont recommandés lorsque la qualité organique est importante ; ils peuvent nécessiter une préparation spéciale.

Conseils

Changez régulièrement les cartouches d'échange d'ions, en général tous les 6 mois, pour limiter la contamination bactérienne.

NORMES RELATIVES À L'EAU PURIFIÉE

Les normes définissent différentes qualités d'eau et de laboratoire pour des raisons à la fois techniques et économiques. Ces normes ont pour objectif de garantir que la qualité d'eau adéquate est utilisée pour une application spécifique, tout en réduisant les coûts d'exploitation du laboratoire. En général, plus le niveau de pureté requis est élevé, plus il est onéreux à produire.

ELGA distingue quatre grandes catégories de qualité d'eau de laboratoire purifiée :

Qualité primaire

L'eau de qualité primaire a le degré de pureté le plus bas, et a généralement une conductivité de 1-50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle peut être produite avec des résines d'échange d'anions faiblement basiques, par osmose inverse ou par distillation simple. Les anions faiblement chargés, tels que le dioxyde de carbone et la silice, sont susceptibles de ne pas être éliminés et, par conséquent, seront présents dans une eau de cette qualité. Les applications courantes pour l'eau de niveau primaire sont le rinçage de la verrerie, l'alimentation des machines de lavage et les humidificateurs.

Eau déionisée

L'eau déionisée a généralement une conductivité de 1,0 à 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (résistivité de 1,0 à 10,0 $\text{M}\Omega\text{-cm}$) et est produite par un échange d'ions à lits mélangés à l'aide de résines échangeuses d'ions. Si le dispositif ne comprend pas de traitement UV, de recirculation et de post filtration 0,2 μ , elle peut avoir un niveau relativement élevé et variable de contamination organique et bactérienne. Elle est utilisée

dans de nombreuses applications, notamment le rinçage, la mise en œuvre de normes analytiques, la préparation d'étalons et de réactifs à usage général, la dilution d'échantillons, l'alimentation des enceintes climatiques et laveurs.

Usage général de laboratoire

L'eau pour usage général de laboratoire général présente non seulement une grande pureté ionique, mais également de faibles concentrations en composés organiques et en microorganismes. Une spécification typique serait une conductivité <1,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (résistivité >1,0 $\text{M}\Omega\text{-cm}$), une teneur en carbone organique total (COT) < 50 ppb et une numération bactérienne inférieure à 1 UFC/ml. Une eau de cette qualité peut être utilisée dans une grande variété d'applications, depuis la préparation des réactifs et solutions tampon jusqu'aux supports nutritifs pour la culture de cellules bactériennes et les études microbiologiques. L'eau de qualité laboratoire peut être produite par double distillation, par des systèmes de purification d'eau intégrant l'osmose inverse et l'échange d'ions ou l'EDI (avec parfois une technique d'absorption et un traitement par UV) ou par des cylindres de déminéralisation complétés par une recirculation et un traitement UV.

Eau ultra pure

L'eau ultra pure se rapproche des niveaux théoriques de pureté en termes de résistivité, de teneur organique et de numération particulaire et bactérienne. Ce niveau de pureté est obtenu par polissage d'une eau préalablement purifiée par échange d'ions, osmose inverse ou distillation. Généralement, l'eau ultra pure est caractérisée par une résistivité de 18,2 $\text{M}\Omega\text{-cm}$, un COT inférieur à 10 ppb de carbone, une filtration des particules à 0,1 μm ou plus fine et des numérations bactériennes inférieures à 1 UFC/ml. Une eau de qualité ultra pure est nécessaire dans de nombreuses techniques analytiques sensibles telles que la chromatographie liquide haute performance (HPLC) de trace, la chromatographie ionique (IC) et la spectrométrie à plasma à couplage inductif (ICPMS). Une eau ultra pure apyrogène est requise dans des applications telles que la culture de cellules de mammifères. L'ultrafiltration permet d'éliminer tout niveau significatif d'espèces biologiquement actives, notamment les endotoxines (généralement <0,005 UE/ml), les nucléases et les protéases (non détectables).

NORMES INTERNATIONALES

Étant donné que l'eau purifiée est nécessaire dans toutes les industries et organisations scientifiques, les autorités de normalisation internationales et nationales ont établi des normes de qualité de l'eau pour diverses applications. Pour le marché des analyseurs cliniques, les normes les plus pertinentes sont celles du Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), anciennement National Committee for Clinical Laboratory Standards).

