

## EAU 2006

**RESSOURCES EN EAU** : en millions de km<sup>3</sup>, dans le monde.

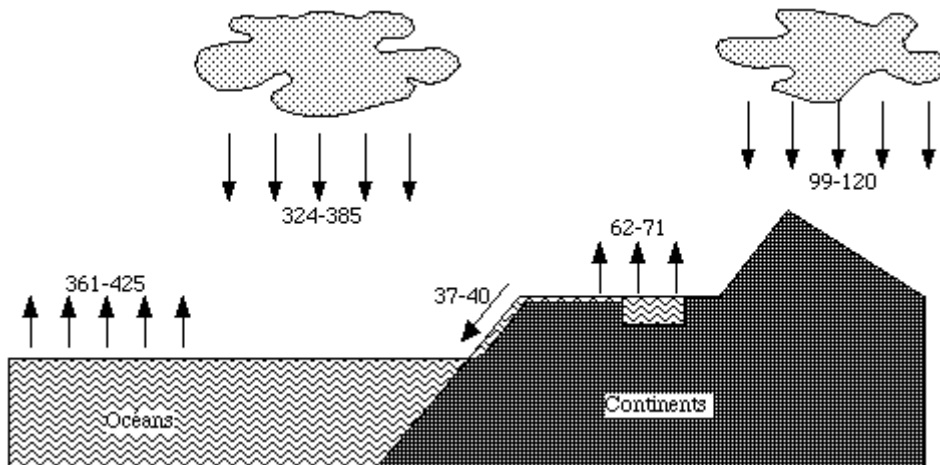
- salée : 1 350
- douce : 33,6 dont :
  - 74,4 % en neige et glace,
  - 25 % en eaux souterraines,
  - 0,6 % en cours d'eau et lacs,
  - 0,04 % dans l'[atmosphère](#).

Le lac Baïkal (Sibérie) de 31 500 km<sup>2</sup> de superficie et de 1 637 m de profondeur maximale renferme 23 000 km<sup>3</sup> d'eau douce soit environ 1/10 de l'eau douce de surface.

La quantité d'eau disponible, par personne et par an, varie de 30 m<sup>3</sup> en Egypte à 100 000 m<sup>3</sup> au Canada.

### Cycle de l'eau sur terre

(en milliers de km<sup>3</sup> par an)



**Situation française** : en milliards de m<sup>3</sup> en année moyenne.

- Précipitations : 440 soit 800 mm/m<sup>2</sup>.
- Alimentation des rivières : 70 et des nappes : 100 à 110.
- La nappe alluviale d'Alsace est la plus importante d'Europe, surface : 2 800 km<sup>2</sup>, réserves : 50 milliards de m<sup>3</sup> d'eau.

- Le stock d'eau dans les lacs est de 107 milliards de m<sup>3</sup> dont 83 % correspondent à la partie française du lac Léman et 11 % aux lacs artificiels. La France possède 270 000 km de cours d'eau.
- La quantité totale d'eau douce disponible est comprise entre 3 400 et 3 800 m<sup>3</sup>/habitant/an.

### **EAUX MINÉRALES ET DE SOURCES** : en 2002.

Production d'eau minérale en millions de litres en 2002 et ( ) consommation d'eau minérale et eau de source en 2003, en litres par habitant : Europe de l'Ouest : 32,2 milliards de litres d'eau minérale produite (en 1983, la production avait été de 11 milliards de litres).

Italie	8 840 (203)	Royaume-Uni	771 (34)
Allemagne	8 375 (116)	Autriche	714
France	6 636 (149)	Suisse	501 (110)
Espagne	4 031 (126)	Portugal	483 (92)
Belgique	1 355 (145)	Hongrie	470 (55)

Producteurs d'eau embouteillée, en % du marché mondial, en 2009 : Danone : 11,7 %, Nestlé : 9,5 %, Coca Cola : 8,5 %, pepsico : 5,2 %, autres : 65,1 %.

La production européenne est à 53,1 % plate, 46,9 % gazeuse. Parts de l'eau gazeuse : Allemagne : 97 %, Italie : 35 %.

### **Situation française** : en millions de litres.

- Production d'eaux minérales en 2004 : 8 000 (2 900 en 1980), à 84 % plates et 16 % gazeuses.
- Production d'eaux de sources (2005) : 3 150 (environ 35 % du marché français des eaux embouteillées) dont 500 à l'exportation avec un effectif de 2 500 personnes.
- Consommation (2004) : eaux plates (minérales et de source) : 6 200, gazeuses : 896, soit plus de 149 L/habitant/an dont 82 L/habitant/an pour les eaux minérales.
- Chiffre d'affaires (2004) : 1,9 milliard d'euros : eaux plates nature : 66 %, eaux gazeuses nature : 25 %, eaux plates aromatisées : 6 %, eaux gazeuses aromatisées : 3 %.
- Effectifs : 32 000 personnes.
- Parts de marché des eaux plates (minérales et de source), en 2004 : Cristaline : 19 %, Evian : 11 %, Contrexeville : 8,6 %, Volvic : 8,4 %, Vittel : 7 %, Hépar : 3,6 %, Valvert : 1,4 % ...
- Parts de marché des eaux gazeuses, en 2003 : Badoit : 16 %, Perrier : 14,2 %, St Yorre : 8,4 %, Salvetat : 8,3 %, Quézac : 8,1 %, San Pellegrino : 5,5 %, Arvie : 4,9 %, Vichy Célestins : 4,5 %, Vernière : 3,5 %, autres : 26,5 %.
- Principaux producteurs d'eaux minérales : parts de marché, en 2004 :
  - Nestlé Waters, 25,6 % : Contrexéville, Vittel, Perrier, Hépar, Valvert, Aquarel, Quézac, San Pellegrino ...
  - Danone, 22,7 % : Evian (1,5 milliard de L/an), Volvic, Badoit, Salvetat, Taillefine, Arvie ..., n°1 mondial, n°1 européen, 4,1 milliards de L d'eau minérale en bouteille (70 % plate,

30 % gazeuse) dans 8 usines. Chiffre d'affaires du pôle boisson (2005) : 3,2 milliards d'euros (27 % du chiffre d'affaires total) dont en % : eaux : 80 (dont gazeuses : 10), sodas : 17 %, autres : 3 %.

