



Les traitements de l'eau

LA MARCHÉ DE L'EAU COURANTE

Dans les pays industrialisés, rien n'est plus facile que se désaltérer : il suffit d'ouvrir le robinet de son habitation et se servir, sans risque de mettre sa santé en péril. Cet acte anodin parviendrait presque à occulter la longue et coûteuse conquête de l'eau potable, loin d'être achevée dans tous les pays. Le cycle de l'eau artificiel, orchestré par l'homme, permet de satisfaire l'ensemble des besoins en eau potable de qualité à chaque moment de la journée. Il préserve l'environnement, en lui restituant une eau dépolluée après usage. Les usines de traitement et les stations d'épuration mettent en



œuvre des techniques élaborées, communes pour certaines, pour remplir leurs tâches respectives : fournir une eau potable répondant aux normes fixées par la législation et assainir l'eau avant son retour au milieu naturel.

L'EAU DOUCE : UNE RESSOURCE RARE

L'eau est présente sur terre depuis trois à quatre milliards d'années. Elle recouvre près des trois quarts de la surface terrestre, l'eau salée représente 97 % de la quantité d'eau totale. Sur les 3 % d'eau douce restants, environ 2 % sont figés sous forme de glace : moins d'un litre d'eau sur cent est utilisable par les êtres vivants. L'eau douce est une ressource rare, menacée par les pollutions d'origines diverses. Les réserves en eau douce sont constituées par les rivières, les fleuves, les lacs et les nappes souterraines. Elles sont constamment renouvelées par l'intermédiaire du cycle naturel de l'eau. Chauffée par le soleil, l'eau de la surface terrestre se transforme en gaz invisible, la vapeur d'eau. Elle s'élève jusqu'à atteindre des zones de basses températures, où elle se transforme à nouveau en eau liquide. Cette condensation donne naissance aux nuages. Les gouttelettes se collent les unes aux autres, s'alourdissent et, entraînées par leur poids, regagnent la surface terrestre sous forme de précipitations. Elles nourrissent les réserves d'eau douce, les océans, ruissellent sur le sol et s'infiltrent en partie.

Par ce processus, l'eau des océans est dessalée et devient disponible pour les êtres vivants. Des méthodes industrielles permettent de reproduire ce phénomène, mais ce procédé est extrêmement coûteux.

LE CYCLE DE L'EAU « ARTIFICIEL »

L'eau est au cœur des activités humaines ; en France, chaque habitant utilise en moyenne 150 litres d'eau par jour. Indispensable à notre survie, utile à notre confort quotidien, elle intervient dans un grand nombre de processus industriels et agricoles. Un réseau d'acheminement et de traitement de l'eau est mis en place pour répondre à ces besoins.

Le captage de l'eau s'effectue au niveau des eaux de surface (cours d'eau, lacs et étangs) ou des eaux souterraines, les nappes aquifères. Ces dernières se forment par infiltration d'eau de pluie dans le sol, au niveau des couches de roches perméables, composées de sable ou de gravier. Lorsque l'eau atteint des zones imperméables, elle s'accumule et forme des réserves au volume souvent considérable. Les eaux souterraines fournissent 60 % de l'eau potable. Les nappes les plus profondes peuvent atteindre 1 500 mètres, elles sont généralement de bonne qualité, nécessitent peu de traitements et sont protégées de la plupart des risques de pollutions. L'eau est puisée directement par forage du sol. Ces eaux souterraines profondes sont souvent difficiles à localiser, et certaines régions en sont totalement dépourvues. On capte alors l'eau des nappes phréatiques, plus proches de la surface du sol. Elles sont en relation avec les rivières,



alimentent les puits et affluent parfois, donnant naissance à des sources. Elles peuvent être polluées notamment par les nitrates et les pesticides, comme les eaux de surface. La majeure partie de l'eau brute ne peut être consommée directement, en raison de la présence de sables, de boues, de bactéries et de polluants. L'eau est acheminée jusqu'à des usines de traitement, où différents procédés sont mis en œuvre pour obtenir une eau

potable. Elle est ensuite stockée dans d'immenses réservoirs, où sa pureté est contrôlée en permanence, puis acheminée vers les châteaux qui en assurent la distribution. Treize pour cent de l'eau est destinée à un usage domestique, 45 % à l'agriculture et 42 % est dirigée vers les industries. Après usage, l'eau souillée est assainie au sein des stations d'épuration avant son rejet dans l'environnement.

