

# Chapitre 1

## Introduction

Dans les années 1990, la contamination microbiologique était une des principales préoccupations avec notamment la contamination des sources d'eau potable par des kystes et des oocystes (*Giardia* et *Cryptosporidium*), en plus des contaminations par les bactéries et les virus. L'élévation du niveau de vie, l'extension rapide de l'urbanisation, ainsi que l'industrialisation sans cesse croissante, ont contribué à l'augmentation de la demande en eau, mais également à la dénaturation des milieux récepteurs. Même les eaux souterraines si bien protégées n'ont pas été épargnées dans de nombreux cas. Il fallut alors se mettre à l'évidence, et imaginer toutes les solutions techniques afin de redonner à l'eau de surface et à l'eau souterraine, les propriétés et les qualités qu'on attend d'elles. Le nouveau millénaire a apporté une série de nouveaux défis. La recherche sur les effets sur la santé de plusieurs contaminants inorganiques tels que l'arsenic et le plomb a conduit à réduire leurs concentrations respectives dans l'eau. Les problèmes de plomb et de l'équilibre chimique de l'eau sont souvent liés à la corrosion des canalisations et des équipements, de sorte que l'accent est autant porté sur la stabilité de l'eau que dans les systèmes de distribution. Aujourd'hui, de nouveaux agents pathogènes comme, par exemple, les nouveaux virus (H<sub>5</sub>N<sub>1</sub>, H<sub>5</sub>N<sub>5</sub>, Ebola, Covid-19, etc.) sont apparus dans notre environnement et leur traitabilité dans les usines d'eau potable font l'objet de tests et de contrôles. On s'inquiète également des effets possibles sur la santé de nombreux micropolluants organiques comprenant aussi bien les catégories de composés émanant de notre mode de vie moderne tels que les composés pharmaceutiques, les perturbateurs endocriniens, les produits de soins personnels mais aussi des micropolluants solides tels que les microplastiques. L'apparition de tous ces contaminants physiques, organiques et biologiques dans l'eau fait craindre des contaminations plus complexes à traiter. Ceci conduit à accentuer les conditions de protection des ressources en eau, l'optimisation des performances des usines et la gestion des flux de recyclage, à travers la mise en œuvre de nouvelles technologies, comme le traitement à l'aide de membranes (haute et basse pression), l'utilisation plus formalisée de charbon actif en

poudre, l'ozonation contrôlée et les rayonnements aux ultra-violets. Les attaques terroristes mettent beaucoup plus l'accent sur la sécurité des infrastructures hydrauliques et la gestion des risques comme le transport des produits chimiques dangereux. Liée à cela, l'introduction d'une réglementation qui déplace le point de contrôle de la qualité de l'eau produite en usine vers le robinet du client. L'attention considérable des médias a placé ces catégories de polluants sous le feu des projecteurs. Il est vrai qu'au cours de ces dernières années, les méthodes analytiques se sont améliorées et leur présence à l'état de traces est désormais systématiquement détectée. Même si les effets de toxicité sur les humains et leur impact sur l'environnement sont en cours pour certaines d'entre elles, on sait encore peu de choses sur leurs effets réels. La réutilisation des eaux usées municipales comme ressource en eau potable fait également l'objet d'une attention accrue et exige l'utilisation en série de plusieurs techniques de haut niveau.

La qualité microbiologique de l'eau potable fait quotidiennement l'actualité. Aujourd'hui, les clients sont de plus en plus impliqués dans la qualité de l'eau qui leur est distribuée et ont des inquiétudes concernant la désinfection chimique et ses sous-produits, le plomb et les légionelles dans les tuyauteries de distribution.

De ce fait :

- les défis du traitement de l'eau potable sont divers et en font l'un des domaines les plus intéressants du génie civil : de nouveaux contaminants sont analysés dans les eaux souterraines comme les composés perfluorés, ou des toxines algales sont détectées à cause d'une prolifération de cyanobactéries dans une eau de surface ;
- des ressources alternatives sont imaginées et envisagées avec la récupération des eaux de pluie, les eaux souterraines saumâtres profondes, les eaux fossiles, la réutilisation des eaux usées en mode direct ou indirect.