Les normes pertinentes sont les suivantes :

- *Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) – anciennement NCCLS*
- *International Organization for Standardization (ISO)*
- *American society for Testing and Material (ASTM)*
- *Pharmacopée, notamment USP, EP et JP*

Pour les applications nécessitant des normes encore plus strictes que celles déjà établies, ELGA travaille avec la société ou l'organisation pour définir la qualité d'eau appropriée et les méthodes de purification.

Les normes présentées dans cette section sont exactes au moment de la publication de ce document, mais ne sont cependant pas reprises dans leur intégralité et par ailleurs elles sont régulièrement révisées et mises à jour. Par conséquent,

les utilisateurs doivent se reporter à la dernière version des normes complètes.

Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) – Preparation and testing of reagent water in the clinical laboratory [Préparation et test d'une eau de qualité réactif en laboratoire clinique] – Troisième édition (1997) – Révisée en 2006

Les principales recommandations du CLSI concernant l'eau purifiée désignent trois types principaux d'eau (Type I-III), le Type I étant le plus adapté aux laboratoires cliniques et à l'eau fournie aux automates d'analyse.

Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) – Preparation and testing of reagent water in the clinical laboratory [Préparation et test d'une eau de qualité réactif en laboratoire clinique] – Quatrième édition (2006)

Afin d'encourager les utilisateurs à mieux comprendre les principaux aspects liés au choix des systèmes de purification de l'eau, le CLSI a adopté une approche différente dans ces directives révisées. Il a remplacé les désignations de Type I, II, III par une recommandation visant à vérifier que l'eau convient pour l'utilisation prévue.

L'eau produite répondant à une spécification donnée doit être validée comme étant propre à l'utilisation pour chaque procédure de laboratoire dans laquelle elle est utilisée. Le système produisant l'eau purifiée doit être validé comme répondant aux exigences de l'utilisateur. Des contrôles réguliers et

une documentation des paramètres appropriés doivent être effectués pour vérifier que les technologies et systèmes de purification de l'eau fonctionnent efficacement.

Des procédures doivent être mises en œuvre pour la maintenance du système afin qu'il reste conforme aux spécifications de pureté de l'eau.

Une seule qualité d'eau, Clinical Laboratory Reagent Water (CLRW, eau de qualité réactif en laboratoire clinique), est définie en détail. Elle peut être utilisée pour remplacer l'eau de type I ou de type II de l'ancienne directive. Les autres qualités d'eau, répertoriées ci-dessous, sont décrites en fonction des applications correspondantes et des caractéristiques fournies par l'utilisateur :

- *Eau de qualité réactif spécifique (SRW)*
- *Eau d'alimentation des instruments*
- *Eau fournie pour utilisation en tant que diluant ou réactif*
- *Eau en bouteille préconditionnée*
- *Applications d'autoclave et d'eau de rinçage*

	Type I	Type II	Type III
Bactéries (UFC/ml) max.	10	1000	NS
pH	NS	NS	5,0 - 8,0
Résistivité (M Ω -cm à 25°C) min.	10	1	0,1
SiO ₂ mg/l max.	0,05	0,1	1
Particules	Filtre 0,2 μ m	NS	NS
Contaminants organiques	Charbon actif, distillation ou osmose inverse	NS	NS

Clinical Laboratory Reagent Water (CLRW, eau de qualité réactif en laboratoire clinique)

L'eau CLRW est destinée à répondre aux exigences de la plupart des essais de laboratoire clinique de routine. Les limites indiquées pour les paramètres doivent être respectées au point de sortie de l'eau d'un système de purification en vue du stockage ou de l'utilisation. Les spécifications ont pour but de contrôler les paramètres critiques pour garantir de façon appropriée une eau purifiée pour les procédures d'essai de laboratoire clinique spécifiques. Il est obligatoire que l'eau finale réponde aux spécifications d'impureté, et que les paramètres soient surveillés de façon régulière pour détecter les évolutions indiquant une détérioration dans le processus de purification d'eau.