- [Neptune](#) (groupe Castel), 21,3 % : St Yorre, Vichy Célestin, Thonon, Cristaline, Courmayeur, Rozana ...

### **TRAITEMENTS DE L'EAU EN VUE DE LA RENDRE POTABLE :**

On estime que dans le monde, 1,1 milliard de personnes ne disposent pas d'eau potable.

#### **Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres :**

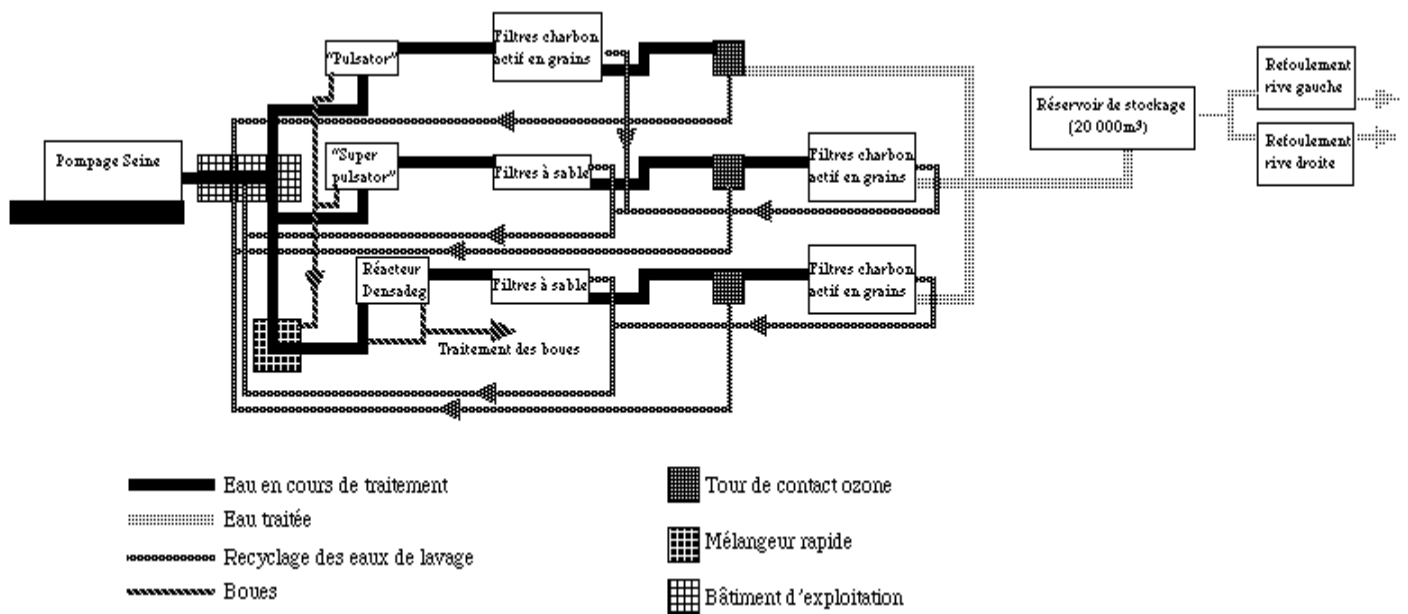
Utilisé principalement dans les pays désertiques de la péninsule arabe : 70 % des besoins en eau pour la consommation humaine en [Arabie Saoudite](#) provient de 30 usines de dessalement d'eau de mer (17,4 % des capacités mondiales de dessalement) qui fournissent 1,2 milliard de m<sup>3</sup>/an, principalement par distillation. Traditionnellement, l'[eau de mer](#) (35 à 50 g de sel/L) était plutôt distillée, alors que les eaux saumâtres (1 à 10 g/L) étaient traitées par osmose inverse. Actuellement, pour l'eau de mer, l'osmose inverse, consommant moins d'énergie, est de plus en plus utilisée. Elle représente 53 % des capacités installées, les procédés par distillation 47 %. La production mondiale d'eau dessalée est de 47 millions de m<sup>3</sup>/jour, dont 58 % provenant de l'eau de mer. Le Moyen-Orient, produit 11 millions de m<sup>3</sup>/jour, le pourtour méditerranéen, 4,2 millions de m<sup>3</sup>/jour, à 76 % par osmose inverse (Espagne : 1,7 millions de m<sup>3</sup>/jour, Algérie : 1,4 millions de m<sup>3</sup>/jour).

La principale usine dans le monde fonctionnant par osmose inverse (320 000 m<sup>3</sup>/jour permettant d'alimenter 1,4 million de personnes) a été construite par [Veolia](#) à Ashkelon en Israël. 2 lignes de production fonctionnant en parallèle permettent après passage dans 32 unités d'osmose inverse de diminuer la concentration en sel de 45 g/L à 30 mg/L, la concentration maximale admissible pour la consommation humaine étant de 400 mg/L.

**Traitements classiques d'une eau de rivière :** exemple de l'usine de traitement de Morsang-sur-Seine qui produit 225 000 m<sup>3</sup>/jour dans 3 unités en parallèle (voir [schéma](#) ci-dessous). La plus importante station de traitement d'eau potable en France est celle de Choisy-le-Roi : [capacité de production maximale : 800 000 m<sup>3</sup>/jour, production moyenne: 350 000 m<sup>3</sup> par jour \(8 millions de m<sup>3</sup>/jour à Rio de Janeiro \(Brésil\)\).](#)

#### **Usine de traitement de l'eau de la Seine de Morsang-sur-Seine**

(d'après un document de la Lyonnaise des Eaux que nous remercions)



Prélèvement d'eau brute de Seine : élimination des particules de taille supérieure à 1 mm par prise d'eau sous la surface, dégrillage puis tamisage.

Prétraitement : la tendance actuelle est d'éviter la préchloration afin de ne pas former des composés du [chlore](#) avec l'[ammoniac](#) (chloramine donnant un goût désagréable) et avec des produits organiques (chlorophénols, chlorobenzènes, trichlorométhanes...), certains de ces composés étant toxiques ou suspects d'être cancérogènes. Il est préférable d'effectuer la chloration après élimination de l'ammoniac et des matières organiques.

