

EAU 2012

RESSOURCES EN EAU : en millions de km³, 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 km² de superficie et de 1 637 m de profondeur maximale renferme 23 000 km³ d'eau douce soit environ 1/10 de l'eau douce de surface.

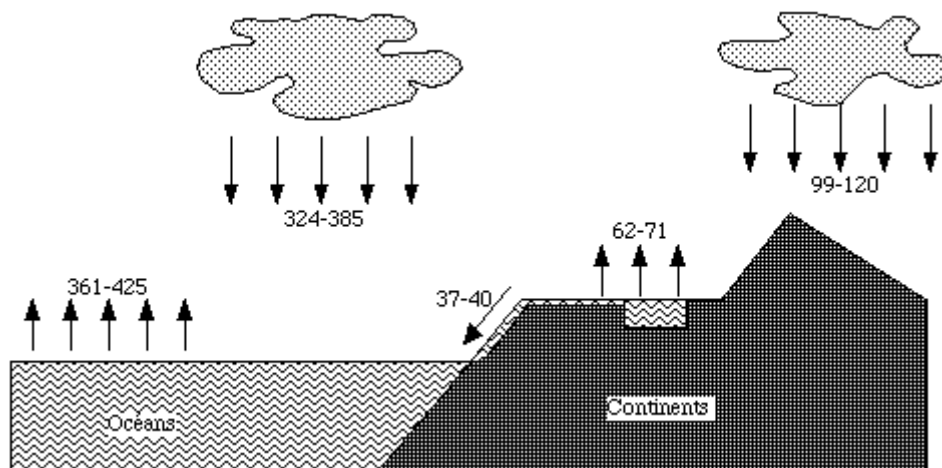
Ressources en eau renouvelables par habitant, pour quelques pays, en 2011, en m³/habitant/an.
Moyenne mondiale : 5 000.

Islande	518 293	Chine	2 051
Canada	83 691	Allemagne	1 878
Brésil	41 505	Inde	1 519
Russie	31 590	Maroc	890
Australie	21 467	Egypte	682
Etats-Unis	9 718	Tunisie	429
Japon	3 401	Jordanie	145
France	3 325	Arabie Saoudite	84
Espagne	2 384	Koweït	7

Source : Aquastat

Cycle de l'eau sur terre

(en milliers de km³ par an)



Situation française : en milliards de m³ en année moyenne.

- Les précipitations moyennes sont de 480 milliards de m³ soit 870 mm/m². Elles s'évaporent à 61 %, alimentent les cours d'eau à 16 % et s'infiltrent dans les nappes souterraines à 23 %.
- La nappe alluviale d'Alsace est la plus importante d'Europe, surface : 2 800 km², réserves : 50 milliards de m³ d'eau.
- Le stock d'eau dans les lacs est de 107 milliards de m³ 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 m³/habitant/an.

EAUX EN BOUTEILLES :

Consommation d'eau en bouteilles, en millions de litres et () en litres par habitant, en 2011.
 Monde : 232 310 (33,3).

Etats-Unis	34 475 (110,5)	Thaïlande	11 806 (170,0)
Chine	29 096 (20,9)	Italie	11 488 (188,9)
Mexique	28 469 (247,9)	Allemagne	11 183 (117,3)
Brésil	17 038 (84,8)	France	8 672 (137,4)
Indonésie	14 235 (57,3)	Espagne	5 733 (110,9)

Source : Beverage Marketing Corporation

La consommation des Etats-Unis était de 1,34 milliard de litres, en 1976.

Consommation d'eau en bouteilles, en litres par habitant, en 2012, dans l'Union européenne : 104,3.

Italie	180,5	France	113,8
Allemagne	171,1	Portugal	113,3
Belgique	123,5	Grèce	98,2
Hongrie	117,8	Autriche	85,3

Espagne	116,9	Pologne	81,5
---------	-------	---------	------

Source : Canadean

Producteurs d'eau embouteillée, en % du marché mondial, en 2009 : [Danone](#) : 11,7 %, [Nestlé Waters](#) : 9,5 %, [Coca Cola](#) : 8,5 %, [PepsiCo](#) : 5,2 %, autres : 65,1 %.

Situation française : en millions de litres.

- Production d'eaux minérales naturelles en 2004 : 6 500 (2 900 en 1980), à 85 % plates et 15 % gazeuses.

- Production d'eaux de sources, en 2012 : 3 538 dont 500 à l'exportation.

Commerce extérieur : en 2012, en millions de litres.