Tout aspect important des normes est mis en évidence dans les directives du CLSI. Le CLSI souligne que les normes prescrites ne peuvent être que des indicateurs de ce qui peut être considéré comme une qualité acceptable d'eau pure. Il est de la responsabilité du fabricant de l'analyseur de vérifier si une spécification ou une qualité particulière d'eau purifiée convient à une application chimique spécifique sur un analyseur particulier.

Étant donné que l'application chimique, notamment, peut être modifiée, ou que de nouveaux paramètres peuvent être introduits, la seule option « fiable » consiste à fournir la meilleure qualité d'eau pour toutes les applications. Même dans ces conditions, pour certaines applications chimiques, il convient de mettre en évidence certains types d'impuretés s'il s'avère qu'elles affectent les résultats.

Special Reagent Water (SRW, eau de qualité spéciale réactif)

Requise pour les tests de laboratoire clinique spécifiques, l'eau de qualité spéciale réactif est une eau pure devant respecter d'autres spécifications de pureté, généralement supérieures à celles de l'eau CLRW. La spécification doit inclure les mêmes paramètres que l'eau CLRW, avec des paramètres supplémentaires si nécessaire. Il peut être nécessaire pour un laboratoire de disposer de plusieurs eaux SRW différentes. Dans la plupart des cas, on évalue si l'eau SRW convient à une application donnée par des tests lors du développement des dosages à l'aide de différentes techniques : réaction des blancs pour le spécimen, réaction des blancs pour le réactif, ajout d'étalons et test d'interférence. Une fois l'évaluation effectuée, le laboratoire doit déterminer les spécifications et les tests de validation pour vérifier si l'eau répond aux exigences de test clinique spécifiques. Les applications courantes d'une eau SRW sont notamment :

- *L'analyse des composants organiques à l'état de trace, qui peut nécessiter un COT inférieur ou une spécification d'absorbance spectrophotométrique des UV*
- *Les tests d'ADN et d'ARN qui nécessitent généralement de l'eau exempte de DNases, RNases et protéases.*
- *Les analyses de métaux à l'état de trace qui requièrent une réponse négative des blancs pour chaque métal à mesurer.*
- *Une eau à faible teneur en endotoxines (0,25 UR/ml ou moins) peut être nécessaire pour les applications de*

biologie moléculaire sensibles telles que la culture cellulaire, les tests sur les organes et la détection des anticorps fluorescents des microorganismes.

- *Une eau à faible teneur en CO₂ peut être nécessaire pour préparer des tampons standard pour l'étalonnage du pH.*

Eau d'alimentation des instruments

L'eau d'alimentation des instruments est destinée au rinçage interne, à la dilution et aux bains de trempage des instruments automatisés. L'utilisation d'eau CLRW pour cette application doit être confirmée par le fabricant de l'instrument concerné, et une eau avec les spécifications établies doit être utilisée.

Le CLSI recommande de vérifier que l'eau de laboratoire convient pour cette utilisation. L'eau purifiée doit être validée comme étant propre à l'utilisation pour chaque procédure de laboratoire dans laquelle elle est utilisée. Le système produisant l'eau purifiée doit également être validé. Des contrôles réguliers et une documentation des paramètres appropriés doivent être effectués pour vérifier que les technologies et systèmes de purification de l'eau fonctionnent efficacement. Des procédures doivent être établies pour la maintenance du système. Une seule qualité d'eau, Clinical Laboratory Reagent Water (CLRW, eau de qualité réactif en laboratoire clinique), est définie en détail. Les autres qualités d'eau sont décrites en fonction des applications correspondantes et des caractéristiques fournies par l'utilisateur.

Spécifications pour CLRW

Impuretés ioniques - Résistivité 1 OMO-cm
 Impuretés organiques- COT < 500 ppb
 Impuretés microbiologiques (numération des bactéries hétérotrophes < 10 UFC/ml) Contenu en particules - filtre en ligne 0,2 µm ou plus fin au plus près de la sortie de l'appareil

**Les tests d'epifluorescence et d'endotoxine sont facultatifs pour fournir d'autres informations*

Spécification de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) pour l'eau destinée à l'usage des laboratoires ISO 3696: 1987

Cette norme couvre les trois qualités d'eau suivantes :

Qualité 1

Quasiment exempte d'agents de contamination ioniques et organiques dissous ou colloïdaux. Elle répond aux exigences analytiques les plus strictes, notamment celles de la chromatographie liquide haute performance (HPLC). Elle doit être produite par un traitement supplémentaire de l'eau de qualité 2,

par exemple par osmose inverse ou échange d'ions, suivi d'une filtration à travers un filtre à membrane avec des pores de 0,2 µm pour éliminer les particules, ou d'une redistillation à partir d'un appareil en silice fondue.