#### Coagulation-floculation-décantation :

Problème : les particules de taille inférieure à quelques  $\mu\text{m}$ , chargées négativement, sont en suspension stable.

- Coagulation : neutralisation des charges négatives par  $\text{Al}^{3+}$  (solution de [Al<sub>2</sub>\(SO<sub>4</sub>\)<sub>3</sub>](#) ou de polychlorures d'aluminium) qui précipite en  $\text{Al}(\text{OH})_3$  à la surface des particules : 3 à 17 g  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{m}^3$ . Les sels de fer (sous produits de l'industrie du [dioxyde de titane](#)) sont également employés. Les coagulants minéraux sont concurrencés par des coagulants organiques tels que le polymère de chlorure de diallyldiméthyl ammonium (poly DADMAC).
- Floculation : grossissement des particules par agglomération à l'aide d'un polymère (polyacrylamide anionique).
- Décantation : l'eau traverse par percolation une masse de boue constituée par les particules déjà séparées.

#### Traitements complémentaires :

- Filtration sur [sable](#) : élimination des derniers floccs : 1 m d'épaisseur de sable, vitesse de filtration : 13 m/h.
- Ozonation : l'ozone est le désinfectant le plus efficace (voir le chapitre [eau de Javel](#)),  $\text{O}_3$  résiduel : 0,4 mg/L, contact avec l'eau : 10 minutes. De façon générale, l'ozone est obtenu par décharge électrique à la fréquence de 800 Hz dans le [dioxygène](#) ou l'air (ou un mélange des deux) entre des

tubes concentriques séparés de 1 à 2 mm qui constituent les électrodes. Le tube extérieur est en [acier inoxydable](#), le tube intérieur est en [verre](#) (qui sert de diélectrique) métallisé. Un ozoneur contient quelques centaines de tubes. Le refroidissement est assuré par un courant d'eau. Les capacités de production peuvent atteindre plus de 150 kg de O<sub>3</sub>/h et la concentration en O<sub>3</sub> atteindre 10 % dans le dioxygène. La consommation d'énergie varie, pour une t d'ozone, de 2 kWh dans l'air à 8 kWh dans le dioxygène.

- Filtration sur [charbon actif](#) : dégrade biologiquement les matières organiques dissoutes et permet l'élimination des goûts, pesticides, hydrocarbures, détergents ; épaisseur : 1,30 m, vitesse : selon la filière, 7 à 10 volumes d'eau traversent 1 volume de charbon en 1 h.

- Désinfection finale par [Cl<sub>2</sub>](#) ou par l'[eau de Javel](#) : le Cl<sub>2</sub> résiduel doit avoir une teneur de 0,10 mg/L au robinet du consommateur.

- Correction de pH à l'aide d'une solution de [NaOH](#) ou de [H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>](#) pour éviter les problèmes liés au [CO<sub>2</sub>](#) dissous dans l'eau et obtenir ainsi une eau ni agressive, ni incrustante.

#### Contrôle de la qualité de l'eau traitée :

- Station d'analyse en continu et d'alerte située à Nandy, à 5 km en amont de la prise d'eau : suivi en continu de 18 paramètres : pH, résistivité, température, turbidité, [dioxygène](#) dissous, [NH<sub>3</sub>](#), radioactivité β, C.O.T., hydrocarbures, absorption UV à 254 nm, 6 métaux lourds, toxicité globale par test poisson (ichtyotest).

- Contrôle en continu du process : turbidité, pH, dose réactifs, ozone et dichlore résiduels.

- Analyse quotidienne à chaque étape du traitement et au refoulement.

**Traitement des eaux à l'aide de membranes** : par ultrafiltration (pores de 3 à 10 nm) ou par nanofiltration (pores d'environ 1 nm). Ces techniques utilisent le pouvoir de tamisage des membranes. Jusqu'à présent réservées au traitement d'eaux souterraines, elles commencent à être utilisées pour le traitement d'eaux de surface :

- par ultrafiltration, par exemple, par la Lyonnaise des Eaux, à Anglet (64), 5 000 m<sup>3</sup>/jour, pour traiter les eaux de la Nive. Les modules de filtration contiennent de l'ordre de 15 000 fibres creuses soit par module, 50 m<sup>2</sup> de surface filtrante. Le procédé [CRISTAL®](#) (Combinaison des Réacteurs Incluant Séparation par membranes Traitement par Adsorption en voie Liquide) mis au point par Degremont, après une préfiltration à 200 µm, associe un traitement sur charbon actif en poudre à l'ultrafiltration tangentielle qui, à l'usine de Vigneux-sur-Seine de La Lyonnaise des Eaux, représente 1,2 hectare de surface filtrante. Comparé à l'ozonation, ce procédé est plus efficace vis à vis des composés organiques insaturés, des triazines, des mauvais goûts et des odeurs. En effet, en période chaude, l'ozonation n'élimine pas toujours complètement les goûts et les odeurs.

Rendements d'élimination (en %) de divers polluants lors du traitement de l'eau à l'usine de Vigneux-sur-Seine (source Lyonnaise des Eaux)

	Décantation	Filtration sur charbon	Ozone	CRISTAL®
Particules	85	95	—	100
Bactéries	90	99	99,9	100

Virus	90	–	99,9	100
Organismes parasites (protozoaires)	99	–	99,9	100
Algues, plancton	99	–	99,9	100
Micropolluants organiques (pesticides)	–	10	40	100
Matières organiques dissoutes	50	60	–	90
Métabolites d'algues (responsables des goûts et odeurs)	–	10	60	100