Eaux minérales naturelles plates :

- Exportations : 1 654 vers l'Allemagne à 30 %, la Belgique à 24 %, le Royaume Uni à 16 %, la Suisse à 8 %.

- Importations : 184 d'Italie à 59 %, du Luxembourg à 30 %, de Belgique à 6 %.

Eaux minérales naturelles gazeuses :

- Exportations : 284 vers les Etats-Unis à 32 %, la Belgique à 23 %, le Canada à 10 %, l'Allemagne à 5 %.

- Importations : 173 d'Italie à 84 %, du Luxembourg à 14 %.

Ventes en grandes et moyennes surfaces, en 2012-13, en millions de litres : elles représentent 80 % des ventes totales.

- Eaux de source : 2 300

- Eaux minérales plates : 2 060

- Eaux gazeuses : 960.

Répartition des ventes d'eaux plates, en volume, en grandes et moyennes surfaces, en 2012-13 :

Cristalline (Roxane)	27,2 %	Hépar (Nestlé)	4,0 %
Marques de distributeurs	22,7 %	Courmayeur (Roxane)	2,0 %
Evian (Danone)	9,8 %	Mont Roucous	1,8 %
Contrex (Nestlé)	7,3 %	Thonon (Roxane)	1,0 %
Vittel (Nestlé)	7,1 %	Nestlé Pure Life (Nestlé)	0,5 %
Volvic (Danone)	7,0 %		

Source : Rayon Boissons

Répartition des ventes d'eaux gazeuses, en volume, en grandes et moyennes surfaces, en 2011-12 :

Perrier (Nestlé)	16,4 %	St Yorre (Roxane)	6,2 %
Salvetat (Danone)	15,6 %	Vichy Célestins (Roxane)	3,4 %
Marques de distributeurs	15 %	Cristalline (Roxane)	2,6 %
Badoit (Danone)	12,8 %	Rozana (Roxane)	2,3 %
San Pellegrino	8,1 %	Saint Amand	0,7 %

(Nestlé)		(Roxane)	
Quézac (Nestlé)	7,0 %		

Source : Rayon Boissons

Principaux producteurs d'eaux minérales :

[Nestlé Waters](#), n°1 en France avec 33 % de part de marché et les marques Contrexéville, Vittel, Perrier, Hépar, Valvert, Aquarel, Quézac, San Pellegrino ...

[Danone](#) : a produit, en 2012, dans le monde, 22,1 milliards de litres d'eau avec les marques :

- Internationales : Evian, Volvic, Bonafont (Mexique, Brésil, Pologne), Mizone (Chine, Indonésie),
- Locales : Fontvella et Lanjarón (Espagne), Villavicencio et Villa del Sur (Argentine), Aqua (Indonésie), Zywiec Zdroj (Polone).

[Roxane](#) (groupe Alma) vente, en 2013, de 4 milliards de bouteilles avec les marques St Yorre, Vichy Célestin, Vernière, Thonon, Cristaline, Courmayeur, Rozana...

L'eau de source Cristalline exploite 22 sources.

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

On estime que dans le monde, 780 millions de personnes n'ont pas accès à l'eau potable et près de 2,5 milliards n'ont pas accès à des services d'assainissement adéquats.

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

Origine de l'eau dessalée, en 2010, sur un total de 68,658 millions de m³/jour.

Eaux de mer	63 %	Eaux de rivière	8 %
Eaux saumâtres	20 %	Eaux usées	5 %

Source : GWI Desaldata

Utilisé principalement dans les pays désertiques de la péninsule arabique : 70 % des besoins en eau pour la consommation humaine en [Arabie Saoudite](#) provient de 30 usines de dessalement d'eau de mer qui fournissent 1,2 milliard de m³/an, principalement par distillation.

Capacités de production, en 2010, des usines de dessalement de l'eau installées depuis 1945, en millions de m³/jour :

Arabie Saoudite	10,8	Chine	2,2
Etats-Unis	8,5	Japon	1,6
Emirats Arabes Unis	7	Algérie	1,5
Espagne	5	Qatar	1,4
Koweït	2,3	Australie	1,2

Source : GWI Desaldata

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.