Qualité 2

Très faible quantité de contaminants inorganiques, organiques ou colloïdaux. Adaptée aux analyses sensibles, notamment la spectrométrie d'absorption atomique (SAA) et la détermination des constituants à l'état de traces. Peut être produite par distillation multiple, échange d'ions ou osmose

inverse suivie d'une distillation.

Qualité 3

Convient à la plupart des travaux de chimie par voie humide en laboratoire et à la préparation de solutions de réactifs. Peut être produite par distillation simple, échange d'ions ou osmose inverse. Sauf indication contraire, elle doit être utilisée pour les travaux d'analyse ordinaires.

Paramètres	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
pH à 25°C	N/A	N/A	5.0 à 7.5
Conductivité électrique en µS/cm 25°C max	0.1	1.0	5.0
Teneur max en oxygène (O ₂) de la matière oxydable, mg/l	N/A	0.08	0.4
Absorbance max à 254 nm et sur une longueur de chemin optique de 1cm, unités d'absorbance	0.001	0.01	Non spécifié
Résidus après évaporation par chauffage à 110°C mg/kg,max	N/A	1	2
Teneur en silice (SiO ₂) mg/l,max	0.01	0.02	Non spécifié

Spécification de la norme American Society for Testing and Materials (ASTM) D1193-06 pour l'eau de qualité réactif

Cette spécification couvre les exigences relatives à une eau utilisée pour les analyses chimiques et les tests physiques. Le choix du niveau est déterminé par la méthode ou le chercheur.

	Type I*	Type II**	Type III***	Type IV
Conductivité électrique max. (µS/cm @ 25 °C)	0,056	1,0	0,25	5,0
Resistivité électrique min. (MΩ-cm @ 25 °C)	18,0	1,0	4,0	0,2
pH @ 25 °C	-	-	-	5,0 - 8,0
COT max. (µg/l)	50	50	200	Pas de limite
Sodium max. (µg/l)	1	5	10	50
Silice max. (µg/l)	3	3	500	Pas de limite
Chlorure max. (µg/l)	1	5	10	50

Légende :

*Nécessite l'emploi d'un filtre à membrane de 0,2 µm

** Préparé par distillation

***Nécessite l'emploi d'un filtre à membrane de 0,45 µm

Lorsque les niveaux bactériens doivent être contrôlés, les types de réactif doivent être conformes au tableau suivant :

	Type A	Type B	Type C
Numération bactérienne totale maximum, UFC/ml	1	10	1 000
Endotoxines max. UE/ml	0,03	0,25	-

Normes établies dans la pharmacopée

Des pharmacopées distinctes sont élaborées par un certain nombre d'organismes, notamment aux États-Unis, en Europe et au Japon. Chacune spécifie les matériaux, y compris l'eau, à utiliser pour l'application médicale. Le niveau de pureté général de l'eau spécifié est similaire dans chaque cas, mais diffère dans les détails. Des critères supplémentaires sont définis pour l'eau requise dans les applications stériles. Les normes pour l'eau purifiée données dans la Pharmacopée européenne (EP) et dans la Pharmacopée des États-Unis (USP) sont résumées ci-dessous. L'eau pour injection à l'homme ou aux animaux est soumise à des critères bactériens/pyrogènes stricts et des méthodes de préparation sont spécifiées.

Exigences de la pharmacopée pour l'eau purifiée

Propriétés	EP	USP
Conductivité	<4,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C	<1,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 °C
COT	<500 $\mu\text{g}/\text{l C}$	<500 $\mu\text{g}/\text{l C}$
Bactéries (instructions)	<100 UFC/ ml	<100 UFC/ ml
Nitrates	<0,2 ppm	-
Métaux lourds	<0,1 ppm	-

Norme européenne EN285

La norme européenne EN285:2006+A1 spécifie les exigences et tests appropriés pour les stérilisateurs à vapeur grande capacité dotés d'une cuve d'eau au moins 60 litres. Ils sont principalement utilisés dans le domaine médical pour la stérilisation des appareils médicaux et de leurs accessoires, ainsi que pour la production commerciale des appareils médicaux. La norme recommande des valeurs maximales pour les contaminants dans l'eau qui alimente ces appareils.