- par nanofiltration, par exemple, par le Syndicat des Eaux de l'Ile de France (SEDIF), à Méry-sur-Oise (95), qui recourt à cette nouvelle filière de traitement pour 70 % de sa production, les 30 % restants provenant de sa filière classique de traitement biologique (ozone-charbon actif). L'usine de Méry-sur-Oise, à partir de l'eau prélevée dans l'Oise, alimente 800 000 habitants avec une production moyenne de 170 000 m<sup>3</sup> par jour. L'eau à traiter, après une étape de clarification poussée, passe encore par des pré-filtres (retiennent les particules supérieures à 6 microns) avant de traverser les membranes de nanofiltration (retiennent les particules supérieures à 1 nanomètre). Par filtration tangentielle, sous l'effet d'une différence de pression entre les deux faces de la membrane, une partie du débit traverse la membrane en abandonnant la plupart des composés contenus. L'autre partie, ne traversant pas la membrane, se charge des composés retenus. L'eau est ainsi purifiée, physiquement, des micro-organismes, produits organiques, pesticides contenus et ne nécessite, par sécurité, qu'un apport réduit de dichlore lors de sa distribution (0,2 mg.L<sup>-1</sup>) soit une réduction d'un facteur 10 de la quantité totale de chlore utilisé. Par ailleurs, le procédé permet d'adoucir l'eau.

**DISTRIBUTION DE L'EAU POTABLE**, en France, en 2001 : 5,8 milliards de m<sup>3</sup> par an, longueur totale du réseau : 856 000 km dont 120 000 km de branchements. L'eau provient pour 38 % d'eaux de surface et 62 % d'eaux souterraines. 34 017 points de prise d'eau dont 32 792 d'eau souterraine, 16 337 sites de production d'eau potable. Effectif employé : environ 36 000 personnes.

**A Paris** : 615 000 m<sup>3</sup>/jour soit 150 L/habitant/jour, pour une capacité de production de 1,4 million de m<sup>3</sup>/jour et une capacité de stockage de 1,2 million de m<sup>3</sup> par jour avec un réseau de distribution de 1 800 km. Environ la moitié de la distribution provient d'eau de sources (120 sources) et de forages, d'origines diverses, amenée à l'aide de 4 aqueducs de longueur totale : 600 km. La source la plus éloignée (156 km) est située à Armentière (89). L'autre moitié de la distribution provient d'eau de surface de la Seine et de la Marne traitée à Ivry (100 000 m<sup>3</sup>/jour), Orly (300 000 m<sup>3</sup>/j) et Joinville (210 000 m<sup>3</sup>/j).

**En Île de France** : le Syndicat des Eaux d'Ile de France, est le 1<sup>er</sup> distributeur d'eau en France et le 3<sup>ème</sup> en Europe. Il alimente 144 communes (779 km<sup>2</sup>) et plus de 4 millions d'habitants. Les capacités de production sont de 1,5 million de m<sup>3</sup>/jour pour une consommation moyenne de 750

000 m<sup>3</sup>/jour. 95 % des ressources du Syndicat des Eaux d'Ile de France proviennent des trois grandes rivières ou fleuve de la région : Marne, Seine, Oise, 6 % de forages dans les nappes (à Neuilly-sur-Seine, Pantin et Aulnay-sous-Bois et Arvigny). L'usine de Choisy-le-Roi alimente 1,7 million d'habitants avec une production moyenne de 350 000 m<sup>3</sup> par jour ; l'usine de Méry-sur-Oise alimente 800 000 habitants avec une production moyenne de 170 000 m<sup>3</sup> par jour ; l'usine de Neuilly sur Marne alimente 1,6 million d'habitants avec une production moyenne de 300 000 m<sup>3</sup> par jour. Le réseau de canalisations est de 8 756 km et 64 réservoirs ont une capacité de 661 130 m<sup>3</sup>. En 2005, la consommation des abonnés a été de 266,6 millions de m<sup>3</sup>. La teneur moyenne en chlore est de 0,22 mg.L<sup>-1</sup>, celle en ions fluorure de 0,2 mg.L<sup>-1</sup>. La teneur en ions nitrates de l'eau distribuée qui est celle de l'eau de rivière prélevée (le traitement de purification de l'eau utilisé est sans effet sur la teneur en ions nitrates) est, en moyenne, d'environ 20 mg.L<sup>-1</sup>.

### **Sociétés distribuant l'eau potable en France : répartition du marché, en 2005.**

	alimentation en eau potable (en nombre d'habitants)	stations d'assainissement (par capacités exploitées)
Opérateurs publics	26 %	48 %
<u>Veolia eau</u>	39 %	
<u>Lyonnaise des Eaux</u>	22 %	
<u>SAUR</u>	10 %	
Autres délégataires	3 %	

### Veolia environnement (ex Vivendi Universal) :

- Chiffre d'affaires, en 2005 : 25,24 milliards d'euros, dont 52 % à l'étranger.
- Effectifs, en 2004 : 251 584 personnes dont 196 554 en Europe.
- Répartition du chiffre d'affaires : eau : 35,2 %, propreté : 26,2 %, énergie : 21,4 %, transports : 17,2 %.
- Principales filiales : énergie : Clemessy ; eau : Générale des Eaux, Sade, Veolia Solutions & Technologies ; propreté : Renosol, Sarp Industries.
- Secteur eau : Veolia Eau est issu de la fusion Générale des eaux / US Filter. Principales filiales : Sade, Seureca. Chiffre d'affaires en 2005 : 8,9 milliards d'euros dont par zone géographique : France : 50 %, Europe (hors France) : 30 %, Amérique : 7 %, Afrique/Moyen-Orient/Inde : 6 %, Asie : 7 %. Effectifs en 2005 : 70 765 (dont 28 100 en France).

Dans le monde, 108 millions d'habitants desservis en eau potable et/ou assainissement dans 55 pays. Pour l'eau potable en 2005 : 14 millions d'habitants déservis aux Etats-Unis, 3,3 millions en Grande-Bretagne, 3,1 millions au Mexique, 2,1 millions en Australie, Italie, Espagne...

En France, en 2005, 2 181 milliards de L d'eau livrés à 24,5 millions d'habitants et traitement des eaux usées de 16 millions d'habitants.

Suez , groupe de gestion de services d'utilité publique dans l'énergie et l'environnement, est né de la fusion en 1997 entre la Compagnie de Suez et Lyonnaise des Eaux.