Ainsi, au cours des deux dernières décennies, de nouvelles technologies de traitement de l'eau ont continué à être développées et des technologies plus anciennes sont améliorées. Les progrès concernent par exemple :

- le développement et la maturation des technologies membranaires. La microfiltration et l'ultrafiltration sont souvent utilisées à la place de la filtration sur support granulaire pour l'élimination des particules. La nanofiltration et l'osmose inverse basse pression, sont de plus en plus utilisées pour l'adoucissement de l'eau, l'élimination des métaux lourds, du carbone organique et des micropolluants organiques. L'osmose inverse haute pression connaît un développement très important pour les applications de dessalement, et pour l'élimination des contaminants organiques et minéraux ;
- l'utilisation de charbon actif en poudre ou en micrograin dans des réacteurs spécifiques, en vue de l'élimination des substances humiques et des micropolluants organiques ;

- l'utilisation plus courante de processus biologiques pour des applications telles que l'élimination du fer et du sélénium des eaux souterraines ;
- le développement de procédés d'oxydation avancés nouveaux et améliorés qui augmentent la formation du radical hydroxyle, ce qui permet de décomposer de nombreux contaminants organiques qui sont préoccupants ;
- l'amélioration des performances des systèmes de désinfection UV de telle sorte que la dose appliquée est à présent, plus élevée que celle requise au cours des années 1980-1990.

Qu'en est-il pour demain ?

Les ingénieurs qui conçoivent aujourd'hui des procédés de traitement de l'eau sont confrontés à de nombreux défis. Non seulement il y a de nouveaux défis, mais les défis passés sont cumulatifs et doivent tous encore être relevés. Certains défis sont contradictoires, tels que la nécessité d'une désinfection plus efficace et la nécessité de réduire les sous-produits de désinfection. L'enjeu majeur est de développer et de mettre en œuvre des méthodes plus efficaces pour éliminer les précurseurs de sous-produits de désinfection de l'eau brute ou de réduire le risque de contaminations dû aux protozoaires, sans augmenter de manière significative la formation de sous-produits.

La science de l'eau potable continue de progresser et le développement des connaissances concernant les risques pour la santé publique dus aux contaminants et aux agents pathogènes émergents est étroitement surveillé.

Les plus grands défis d'aujourd'hui sont liés non seulement au processus de traitement mais également au choix de la filière de traitement et au développement de l'approvisionnement en eau.

Le déficit en eau enregistré dans de nombreuses régions et la concurrence accrue pour les ressources en eau disponibles entraînent une volonté d'utiliser toutes les ressources en eau disponibles.

On se concentre de plus en plus sur la sélection des procédés les plus économes en eau. Les eaux usées sont de plus en plus réutilisées pour diverses applications dont l'eau potable. Dans certains pays, l'approvisionnement à partir des eaux fossiles est devenue coutumière.

De plus, l'accent est mis sur la conception et la fourniture d'installations qui sont beaucoup plus durables. Les ingénieurs d'aujourd'hui sont souvent appelés à :

- utiliser ou réutiliser de manière optimale les infrastructures et les matériaux existants ;

- limiter ou réduire l’empreinte physique et environnementale d’une installation ;
- conserver et récupérer l’énergie ;
- minimiser l’utilisation de produits chimiques et la production de boues solides ;
- évaluer et peut-être incorporer des sources d’énergie alternatives, en particulier celles capables de produire une réduction nette des émissions de gaz à effet de serre ;
- envisager diverses procédures de référence et de comptabilité environnementales telles que l’empreinte carbone.

Les préoccupations liées au changement climatique sont étroitement liées aux défis des ressources en eau et à la nécessité de fournir des usines durables. Mais, comme les impacts du changement climatique sont difficiles à prévoir, diverses questions restent posées comme par exemple :

- la fréquence des précipitations seront-elles suffisantes ?
- la région verra-t-elle une augmentation des températures moyennes ou seront-elles plus extrêmes ?
- dans quelle mesure l’ingénieur doit-il modifier ses filières de traitement et prendre ses dispositions en raison des changements potentiels, en reconnaissant qu’elles peuvent entraîner une augmentation du coût de l’eau ?

Alors que, jusqu’à présent, les principales préoccupations vis-à-vis des rejets concernaient les boues et leur devenir, l’impact environnemental des rejets liquides à travers les concentrats (usines membranes haute pression et notamment ceux issus du dessalement) et les éluats (issus de l’adoucissement par résines échangeuses d’ions) reçoivent aujourd’hui une attention particulière.

Au cours des dernières décennies, les nouveaux projets de traitement d’eau et la qualité de l’eau potable qui en résulte n’attiraient pas l’attention du public. L’attention des médias sur les problèmes de l’eau et l’explosion de la communication à travers les réseaux sociaux suscitent aujourd’hui beaucoup plus d’intérêt du public pour leur eau potable. De ce fait, l’ingénieur communique plus largement les aspects de son projet au public. Il prend en considération de nouvelles exigences résultant de la perception du public ou des valeurs qui ne correspondent pas à des exigences purement techniques. Comme, par exemple, le fait qu’un résiduel d’aluminium dans l’eau (même en dessous des normes) conduirait à la maladie d’Alzheimer alors qu’il n’existe actuellement aucune preuve scientifique montrant qu’il constitue une menace pour la santé publique. Le public exige que les services publics accordent plus d’attention à la qualité esthétique de l’eau livrée. Avec, par exemple, la réduction des goûts, des odeurs et de la couleur. Ou encore la réduction du fer, du manganèse et de la dureté qui sont beaucoup plus des paramètres de confort plutôt qu’un effet de toxicité. Aujourd’hui, en plus de répondre