Valeurs maximales recommandées pour les contaminants à l'entrée des stérilisateurs à vapeur grande capacité (EN285)

Eau d'alimentation	
Résidu d'évaporation	$\leq 10 \text{ mg/l}$
Silicate (SiO_2)	$\leq 1 \text{ mg/l}$
Fer	$\leq 0.2 \text{ mg/l}$
Cadmium	$\leq 0.005 \text{ mg/l}$
Plomb	$\leq 0.05 \text{ mg/l}$
Résidus de métaux lourds (hors fer, cadmium, plomb)	$\leq 0.1 \text{ mg/l}$
Chlorure (Cl)	$\leq 2 \text{ mg/l}$
Phosphate (P O_3)	$\leq 0.5 \text{ mg/l}$
Conductivité (à 25°C)	$\leq 5 \mu\text{S}/\text{cm}$
Valeur de pH (degré d'acidité)	5 à 7.5
Aspect	Incolore, propre, sans sédiments
Dureté (Σ ions alcalino-terreux)	$\leq 0.02 \text{ mmol/l}$

NB : la conformité devra être testée selon les méthodes d'analyses agréées

Glossaire



Absorption Processus par lequel une substance est prélevée chimiquement ou physiquement sous forme brute par un matériau (absorbant) et retenue dans les pores et les interstices à l'intérieur de ce matériau.

Charbon actif Forme hautement poreuse du charbon utilisée pour absorber des composés organiques et supprimer le chlore et la chloramine.

Adsorption Adhérence de molécules, atomes et espèces ionisées de gaz ou de liquide à la surface d'une autre substance (solide ou liquide), résultant de diverses attractions faibles

Résine d'échange d'anions Résine d'échange d'ions comportant des sites d'échange chargés positivement immobilisés, qui peuvent établir des liaisons avec des espèces ionisées chargées négativement, ou anions.

Azéotrope Mélange de deux composants ou plus avec des compositions fixes en phase gazeuse et liquide, pour une température et une pression données.

Bactéricide Agent chimique ou physique qui tue les bactéries.

Biocide Agent chimique ou physique qui tue les microorganismes.

Biofilm Couche de microorganismes comprise dans une matrice de polysaccharide glycoprotéine, qui adhèrent les uns aux autres et/ou aux surfaces.

Fines de charbon Très fines particules de carbone qui peuvent s'échapper d'un lit de charbon actif.

Cartouche Conteneur jetable préformé comprenant une résine ou un média de purification, ou encore une membrane.

Résine d'échange de cations Résine d'échange d'ions comportant des sites d'échange chargés négativement immobilisés, qui peuvent établir des liaisons avec des espèces ionisées chargées positivement, ou cations.

UFC/ml Unités formant colonie par millilitre. Mesure des populations microbiennes viables.

Colloïde Dispersion stable de particules fines dans l'eau dont la taille est généralement inférieure à 0,1 µm. Des colloïdes contenant du fer, de l'aluminium, de la silice et des composés organiques sont fréquemment présents dans les eaux naturelles et potables.

Concentrat Liquide contenant la matière dissoute et en suspension qui se concentre à l'entrée d'une membrane avant rejet.

Condensateur Étape d'un système de distillation qui retire suffisamment de chaleur d'un liquide vaporisé pour que celui-ci passe à l'état liquide.

Conductivité La conductivité est la réciproque de la résistivité. Pour les systèmes de purification de l'eau, la conductivité est généralement exprimée en microSiemens par centimètre (µS/cm) à 25 °C.

Dégazage Élimination de l'O₂ et du CO₂ de l'eau, généralement par transfert via une membrane hydrophobe. Le CO₂ est supprimé pour augmenter la capacité d'échange d'ions en aval.

Déionisation (DI) Élimination des impuretés ioniques de l'eau. Terme généralement utilisé en référence à l'échange d'ions – voir Échange d'ions.