- Chiffre d'affaires du groupe Suez en 2006 : 44,3 milliards d'euros, dont 80 % en Europe.

- Effectifs à fin 2006 : 140 000 personnes.

- Répartition du chiffre d'affaires par branche d'activité : Suez Energie Europe : 36 %, Suez environnement : 26 %, Suez Energie services : 24 %, Suez Energie international : 14 %.

- Principales filiales : Axima, Compagnie Nationale du Rhône, Degrémont, Distrigaz, Electrabel, Elyo, Endel, Fabricom, Fluxys, Glow, Ineo, GTI, Lydex, Lyonnaise des Eaux, Novergie, Ondeo Industrial Solutions, SITA France, Tractebel Energia, United Water.

- Suez Environnement : chiffre d'affaires 2006 : 11,4 milliards d'euros dont 6,3 milliards d'euros pour les métiers de l'eau et 5,1 milliards pour les métiers de la propreté, Effectifs : 57 500 personnes.

Filiales eau de la branche Suez Environnement : Degrémont, Eurawasser, Lyonnaise des Eaux, Lydec, Ondeo Industrial Solutions, Safege, SEAAL, Sino-French Water, United Water.

Livraison d'eau potable dans le monde à 56 millions de personnes. Assainissement des eaux de 36 millions de personnes, dans le monde. 1211 stations d'eau potable gérées (3000 construites), 1577 stations d'épuration des eaux usées urbaines (2500 construites), 3,2 milliards de m<sup>3</sup> d'eau potable distribués en 2006, 2 milliards de m<sup>3</sup> d'eaux usées traitées en 2006.

## UTILISATIONS :

**Consommation mondiale** : les prélèvements d'eau annuels dans le monde sont estimés, en 2005, à 4 000-5 000 km<sup>3</sup> et les consommations à 2 500-3 000 km<sup>3</sup>.

**Secteurs d'utilisation** : dans le monde.

Irrigation	66 %	Consommation domestique	10 %
Industrie	20 %	Evaporation des réservoirs	4 %

- Secteurs d'utilisations : en France, en 2002, sur 32,4 milliards de m<sup>3</sup> prélevés, 26,1 milliards ont été prélevés dans les eaux superficielles (pour la production d'énergie : 71 %, l'irrigation : 13 %, la production d'eau potable : 8 %, l'industrie : 8 %) et 6,2 milliards dans les eaux souterraines (pour la production d'eau potable : 60 %, l'industrie : 24 %, l'irrigation : 16 %). La production d'énergie



restituant dans les eaux superficielles la quasi-totalité de ses prélèvements, la répartition de la consommation est différente :

- Répartition de la consommation d'eau par secteur d'activité, en 2002 :

Irrigation	68 %
Eau potable	24 %
Industrie	5 %
Energie	3%

Usages domestiques de l'eau potable :

- Besoins moyens de l'homme : 35 g d'eau/kg/jour, son corps contient de 58 à 66 % d'eau et il meurt s'il perd 12 % de son eau.

- Consommation domestique par jour et par habitant :

États-Unis	630 L	Allemagne	196 L
Royaume-Uni	260 L	Inde	60 L
Suède	210 L		

En France, en 2001, la consommation moyenne est de 162 L/jour/habitant avec une variation de 118 L dans la région Nord-Pas-de-Calais à 259 L en Corse.

- Utilisations domestiques de l'eau potable en France :

Bains, douches, toilettes	39 %	Lavage vaisselle	10 %
Sanitaires	20 %	Préparation aliments, boisson	7 %
Lavage linge	12 %	Lavage voiture, arrosages	6 %

Usages industriels : les industries papetières sont les consommateurs les plus importants.

- Utilisation dans les centrales électriques : comme source d'énergie dans les centrales hydro-électriques et comme source froide dans le cycle thermodynamique des centrales thermiques classiques et nucléaires.

- Source d'énergie hydroélectrique : en France en 2005 : première filière de production d'énergie renouvelable en France, l'hydroélectricité représente 14 % de la production d'électricité.

- Production : 70 TWh d'origine hydroélectrique (sur une production totale de 493,9 TWh), réalisée à 70 % dans les Alpes, 20 % dans le Massif central, 10 % les Pyrénées.

- Installations hydroélectriques et productivité annuelle moyenne en TWh :

Fil de l'eau	36,9	Eclusée	13,9
Lacs	17,3	Pompage	1,2

- Exploitants des installations hydroélectriques : productivité :

- EDF : 38,7 TWh (2005) ; EDF exploite 150 barrages où sont stockés 7 milliards de m<sup>3</sup> d'eau, les 3/4 des réserves d'eau de surface, 500 centrales pour une puissance installée de 20 GW.

- Compagnie Nationale du Rhône (CNR) : 14,6 TWh (2006). La CNR gère 19 centrales hydroélectriques, 19 barrages et 14 écluses à grand débit.

- 1 700 centrales hydroélectriques de moins de 8 MW représentant une capacité installée de 2 020 MW soit 7,5 TWh/an de production.

- Source de refroidissement des centrales thermiques : en circuit ouvert ou en circuit fermé.

- En circuit ouvert l'eau extérieure (de mer ou de rivière) est prélevée et rejetée en continu. Pour un réacteur nucléaire de 900 MW, le débit d'eau est de 41 m<sup>3</sup>/s, l'échauffement de l'eau de 10,8°C. Par kWh de production, le volume prélevé est de 164 L et l'évaporation de 1,55 L.

- En circuit fermé, l'eau après utilisation est refroidie dans des réfrigérants atmosphériques puis recyclée. La chaleur est évacuée à 20 % par échauffement de l'air et à 80 % sous forme de chaleur latente d'évaporation. Un débit d'appoint reste nécessaire, il est de 0,3 à 8 m<sup>3</sup>/s. Pour une centrale nucléaire de 900 MW, le prélèvement moyen est de 3 L/kWh, l'évaporation de 2,1 L/kWh.

- Usage agricole : l'agriculture mondiale irrigue 3 millions de km<sup>2</sup>. En France, de 1970 à 2005, la surface irriguée est passée de 539 000 ha à 1,9 million ha (dont 44 % est destiné à la culture du maïs qui consomme en moyenne 3 000 m<sup>3</sup>/ha) sur un total de 28 millions d'hectares. La production d'un kg de blé nécessite 1 000 L d'eau, celle d'un kg de boeuf : 13 000 L.