LES TRAITEMENTS DE L'EAU BRUTE

Pendant des siècles, la majeure partie de la population française n'avait pas accès à une eau de qualité, et on mesurait mal les conséquences sur la santé. À la fin du XIX^e siècle, une prise de conscience s'opère peu à peu, en partie impulsée par les médecins, comme Pasteur, conscient des risques liés à l'absorption d'eau brute : « nous buvons 90 % de nos maladies ». Il faudra environ un siècle pour faire évoluer la situation et mettre en place un circuit de l'eau tel qu'on en bénéficie aujourd'hui. Cette acquisition a nécessité de maîtriser les techniques de désinfection et de vaincre la réticence de la population peu confiante à l'égard de l'eau traitée chimiquement. De nos jours, la qualité de l'eau distribuée est étroitement surveillée.



Elle est définie par des normes, fixées par le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001, applicables depuis le 25 décembre 2003. Ce texte reprend pour l'essentiel les dispositions de la directive

européenne du 3 novembre 1998. Le décret concerne les eaux destinées à la consommation, « l'eau du robinet », et l'eau présente dans le milieu naturel, exploitée pour être consommée. Quarante-huit critères sont retenus, classés en six catégories : organoleptiques (saveur, odeur, couleur), physico-chimiques (acidité, sels minéraux), substances indésirables (nitrates, hydrocarbures, chlore, etc), substances toxiques (plomb, arsenic, métaux lourds), microbiologie (bactéries, virus), pesticides. À son arrivée dans l'usine, l'eau subit différents traitements avant d'être distribuée vers ses lieux d'utilisation.



DÉGRILLAGE, TAMISAGE

Dès le prélèvement de l'eau, les gros déchets (branches d'arbres, bouteilles, sacs en plastiques...) sont retenus par une étape de dégrillage. Elle consiste à placer un système de grilles, dont l'espacement est d'environ 5 cm, tenant le rôle de filtre. Dès que les grilles sont encombrées par les déchets, un racleur monte le long de celles-ci et fait tomber ces déchets dans une benne. L'eau suit ensuite une étape de tamisage : elle traverse un tamis constitué de mailles fines, destiné à arrêter les petits déchets. Une fois bouché, il est nettoyé à l'eau sous pression, les déchets sont envoyés en décharge.

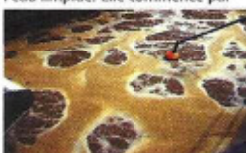
CLARIFICATION

L'eau, débarrassée des impuretés de taille importante par les étapes précédentes, contient encore de nombreuses particules en suspension comme de l'argile, des minéraux, des acides humiques et des algues. Les matières présentes

LE DESALEMENT DE L'EAU DE MER

Deux méthodes sont utilisées pour obtenir de l'eau potable à partir de l'eau de mer : la distillation et l'osmose inverse. La distillation consiste à chauffer l'eau de mer. Les molécules d'eau s'échappent ainsi sous forme de vapeur alors que les sels et les autres substances forment un dépôt. En condensant la vapeur obtenue, on récupère une eau douce potable. L'osmose inverse nécessite une filtration et une désinfection préalables de l'eau de mer. On obtient alors de l'eau salée qu'on force à traverser une membrane semi perméable en y appliquant une pression suffisante. Le sel est retenu par la membrane et on récupère une eau douce potable. Ces deux techniques présentent néanmoins un problème de rentabilité. Le chauffage et la compression de l'eau nécessitent une grande quantité d'énergie et le volume d'eau douce récupéré est faible.

dans l'eau, de très petites tailles, proviennent essentiellement de l'érosion des terrains traversés, et confèrent à l'eau un aspect trouble. L'étape de clarification consiste à éliminer ces particules, pour rendre l'eau limpide. Elle commence par



une phase de **coagulation-floculation**, qui consiste à injecter dans l'eau un réactif chimique, appartenant au groupe des sels de métaux (fer ferrique ou aluminium). Sous son action, les particules coagulent, elles passent à l'état solide et forment de petites masses, qui s'agglomèrent pour former des

Origine et utilisation

13 %



Part d'eau destinée à un usage domestique.