Distillation Processus de purification qui tire parti du passage d'une substance de la phase liquide à la phase gazeuse avant de revenir en phase liquide, généralement au point d'ébullition de la substance, afin de la séparer des autres substances dont les points d'ébullition sont plus élevés ou plus faibles.

Électrodéionisation (EDI) Technologie qui associe des résines d'échange d'ions et des membranes sélectives des ions à un courant continu afin d'éliminer de l'eau les impuretés ioniques.

Endotoxine Composant lipopolysaccharide thermiquement stable provenant de la paroi des cellules de microorganismes à Gram négatif viables ou non viables. Peut agir comme un pyrogène.

Unités d'endotoxine (UI/ml ou UE/ml) Quantification du niveau d'endotoxine par rapport à une quantité spécifique d'endotoxine de référence. 1 UE/ml est approximativement égal à 0,1 ng/ml.

Épifluorescence Méthode de microscopie à fluorescence qui peut servir à détecter des bactéries après filtration et coloration.

Eau d'alimentation Eau qui est introduite dans un processus de purification.

Filtration Processus de purification dans lequel le passage d'un fluide via un matériau poreux permet l'élimination des impuretés.

Particules fines Particules issues d'un lit de matériau, par exemples un lit de résines d'échange d'ions.

Gram négatif Fait référence aux bactéries qui n'absorbent pas la coloration violette, selon un processus décrit par Gram.

Dureté Caractéristiques d'incrustation et de colmatage de certaines sources d'eau, dues à de hautes concentrations de calcium et magnésium. La dureté temporaire, due à la présence de magnésium ou de bicarbonate de calcium, est ainsi qualifiée car elle peut être éliminée par ébullition de l'eau pour convertir les bicarbonates en carbonates insolubles. Les sulfates et chlorures de calcium et de magnésium produisent une dureté permanente de l'eau.

Ion Toute particule non agrégée inférieure à la taille colloïdale possédant une charge électrique positive ou négative.

Échange d'ions (IX) Processus de purification d'eau consistant à éliminer, par le biais de résines cationiques et anioniques, les sels ionisés de la solution, en remplaçant les ions hydrogène par des cations et les ions hydroxyle par des anions H⁺ + OH⁻ donnant lieu à la création d'eau pure.

Cellule en ligne Électrode insérée dans un flux d'eau, afin de mesurer la conductivité ou la résistivité.

Microorganisme Tout organisme trop petit pour être visible à l'œil nu : bactéries, virus, moisissures, levures, protozoaires et certains champignons et algues.

Hors ligne Dans les systèmes de contrôle de l'eau, désigne les appareils de mesure non directement reliés au flux d'eau.

En ligne Dans les systèmes de contrôle de l'eau, désigne les appareils de mesure directement reliés au flux d'eau.

Particules Quantités discrètes de matières solides dispersées dans l'eau.

Perméat Solution purifiée qui a été produite par un passage dans une membrane d'osmose inverse semi-perméable.

pH Mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution égale à $-\log [H^+]$.

Photo-oxydation Voir Oxydation par UV (photochimique).

Planctonique Fait référence aux microorganismes aquatiques flottants.

Point d'utilisation Point de distribution dans un système d'eau purifié à partir duquel l'eau peut être prélevée.

Polissage Étape(s) de traitement final d'un système de purification d'eau.

PPB Les parties par milliard sont une unité égale à un microgramme par kilogramme d'eau. Les ppb sont numériquement équivalentes à un microgramme par litre dans des solutions aqueuses diluées.

PPM Les parties par million sont une unité égale à un milligramme par kilogramme d'eau. Les ppm sont numériquement équivalentes à un milligramme par litre dans les solutions aqueuses diluées.

PPT Les parties par trillion sont une unité égale à un nanogramme par kilogramme d'eau. Les ppt sont

numériquement équivalentes à un nanogramme par litre dans des solutions aqueuses diluées.

Pyrogène Catégorie de substances, incluant les endotoxines bactériennes, pouvant entraîner une fièvre lorsqu'elles sont injectées ou perfusées.

Régénération Méthode par laquelle les résines d'échange d'ions épuisées sont réactivées par traitement à l'aide d'un acide ou d'un alcalin fort.