## POLLUTION DE L'EAU

L'eau est rarement chimiquement pure. Celle-ci est définie par rapport à la résistivité théorique de l'eau ultra pure : 18,2 MΩ.cm à 25°C. A part ce cas exceptionnel, l'eau contient toujours des ions en solution. On parle de pollution de l'eau lorsque celle-ci renferme des substances dont les teneurs sont telles que cette eau présente des risques pour la santé.

4 des 5 maladies les plus répandues dans le Tiers Monde sont transmises par l'eau : le choléra, la typhoïde, l'hépatite B, les gastro-entérites. Dans le monde, on estime que la mauvaise qualité de l'eau serait à l'origine de la mort de 25 millions de personnes par an. Chaque jour, dans le monde, 3 900 enfants meurent de maladies transmises par l'eau.

**Types de pollution générale** : on distingue la pollution due aux :

- Microorganismes pathogènes : bactéries, virus, parasites...

- Matières minérales en suspension (MES) : sables, argiles, faciles à traiter et éliminer. En France, les teneurs varient de 30 à 40 mg/L pour les eaux de surface d'une région granitique (Auvergne, Bretagne), à 300 à 500 mg/L pour de nombreuses eaux souterraines. Le taux record est atteint, en Chine, par le Fleuve jaune : 20 g/L.

- Matières organiques oxydables : provenant de la nature, de l'agriculture, des industries, des déchets animaux et humains... Les substances organiques naturelles représentent 60 à 90 % de ces matières organiques. Cette pollution est mesurée par la potentialité de consommation de [dioxygène](#). Une eau "pure" contient 10 mg de O<sub>2</sub>/L à 10°C et 8 mg/L à 20°C. Dans une eau polluée par des matières organiques, la teneur en dioxygène sera plus faible. On utilise pour mesurer cette pollution :

- la D.B.O<sub>5</sub> : demande biochimique en O<sub>2</sub> à 20°C en 5 jours, soit la quantité de O<sub>2</sub> consommée à 20°C en 5 jours : méthode longue et peu précise.

- la D.C.O. : demande chimique en O<sub>2</sub>. D'après la norme française NF T 90-101 d'octobre 1988 (équivalente à la norme internationale ISO 6060 de 1986), c'est la concentration, exprimée en mg de O<sub>2</sub>/L, équivalente à la quantité de dichromate consommée par les matières dissoutes et en suspension (1 mole de Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> équivaut à 1,5 mole de O<sub>2</sub>).

- Matières toxiques : souvent due à des causes accidentelles. Cette pollution impose la présence de stations d'alerte situées en amont des prélèvements dans les rivières.

**Qualité des eaux** : jusqu'en 1999, la qualité des cours d'eau était évaluée, en France, à partir d'une grille qui associait 5 classes de qualité (1A, 1B, 2, 3, hors classe) en fonction de valeurs seuils des paramètres physico-chimiques et hydrobiologiques. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2000, le SEQ-Eau (Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau) remplace l'ancien système d'évaluation. La qualité de l'eau est décrite pour chacune des altérations (matières organiques et oxydables, matières azotées, nitrates, matières phosphorées, particules en suspension, micro-organismes...) à l'aide :

- de 5 classes de qualité allant du bleu pour la meilleure, au rouge pour la pire,

- d'un indice variant en continu de 0 (le pire) à 100 (le meilleur).

L'indice de qualité permet de juger de l'évolution de la qualité de l'eau à l'intérieur d'une même classe. C'est donc une évaluation beaucoup plus précise que celle utilisée auparavant.

Classe	Indice de qualité	Définition de la classe de qualité
Bleu	80 à 100	Eau de très bonne qualité
Vert	60 à 79	Eau de bonne qualité
Jaune	40 à 59	Eau de qualité moyenne
Orange	20 à 39	Eau de mauvaise qualité
Rouge	0 à 19	Eau de très mauvaise qualité

Classes d'aptitudes de l'eau :

	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
Biologie	Tous taxons présents	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très faible
Eau potable	Acceptable	Traitement simple	Traitement classique	Traitement complexe	Inapte
Loisirs	Optimal	-	Acceptable	-	Inapte
Irrigation	Plantes très sensibles/tous sols	Plantes sensibles/tous sols	Plantes tolérantes, sols alcalins/neutres	Plantes très tolérantes, sols alcalins/neutres	Inapte
Abreuvement	Tous animaux	-	Animaux matures	-	Inapte

Classes de qualité pour 3 altérations :

Classe de qualité	bleu	vert	jaune	orange	rouge
Indice de qualité	100-80	79-60	59-40	39-20	19-0
Oxygène dissous (mg/L)	8	6	4	3	-
DBO <sub>5</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	3	6	10	25	-
DCO (mg/L)	20	30	40	80	-
KMnO <sub>4</sub> (mg/L O <sub>2</sub> )	3	5	8	10	-
COD (mg/L C)	5	7	10	12	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L NH <sub>4</sub> )	0,5	1,5	2,8	4	-
NKJ (mg/L N)	1	2	4	6	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L NO <sub>3</sub> )	2	10	25	50	-
Phosphore total (mg/L)	0,05	0,2	0,5	1	-
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L PO <sub>4</sub> )	0,1	0,5	1	2	-