aux normes actuelles en matière d'eau potable, l'ingénieur doit anticiper les besoins futurs potentiels. Un système d'eau conçu aujourd'hui doit être imaginé avec une flexibilité suffisante pour être modifié afin de répondre à des exigences potentielles futures. L'ingénieur tient compte d'autres préoccupations environnementales comme les pratiques de gestion des déchets, les opérations de stockage et d'alimentation en produits chimiques, la conservation de l'énergie, la sécurité au travail et la sécurité en général.

Comme l'ingénierie du traitement de l'eau est un marché mondial, l'ingénieur s'adapte au contexte local, aux idées, aux pratiques, aux produits et aux services qui sont échangés. L'école française de l'eau fait toujours l'objet d'un intérêt particulier grâce à ses pratiques, ses références, sa technologie et ses services. La modélisation des informations du bâtiment (BIM) constitue un élément des nouvelles pratiques et technologies qui offrent au concepteur, au constructeur et à l'opérateur de superbes fonctionnalités, comme :

- la possibilité de créer des visualisations 3D au fur et à mesure de la conception ;
- la capacité de partager divers aspects du projet entre le concepteur, les fournisseurs d'équipement, les entrepreneurs et les opérateurs ;
- la capacité d'intégrer les besoins de gestion des actifs et de la maintenance.

Aussi, dans cet ouvrage, sont rassemblées les techniques de fabrication d'eau potable à partir d'eau de surface conventionnelle et non conventionnelle ou d'eau souterraine. Dans un premier chapitre, sont présentés les divers constituants physiques et chimiques analysés le plus fréquemment dans les eaux à potabiliser et qui nécessitent d'être réduits. Que la ressource soit une eau de surface (rivière, lac, barrage, océan, mer) ou une eau souterraine, la composition physico-chimique de l'eau brute présente de nombreux paramètres physiques, chimiques et bactériologiques. Les contaminants sont divers et variés. Ils peuvent être d'origine naturelle comme les substances humiques, issues de la décomposition des végétaux, la dureté calcique et magnésienne, les métaux lourds (fer, manganèse, arsenic, nickel, antimoine, etc.). Ils peuvent également être d'origine industrielle comme les pesticides, les nitrates et les micropolluants émergents (résidus de médicaments, perturbateurs endocriniens, résidus industriels). Les contaminants peuvent être d'origine biologique avec le déversement des eaux usées dans les milieux récepteurs apportant leur lot de germes pathogènes. Les normes et qualités d'une eau potable avec les risques engendrés par la présence, au-dessus des seuils normés, des composés minéraux ou organiques, sont ensuite présentées. En France, l'eau propre à la consommation regroupe toutes les eaux destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments ou d'autres usages domestiques ainsi que celles utilisées dans les entreprises alimentaires pour la fabrication, la transformation, la conservation ou la commercialisation de produits ou de substances destinés à la consommation humaine, y compris la glace alimentaire d'origine hydrique.

Toutes ces eaux doivent remplir simultanément trois conditions :

- elles ne doivent pas contenir un nombre ou une concentration de micro-organismes, de parasites ou toutes autres substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes ; elles doivent être conformes aux limites de qualité définies (arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du Code de la santé publique) qui sont des valeurs obligatoires ;
- elles doivent satisfaire à des références de qualité qui sont des valeurs indicatives (arrêté du 11 janvier 2007).

Le respect des limites de référence de qualité est apprécié à des « points de conformité » c'est-à-dire, pour les eaux fournies par un réseau de distribution, au robinet du consommateur.

Afin de fabriquer une eau potable répondant en tous points aux normes en vigueur, Veolia dispose d'un grand nombre d'outils et de technologies qu'elle met en œuvre sur les milliers de sites de la planète où elle intervient. Les chapitres qui suivent ensuite, explicitent les diverses techniques de fabrication d'eau potable incluses dans une filière globale de traitement d'une eau. Chaque procédé est accompagné des principes fondamentaux et théoriques qui le régissent. Dans tous les cas, les éléments nécessaires à la conception, à la mise en œuvre et à son exploitation sont présentés. Il s'agit des éléments de technologies destinés à éliminer la pollution particulaire à travers les mécanismes de la coagulation-floculation-décantation et filtration qui sont les étapes indispensables d'une usine d'eau potable traitant une eau de surface. La décantation axée sur des procédés comme le Cyclofloc®, l'Actiflo®, le Multiflo® ou la flottation avec le Spidlow® ou le Spidflow® Filter sont décrits à travers leurs paramètres de fonctionnement, leur efficacité et des réactifs chimiques associés. Le traitement complémentaire de la filtration sur divers matériaux (sable, anthracite, pierre ponce) est détaillé avec la famille des Filtraflo® pour lesquels la diversité des techniques disponibles (filtres gravitaires et filtres sous pression) permet de traiter chaque type d'eau de manière adaptée au contexte local et aux objectifs de qualité d'eau finale.