45 %



Part d'eau destinée à l'agriculture.

42 %



Part d'eau destinée à l'industrie.

60 %

Part de l'eau potable qui provient des eaux souterraines.

3 %

Part d'eau douce sur terre.

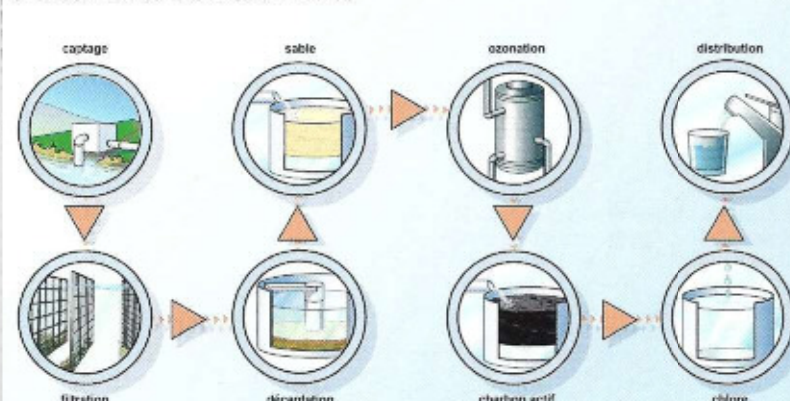
La station d'épuration d'Annecy



30 000 m³ d'eau par jour

La station européenne la plus performante

traitements de l'eau brute



sortes de flocons. La réaction chimique produit également des composés qui se constituent à leur tour en flocons et forment de véritables petites éponges qui fixent les particules en suspension. Deux alternatives permettent l'élimination des flocons, la décantation et la flottation. Dans le premier cas, les flocons, entraînés par leur poids, se déposent au fond des bassins de décantation et sont évacués sous formes de boues. La seconde option est privilégiée pour des eaux à faible teneur en matières en suspension, et riches en matières organiques, issues d'êtres vivants. Cette opération consiste à mettre l'eau traitée avec de l'air dans une enceinte maintenue à une pression très élevée, puis à ramener brutalement le mélange à la pression atmosphérique : l'air préalablement dissous sous pression se dégage sous forme de microbulles. Ces bulles s'attachent aux flocons, les dirigent vers la surface du bassin où ils sont évacués sous forme d'écume.

FILTRATION

La filtration biologique sur **sable** achève le processus de clarification de



l'eau, elle élimine les derniers flocons. L'eau passe à travers un plancher poreux, sur lequel est déposée une épaisse couche de sable fin. Les grains, d'une taille d'un millimètre environ, assurent le rôle de filtre simple et peu coûteux. Ils arrêtent toutes les particules de taille supérieure à la distance entre deux grains moyens. La couche de sable est nettoyée régulièrement, par envoi d'eau et d'air à contre courant, ce qui empêche les flocons de colmater les passages étroits entre les grains. Ces filtres ont aussi une action biologique, ils contiennent des bactéries qui détruisent l'ammoniaque présent dans l'eau et les matières organiques.



La **filtration sur membrane** remplace peu à peu les filtres à sable. Elle consiste à utiliser une fine surface filtrante percée d'orifices réguliers de très petite dimension. Contrairement aux filtres à sable où l'eau passe verticalement, les filtres à membranes sont des cylindres dans lesquels l'eau est envoyée sous pression. Il existe des filtres avec des pores de différentes tailles. Une filtration supplémentaire est utilisée pour éliminer certains polluants : la filtration biologique sur charbon actif en grains. En traversant ces filtres, la matière organique, les pesticides et les hydrocarbures présents dans l'eau sont absorbés par le charbon, siège du développement d'une flore bactérienne. Les micro-organismes détruisent ces matières, l'odeur et le goût de l'eau.