Résistivité Résistance électrique entre les faces opposées d'un centimètre cube d'un matériau donné à la température indiquée. La résistivité est la réciproque de la conductivité. Pour l'analyse de l'eau, la résistivité est généralement exprimée en megaohm-centimètres ($M\Omega\text{-cm}$) et corrigée à la valeur à 25 °C. Toutes les valeurs de résistivité mentionnées dans ce guide sont à 25 °C, sauf indication contraire.

Réservoir Dans les systèmes de purification d'eau, conteneur recevant des quantités d'eau purifiée.

Osmose inverse (OI) Processus dans lequel l'eau est envoyée sous pression à travers une membrane semi-perméable afin que soient retenues les impuretés organiques et ioniques dissoutes et les impuretés en suspension.

Désinfection Processus chimiques et/ou physiques permettant de tuer les microorganismes et de réduire la contamination par les microorganismes.

Indice de colmatage, également appelé indice d'encrassement (Fouling Index, FI). Test permettant d'évaluer le risque de colmatage des filtres par l'eau, à partir de la vitesse de colmatage d'un filtre de 0,45 μm dans des conditions standard.

Adoucissement Processus de traitement de l'eau par lequel les cations, les ions de calcium et magnésium engendrant une dureté

notable sont échangés contre du sodium à l'aide de résines d'échange de cations sous forme de sodium.

Stérilisation Destruction ou élimination de tous les microorganismes vivants.

Total des Solides Dissous (en anglais TDS, Total of Dissolved Solids)

Mesure du total des sels organiques et inorganiques dissous dans l'eau, obtenue par évaporation du résidu à 180 °C.

Carbone organique total (COT)

Concentration totale de carbone dans les composés organiques.

Turbidité Degré de trouble de l'eau causé par la présence de particules en suspension ou de matières colloïdales. La turbidité réduit la transmission de la lumière et est mesurée en unité de turbidité néphélométrique (UTN).

Ultrafiltration Processus par lequel l'eau est filtrée par une membrane polymère dont la structure de pore est très fine.

Oxydation par UV (photochimique)

Processus utilisant une lumière de courte longueur d'onde pour diviser ou oxyder des molécules organiques.

Validation Confirmation, par la fourniture de preuves objectives, que les exigences associées à une utilisation ou à une application spécifique ont été remplies.

Documentation supplémentaire

—

L'Ultra pure Water Journal (Tall Oaks Publishing) contient des articles intéressants, de même que deux ouvrages de T.H. Melltzer publiés chez le même éditeur : High Purity Water Preparation for the Semiconductor, Pharmaceutical and Power Industries (1993) et Pharmaceutical Water Systems (1996). Les ouvrages suivants peuvent également être intéressants : Handbook of Water Purification, par Walter Lorch, aux éditions McGraw Hill.

Water Treatment Handbook – Degremont, aux éditions Lavoisier.

De nombreuses normes ASTM concernent l'eau purifiée (www.astm.org).

Vous pouvez trouver des informations sur le traitement de l'eau sur www.veoliawatertechnologies.fr et sur www.fr.elgalabwater.com

Chez VEOLIA, nous sommes des spécialistes de l'ingénierie, de la maintenance et du support technique des systèmes de purification de l'eau. Nous fournissons aux scientifiques et aux chercheurs du monde entier des solutions fiables, qui apportent une certitude absolue quant à la qualité de l'eau pure et ultra pure dont ils ont besoin pour leurs travaux.

Faisant partie du groupe Veolia - la plus grande entreprise au monde dans le domaine de l'environnement - nous nous consacrons à la

fourniture de systèmes d'eau pure et ultra pure qui aident nos clients à travailler dans de bonnes conditions.

Nous avons une grande expérience des défis à relever lors du développement, de l'installation et de l'entretien de systèmes de purification de l'eau à point d'utilisation unique, ainsi que des grands projets impliquant la collaboration avec des architectes, des consultants et des clients.

ENGAGEMENT EN FAVEUR DE LA DURABILITÉ

Nous pouvons calculer la valeur carbone de tous nos produits sur l'ensemble de leur durée de vie et nous pouvons fournir ces informations à nos clients et partenaires.

www.veoliawatertechnologies.fr

Ressourcer le monde

Veolia Water Technologies

L'Aquarène • 1 place Montgolfier • 94417 Saint-Maurice Cedex • France
tél. +(33) 0 1 45 11 55 55

www.veoliawatertechnologies.fr