Capacités de production, en 2010, des usines de dessalement de l'eau, selon le procédé utilisé, en % :

Osmose inverse	60,0 %	Electrodialyse	3,6 %
Distillation flash	26,8 %	Procédé hybride	0,8 %
Distillation multiples effets	8,0 %	Electrodésionisation	0,3 %

Source : GWI Desaldata

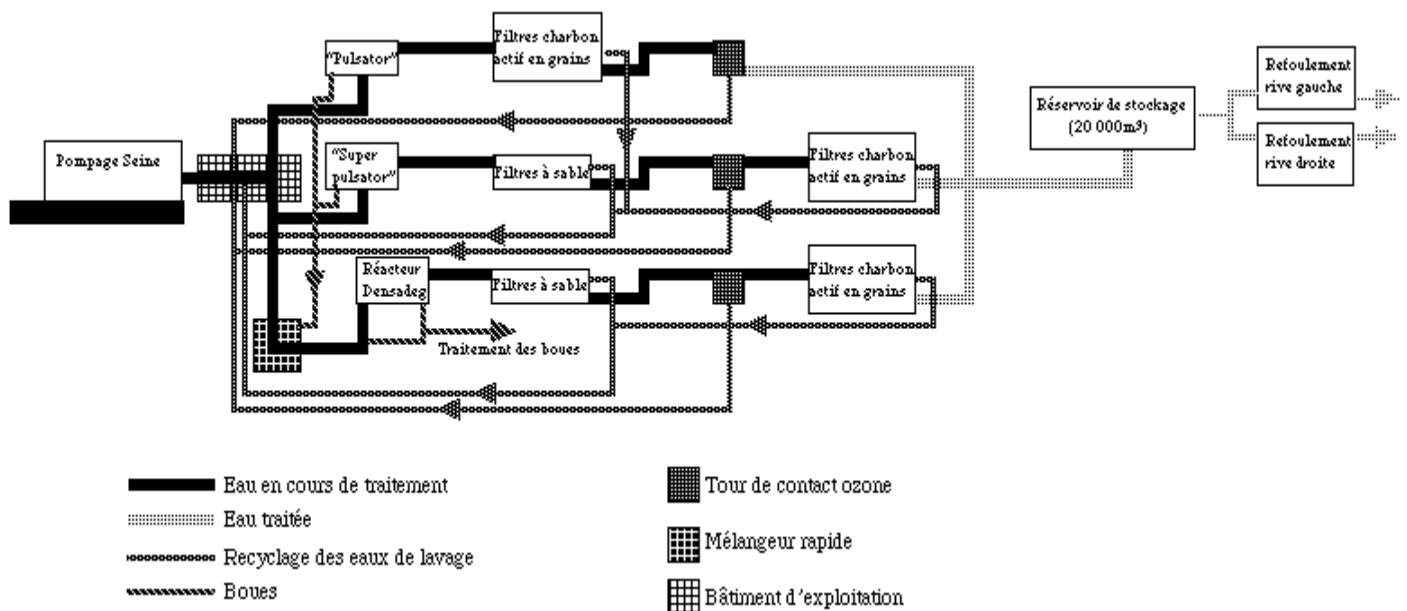
La principale usine mondiale est celle de Ras Al Khair, en Arabie Saoudite, qui devrait être opérationnelle en 2014. Sa capacité de production est de 1,025 million de m³/jour, à 70 % par distillation thermique à l'aide de 8 unités flash et 30 % par osmose inverse à l'aide de 17 unités.

L'une des plus importantes usines dans le monde fonctionnant par osmose inverse (320 000 m³/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 m³/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 : 600 000 m³/jour, production moyenne : 340 000 m³ par jour.**

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 avec 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 : le problème à résoudre est celui des particules de taille inférieure à quelques μm , chargées négativement, qui sont en suspension stable et qu'il faut éliminer.

- La coagulation permet la neutralisation des charges négatives à l'aide d'ions Al^{3+} (apportés par une solution de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ou de polychlorures d'aluminium) qui précipitent sous forme d'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$ à la surface des particules. L'apport est de 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).

- La floculation se traduit par le grossissement des particules par agglomération à l'aide d'un polymère (polyacrylamide anionique).

- Lors de la décantation, l'eau traverse par percolation une masse de boue constituée par les particules déjà séparées.

Traitements complémentaires :

- Une filtration sur sable permet l'élimination des derniers floccs à travers 1 m d'épaisseur de sable, avec une vitesse de filtration de 13 m/h.

- Ozonation : l'ozone est le désinfectant le plus efficace (voir le chapitre eau de Javel), avec 0,4 mg/L d'ozone résiduel et une durée de contact avec l'eau de 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_3/h et la concentration en O_3 atteindre 10 % dans le dioxygène. La consommation d'énergie varie, pour une tonne d'ozone, de 2 kWh dans l'air à 8 kWh dans le dioxygène.