DÉSINFECTION

La désinfection est une étape indispensable dans la formation de

l'eau potable, elle permet de détruire les micro-organismes susceptibles d'engendrer des maladies, bactéries, virus ou parasites protozoaires. Ils existent plusieurs méthodes de désinfection, la plus courante est la stérilisation par le chlore, peu coûteuse et simple à utiliser. Ce produit assure la destruction des bactéries. Il est injecté sous forme de gaz ou d'eau de javel. Il réagit alors avec l'eau, pour former de



l'acide hypochloreux, qui traverse la membrane de protection des **bactéries**. Une fois à l'intérieur du microorganisme, il engendre des réactions d'oxydation : l'acide hypochloreux arrache des électrons aux molécules environnantes et perturbe des réactions vitales. Une petite dose de chlore suffit à désinfecter une quantité importante d'eau. Pour une eau à température de quinze degrés et à pH 7,5, trois dixièmes de milligramme de chlore par litre d'eau, maintenus pendant dix à vingt minutes, suffisent à assurer la destruction des bactéries. Cependant, quand la température de l'eau s'élève au-delà de quinze degrés et que l'eau est acide, l'efficacité du chlore diminue. Son pouvoir désinfectant peut également être affecté, quand il se transforme en dérivé chloré par réaction avec des composés organiques, notamment l'ammoniac. Il est alors nécessaire d'augmenter les doses ajoutées à l'eau. L'efficacité du chlore contre les virus est moins connue, et le chlore laisse parfois un mauvais goût à l'eau. L'utilisation de bioxyde de chlore est parfois privilégiée pour éviter de donner à l'eau un goût désagréable. Instable, il doit être fabriqué sur place au dernier moment et ne permet pas d'éliminer l'ammoniac.

L'ozone permet également la désinfection de l'eau. Ce gaz exerce un pouvoir oxydant proche de l'action du chlore sur les bactéries, détruit certains virus mais son recours est coûteux. L'efficacité de l'ozone dépend de la température de l'eau, de son acidité et des produits qu'elle contient. En règle générale, une très petite quantité suffit à désinfecter l'eau (un à quatre milligrammes d'un mélange air/ozone pour un litre d'eau). Il supprime la couleur de l'eau, sans lui apporter de saveur particulière. Contrairement au chlore, l'ozone s'autodétruit. Son action ne se prolonge pas dans le temps. Sa courte durée de vie implique une production directement au sein des usines de traitement de l'eau, en fonction des besoins. Il est produit par des générateurs d'ozone, à partir de dioxygène (O_2) présent dans l'air. Ces molécules sont constituées de deux atomes d'oxygène, elles sont brisées au sein du générateur. Les atomes d'oxygène ainsi libérés se réassocient rapidement aux molécules de dioxygène intactes, formant un composé à trois atomes d'oxygène : l'ozone (O_3). On injecte ensuite cet air ozoné en fines bulles au moyen de diffuseurs disposés au fond d'un bassin profond où l'eau circule de haut en bas.

Les rayonnements ultraviolets sont utilisés pour éliminer les micro-organismes, leur action est temporaire, comme l'ozone ; ce dernier est employé dans les communes dont le réseau est peu étendu. Ce procédé peu coûteux consiste à exposer les micro-organismes pathogènes à un puissant rayonnement ultraviolet, produit par des ampoules ultraviolettes. Ils perdent alors leur capacité à se reproduire et à transmettre des maladies, en raison des mutations infligées à leur ADN, support de l'hérédité commun à tous les êtres vivants. La désinfection aux rayons ultraviolets est efficace contre les bactéries, les virus et les parasites. L'eau traitée doit cependant être limpide, pour laisser passer la totalité de l'intensité lumineuse.