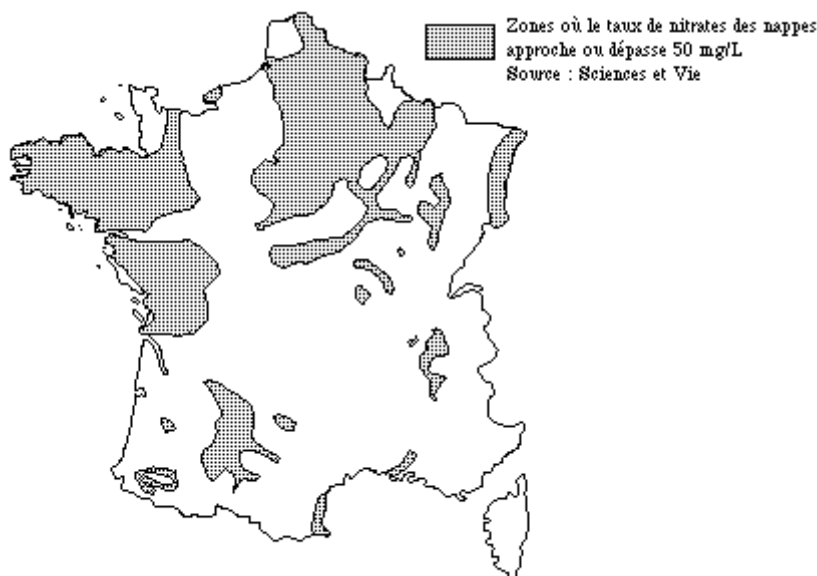
### Normes françaises pour l'eau potable :

Les exigences de qualité en vigueur en France sont fixées par arrêté du Ministère de la Santé (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, R. 1321-38 du code de la santé publique). Elles ont été établies en application de la réglementation européenne (directive 98/83/CE) et complétées à la demande du CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique) et de l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire).

**Pollution par les ions nitrates :** due, en dehors des phénomènes naturels, principalement au lessivage des engrais azotés utilisés en agriculture et aux déjections animales (lisier) des élevages industriels. On estime que sur un apport d'engrais de 167 kg d'azote par hectare et par an, 40 kg sont lessivés et alimentent les eaux de surface et les eaux souterraines. En France, sur les 9 millions de t

de N apportés par la fertilisation ou produits par la minéralisation (3 millions dans les sols, 4,5 apportés par les engrais et les déjections animales, 1,5 fixé par les légumineuses à partir de l'azote de l'air), seulement 7 millions de t de N sont consommés par les plantes. Le reste, pour l'essentiel, est entraîné dans les cours d'eau et les nappes phréatiques. Voir la carte ci-dessous.

### Pollution par les ions nitrate, en France



Sources annuelles d'azote, en France : en millions de t d'azote :

Minéralisation des matières organiques	3,0	Précipitations	1,8
Déjections animales	2,2	Déjections humaines	0,2
Engrais minéraux	2,0	Industries	0,1

La concentration maximale admissible (CMA) en ions nitrates des eaux destinées à la consommation humaine est de 50 mg/L. Une eau contenant plus de 100 mg/L ne doit pas être consommée, entre 50 et 100 mg/L elle ne doit être consommée ni par les femmes enceintes ni par les nourrissons de moins de 6 mois (risques de méthémoglobinémie : accumulation dans les globules rouges d'une hémoglobine inapte au transport du [dioxygène](#) de l'air). La CMA est dépassée dans de nombreuses régions européennes (Royaume-Uni, Pays-Bas, Allemagne, centre, ouest et nord de la France). En 2002, 41 473 mesures de teneur en ions nitrates ont été effectuées à la sortie de 14 266 installations de production (stations de traitement ou captages en l'absence de traitement). 98 % des débits d'eau produits étaient conformes à la limite de qualité de 50 mg/L. Des teneurs en nitrates comprises entre 40 et 50 mg/L ont été constatées dans 5,6 % des installations de production. De telles teneurs en nitrates dénotent l'état d'une ressource fortement dégradée susceptible de devenir prochainement impropre à la consommation humaine en l'absence de mise en oeuvre de mesures adaptées (protection des ressources, abandon du captage, mélange d'eau, traitement...). La solution souvent adoptée pour diminuer la teneur en ions nitrates des eaux consommées consiste à mélanger des eaux à teneur élevée avec des eaux à plus faible teneur afin de rester à une valeur proche de 25 mg/L (valeur guide).

**Pollution par les ions phosphates** : entraîne l'eutrophisation des lacs et rivières qui se traduit par une prolifération anormale d'algues (cyanophycées) due aux apports de [phosphates](#) qui agissent comme engrais. L'eau est appauvrie en O<sub>2</sub> dissous ce qui empêche toute autre vie animale ou végétale. En zone urbaine, l'essentiel de la pollution provient des effluents domestiques et en particulier des [lessives](#).

Rejets de phosphates dans l'eau : estimés en France à 1,2 million t/an.

- Naturels :

- érosion des sols : 0,5 à 5 kg/hectare/an.

- retombées de poussières atmosphériques : 0,1 à 0,8 kg/hectare/an.

- Domestiques : moins de 4 g/habitant/jour soit 70 à 80 000 t/an.

- métabolisme : 1,5 g/jour.

- produits lessiviels : 2,1 g/jour.

- Industriels : 40 000 t/an.

- Agricoles : 110 000 t/an.

Exemple du lac Léman : superficie : 582,4 km<sup>2</sup>, profondeur moyenne : 152,7 m, volume d'eau : 89 milliards de m<sup>3</sup>, temps de séjour des eaux : 11,9 ans.

- Apparition d'algues brunes *Oscillatoria rubescens* détectées en 1967.

- Évolution de la teneur en phosphore (en µg/L) : avant 1960 : 10, en 1979 (maximum) : 90, en 1992 : 50, en 2003 : 33. Objectif à atteindre : 20 à 30.