En complément à l'élimination de la pollution particulaire, celle de la pollution dissoute tient une grande place pour de nombreuses eaux de surface. L'élimination des nitrates fait l'objet d'un chapitre particulier car ce composé reste d'actualité. Que ce soit avec un procédé biologique (Biodénit®) ou à l'aide de résines échangeuses d'ions (Ecodénit®), Veolia dispose de deux procédés qui ont fait leur preuve en Europe. Une attention particulière est portée sur l'élimination des matières organiques naturelles (substances humiques et fulviques) dont on sait que les résiduels dans l'eau produite contribuent à former des sous-produits cancérigènes après désinfection. L'utilisation du charbon actif en grains disposés dans les Filtraflo® CAG ou du charbon actif en poudre avec le développement, au cours de ces dernières années, de nombreux réacteurs à CAP

(Actiflo® Carb, Multiflo® Carb, Opacarb® MG et Opacarb® MF) permettent de répondre aux besoins des utilisateurs en fonction des diverses molécules organiques présentes dans l'eau.

De même, un chapitre traite de l'élimination des micropolluants émergents organiques (résidus de médicaments, perturbateurs endocriniens, résidus industriels) à l'aide de charbon actif (en poudre, en grain et en micrograin) ou à l'aide de membranes haute pression (nanofiltration et osmose inverse) y est détaillée. Ce chapitre illustre l'importance que Veolia donne à ce type de contaminants et des procédés utilisant un charbon en micrograin comme l'Opacarb® FL, le Filtraflo® Carb ou le Contact® Carb sont décrits. En complément et/ou en association aux procédés classiques utilisés pour l'élimination des matières organiques.

À ces étapes fondamentales aux filières de traitement, d'autres étapes n'en sont pas moins essentielles car elles assurent à l'eau un équilibre calco-carbonique nécessaire afin d'éviter qu'elles ne soient agressives (déstructuration des bétons) ou corrosives (altération vis-à-vis des métaux). Les mécanismes et réactions chimiques sont bien explicités et de nombreux procédés Veolia sont décrits à travers les saturateurs, les reminéralisations en ligne ou en cuve, les filtres calcaire (FiltrFlo® calcaire).

De même, la décarbonatation, qu'elle soit chimique (Actiflo® Softening, Multiflo® Softening, Saphira®, Actina®) à l'aide de résines ou par nanofiltration, est bien détaillée car la problématique de l'excès de calcaire reste une des préoccupations des consommateurs. L'élimination des métaux (fer, manganèse, arsenic, antimoine, sélénium, nickel) est présentée et décrite à travers les expériences acquises. Les membranes basse pression (microfiltration et ultrafiltration) destinées à éliminer la pollution particulaire et bactériologique sont présentées à travers le savoir-faire de Veolia et les nombreuses références qu'elle a construites et/ou qu'elle exploite. À travers les connaissances et le retour d'expérience des exploitations des multiples usines utilisant des membranes, Veolia s'est forgée une excellente réputation de savoir-faire et est très souvent sollicitée par les fabricants pour donner un avis sur des membranes en développement.

De même avec les membranes haute pression (nanofiltration, osmose inverse basse pression, osmose inverse), Veolia dispose d'une banque de données très riche et très variée sur l'utilisation de ces membranes en eau de surface conventionnelle ou dessalement d'eau de mer. De nombreuses références sont explicitées dans cet ouvrage avec, pour chacune d'elle, la justification technique de son choix.

La désinfection chimique et aux rayonnements ultraviolets est bien détaillée comme une étape finale avant la distribution de l'eau produite en mettant l'accent sur les recommandations techniques à mettre en œuvre afin d'obtenir les meilleurs rendements de désinfection.

Cet ouvrage se veut être un guide pour les ingénieurs chargés de la conception des usines d'eau potable à travers les différents objectifs de traitement et la sélection et la conception des installations physiques, chimiques et biologiques. Également pour les exploitants d'usines qui ont ainsi accès aux principes fondamentaux des procédés des filières de traitement.