L'ASSAINISSEMENT DES EAUX USÉES



Les **eaux usées** contiennent des déchets de taille variable, et des polluants comme les composés azotés, issus des déjections animales, des épandages agricoles (lisier, engrais), du phosphore, contenu dans les détergents employés dans les lessives et en agriculture. Les législations imposent désormais d'assainir les eaux usées avant leur **retour dans les cours d'eau**, les lacs ou les océans. Pour cela,



des dispositifs individuels sont mis en place, sous forme de fosses septiques toutes eaux, ou collectifs comme les stations d'épuration. Les stations d'épuration comportent une succession de traitements, visant à éliminer les différents polluants et déchets. Certaines étapes sont identiques aux phases de traitement de l'eau potable.

DÉGRILLAGE

La première étape est un dégrillage, éventuellement complété d'un tamisage. L'eau passe à travers des grilles dont les barreaux sont de moins en moins espacés ; les déchets volumineux sont arrêtés et dirigés en décharge.

DÉSABLAGE ET DÉGRAISSAGE

Les eaux usées sont ensuite débarrassées du sable et des huiles, afin qu'elles n'endommagent pas les installations lors des étapes ultérieures. L'eau passe dans des bassins à faible vitesse, le sable se dépose au fond, tandis que l'huile, sous effet de l'injection de bulles d'air, s'accumule en surface par flottation. On pompe le sable pour l'éliminer, et on racle la surface pour évacuer les graisses. On enlève ainsi de l'eau les éléments grossiers, les sables de dimension supérieure à 200 microns et une partie des graisses.

DÉCANTATION

L'épuration de l'eau se poursuit par une **étape de décantation**, où les matières en suspension se déposent au fond de bassins. Ce phénomène peut être accentué par l'ajout de sels de métaux, de la même façon que dans les usines de traitements de l'eau potable, pour obtenir des flocons. Plus volumineux, ils se déposent rapidement au fond des bassins.

TRAITEMENT BIOLOGIQUE

Les polluants dissous dans l'eau sont essentiellement des matières organiques, biodégradables. Elles peuvent être éliminées par des traitements biologiques, qui font intervenir des êtres vivants capables de les absorber. On reproduit, à une échelle plus importante, les phénomènes naturels de l'écosystème aquatique. Sous l'action d'un brassage mécanique ou par injection d'air, les bactéries reçoivent l'oxygène nécessaire à leur développement, et les colonies croissent rapidement. Elles se nourrissent des polluants, les transforment en boues, et rejettent du dioxyde de carbone. Ce traitement biologique ne peut se dérouler pour

des températures inférieures à cinq degrés, peu propices au développement des bactéries. De plus, celles-ci ne peuvent éliminer les produits toxiques, les polluants non biodégradables et détruisent difficilement les phosphates. Des traitements chimiques complémentaires (oxydation et réduction chimiques, osmose inverse) peuvent compléter le traitement biologique.

CLARIFICATION

À la suite d'une décantation, les boues de matières polluantes produites par l'action des bactéries sont éliminées.

RECYCLAGE DES BOUES

Des **boues** sont générées à plusieurs étapes de l'épuration de l'eau. Elles



sont traitées avant d'être éliminées ou recyclées. La principale valorisation de ces boues est l'épandage en agriculture : déposées dans les champs, elles servent de fertilisants pour les cultures. Certaines stations d'épuration les chauffent en cuve pendant plusieurs semaines, et utilisent le gaz ainsi produit comme source d'énergie. Elles peuvent également être détruites, par incinération notamment ; des filtres retiennent les particules susceptibles d'être nocives pour l'environnement. Le dépôt en décharge tend à disparaître. Le mode de traitement des boues dépend en grande partie des exigences liées à la destination finale. Les phases d'épaississement et de déshydratation visent à diminuer le volume des boues, en éliminant une partie de l'eau. Ces techniques nécessitent un conditionnement préalable : on ajoute aux boues un réactif chimique pour générer une réaction de floculation, qui facilite la séparation du liquide et du solide. Les boues sont stabilisées, leur pouvoir de fermentation est fortement diminué par différents procédés qui dégradent les matières organiques à l'origine de ces réactions et détruisent une partie des bactéries pathogènes. Les boues sont ensuite séchées, à des degrés divers en fonction de leur devenir. Elles peuvent être compostées, mélangées à d'autres produits pour améliorer leur qualité agronomique.

traitement des eaux usées