- Apports de phosphore : 600 t/an, provenant :

Rejets des <a href="#">stations d'épuration</a>	24 %	Pertes des réseaux	15 %
Zones naturelles	21 %	Étables, porcheries	10 %
Rejets population non raccordée	18 %	Cultures et pâturages	10 %

- Lutte contre l'eutrophisation : en 1975, début de la mise en place de la déphosphatation dans les [stations d'épuration des eaux usées](#). Actuellement, 95 % des eaux usées traitées en station sont déphosphatées. Le rendement de déphosphatation est, en moyenne, de 84 %. Une partie de la population n'est pas encore raccordée au réseau de récolte des eaux usées. [Au total, 3/4 de la pollution domestique est éliminée. En 1986, suppression, en Suisse, des phosphates dans les lessives pour textiles ce qui a permis de réduire chaque année d'environ 300 tonnes les apports de phosphore au lac.](#)

**Pollution par les pesticides et herbicides** :

L'agriculture consomme environ 500 substances actives dans plus de 8 000 produits commercialisés;

Les eaux superficielles ou souterraines destinées à la production d'eau potable doivent posséder, pour ne pas nécessiter de traitement spécifique pour les pesticides, des teneurs inférieures à 0,1 µg/L par pesticide (à l'exception de l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et de l'heptachloroépoxyde pour lesquels la teneur maximale est de 0,03 µg/L) et de 0,5 µg/L pour la somme de tous les pesticides. Lorsque les teneurs sont comprises entre 0,1 et 2 µg/L par pesticide et de 0,5 à 5 µg/L pour la somme des pesticides, des traitements spécifiques sont nécessaires et au-dessus 2 µg/L, l'eau ne permet plus la production d'eau potable sauf dérogation. En 2004, en France, 459 molécules ont été recherchées dans les eaux superficielles et 417 dans les eaux souterraines.

Les teneurs des eaux de rivière en ces divers pesticides varient fortement au cours de l'année en fonction des traitements agricoles. L'atrazine, désherbant sélectif utilisé dans la culture du maïs, était, jusqu'à son interdiction depuis 2004, l'un des principaux pesticides polluant des eaux superficielles et souterraines. Il présentait l'inconvénient de ne pas pouvoir être facilement éliminé par les traitements classiques. En 2004, pour les eaux superficielles les principaux pesticides dégradant la qualité des eaux sont dans en ordre décroissant : l'AMPA (acide aminométhylphosphonique, métabolite du glyphosate), le diuron, le glyphosate, l'isoproturon et l'aminotriazole. Pour les eaux souterraines : le glyphosate, l'atrazine et le chlortoluron.

En 2004, en France, 96 % des points de mesures ont montré la présence de pesticides dans les eaux superficielles et 61 % pour les eaux souterraines. 49 % des mesures dans les eaux superficielles ont montré une qualité moyenne à mauvaise des eaux, nécessitant un traitement spécifique pour les pesticides afin de rendre l'eau potable. Cette valeur est de 27 % pour les eaux souterraines.

**Pollution microbiologique** : contamination des eaux par des microorganismes pathogènes (bactérie, virus, parasites), susceptibles de provoquer des cas isolés de gastro-entérites voire une situation épidémique. La stratégie de contrôle de la qualité microbiologique des eaux est basée sur la recherche de "germes témoins de contamination fécale", faciles à détecter, non directement pathogènes mais dont la présence laisse supposer l'existence de microorganismes pathogènes pour l'homme. Il s'agit des deux indicateurs suivants : *Escherichia coli* et les entérocoques. Une eau est dite conforme aux limites de qualité microbiologique lorsqu'il y a absence d'*Escherichia coli* et d'entérocoques dans un échantillon de 100 mL d'eau. A l'échelon national, le taux de conformité microbiologique a progressé de 80 % en octobre 1991, à 86 % en octobre 1998 et à 94,2 % en octobre 2002.

#### **Assainissement des eaux usées :**

La pollution des eaux usées est définie par un indicateur synthétique de matières organiques : l'équivalent habitant (Eh) qui correspond à 57 g de matière organique. En France, par an, la production d'eaux usées correspond à 150 millions d'Eh soit 55 millions provenant des habitants réels et 95 millions correspondant à l'activité économique (par exemple, 1 t de papier correspond à 100 à 300 Eh, 1 000 L de bière à 700 à 2 300 Eh).

Une station d'assainissement produit, en moyenne, par jour et par habitant, 2,8 L de boue à 20 g/L de matière sèche soit, par an, en France 3 millions de t de boue qui ont donné, en 2001, 963 700 t de matière sèche qui à 50 % a été valorisée en agriculture. En 2001, le réseau collectif d'eaux usées et

pluviales qui couvre 328 700 km, achemine 5,6 milliards de m<sup>3</sup> vers 16 100 stations soit une capacité de 86,4 millions d'équivalents habitants (Eh).

Après traitement, la charge polluante organique des effluents est réduite de :

- 88 % pour les rejets dans les eaux continentales,
- 94 % pour les eaux réutilisées,
- 78 % pour les rejets vers le milieu marin.
- En France, en 2001, 23,5 millions de logements sont reliés à un réseau d'assainissement collectif, 5 millions à un réseau autonome et 1,4 million déversent directement leurs eaux usées dans la nature.
- Dans le monde, par an, on estime que 450 km<sup>3</sup> d'eaux usées sont déversés dans des cours d'eau sans avoir été épurés.

Élimination des composés azotés : à l'aide de procédés biologiques.

Les eaux usées contiennent de 30 à 50 mg de N/L principalement sous forme d'ions NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, qui peuvent être liés chimiquement, par exemple dans les protéines, ainsi que sous forme d'ions NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Une première phase de nitrification transforme NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> à l'aide de bactéries nitrifiantes, en présence de O<sub>2</sub>. Une deuxième phase de dénitrification est effectuée en absence de O<sub>2</sub>. Dans ces conditions (anoxie) une partie des micro-organismes présents dans les boues est capable de modifier son mode de respiration : au lieu d'utiliser O<sub>2</sub> dissous, ces micro-organismes consomment l'oxygène des nitrates et donnent du diazote.

Élimination du phosphore, présent sous forme d'ions phosphates : 2 voies.

- Physico-chimique : par précipitation à l'aide de chlorure ferrique, de sulfate d'aluminium ou de chaux. Le taux d'élimination est supérieur à 90 %.
- Biologique : en créant un dérèglement du métabolisme intracellulaire des bactéries à l'aide d'un stress par privation de O<sub>2</sub>. Les bactéries ainsi tressées sont capables de renforcer fortement leur capacité d'absorption du phosphore. Le traitement a lieu en 3 phases : anaérobie (phase de stress), anoxie (absence de O<sub>2</sub>, présence de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), aérobie. Le taux d'élimination est compris entre 40 et 92 %. En général, les 2 voies sont associées, le traitement biologique permettant de diminuer la consommation de réactifs chimiques et la production de boues résultant de ce traitement.