- Une filtration sur charbon actif dégrade biologiquement les matières organiques dissoutes et permet l'élimination des goûts, pesticides, hydrocarbures, détergents avec une épaisseur de 1,30 m, à une vitesse, selon la filière, de 7 à 10 volumes d'eau traversant 1 volume de charbon en 1 h.

- Une désinfection finale est effectuée à l'aide de Cl_2 ou d'eau de Javel. Le Cl_2 résiduel doit avoir une teneur de 0,10 mg/L au robinet du consommateur.

- Une correction de pH est réalisée à l'aide d'une solution de NaOH ou de H_2SO_4 pour éviter les problèmes liés au CO_2 dissous dans l'eau et obtenir ainsi une eau ni agressive, ni incrustante.

Contrôle de la qualité de l'eau traitée :

- Une station d'analyse en continu et d'alerte est située à Nandy, à 5 km en amont de la prise d'eau avec suivi en continu de 18 paramètres : pH, résistivité, température, turbidité, dioxygène dissous, NH_3 , radioactivité bêta, C.O.T., hydrocarbures, absorption UV à 254 nm, 6 métaux lourds, toxicité globale par test poisson (ichthyotest).

- Un contrôle en continu de la turbidité, du pH, de la dose de réactifs, de l'ozone et du dichlore résiduels, est réalisé.
- Une analyse quotidienne à chaque étape du traitement et au refoulement est effectuée.

Traitement des eaux à l'aide de membranes : par ultrafiltration (avec des pores de 3 à 10 nm) ou par nanofiltration (avec des 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 m³/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 m² 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 :

	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

Source : [Lyonnaise des Eaux](#)

- Par nanofiltration, par exemple, par le Syndicat des Eaux de l'Ile de France (SEDIF), à [Méry-sur-Oise](#) (95), qui recourt à cette 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 151 000 m³ par jour. L'eau à traiter, après une étape de clarification poussée, passe encore par des pré-filtres qui retiennent les particules supérieures à 6 µm avant de traverser les membranes de nanofiltration qui 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⁻¹) 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 2011, les prélèvements d'eau destinés à la production d'eau potable ont été de 5,38 milliards de m³. L'eau provenait, en 2009, à 64 % d'eaux souterraines et à 36 % d'eaux de surface. Le réseau de canalisations de distribution a, en 2010, une longueur de 920 000 km.

A Paris : la consommation est, en moyenne, de 483 000 m³/jour soit 120 L/habitant/jour, avec une capacité de production de 1 million de m³/jour et une capacité de stockage de deux jours de consommation avec un réseau de distribution de 2 000 km. En 2012, la production a été de 195,2 millions de m³.

En 2012, 51 % de la distribution provient de 102 points de captages d'eaux souterraines situés dans les régions de Provins (77), Sens (89), Fontainebleau (77) et Dreux (28), amenées à l'aide de 3 aqueducs principaux (la Vanne, le Loing et l'Avre) de 470 km de longueur. La source la plus éloignée (156 km) est située à Armentière (10). L'eau est stockée dans 5 réservoirs (Montsouris, Les Lilas et Ménilmontant, dans Paris ainsi que Saint-Cloud (92) et l'Haÿ les Roses (94)) et traitée dans 4 usines (Sorques (77), Longueville (77), Saint-Cloud (92) et l'Haÿ les Roses (94)).

49 % de la distribution provient d'eau de surface de la Seine et de la Marne traitée à Orly (300 000 m³/j) et Joinville (210 000 m³/j).

En Île de France : le Syndicat des Eaux d'Ile de France, est le 1^{er} distributeur d'eau en France et le 3^{ème} en Europe. Il alimente, à compter du 1^{er} janvier 2013, 149 communes et 4,36 millions d'habitants. Les capacités de production sont de 1,5 million de m³/jour pour une consommation moyenne de 700 000 m³/jour. 99 % des ressources du Syndicat des Eaux d'Ile de France proviennent des trois grandes rivières ou fleuve de la région : Marne, Seine, Oise, 1 % de forages dans les nappes (à Neuilly-sur-Seine, Pantin, Aulnay-sous-Bois et Domont). La consommation d'eau des abonnés a été, en 2012, de 236,4 millions de m³.

L'usine de Choisy-le-Roi alimente 1,91 million d'habitants avec une production moyenne de 340 000 m³ par jour ; l'usine de Méry-sur-Oise alimente 820 000 habitants avec une production moyenne de 151 000 m³ par jour ; l'usine de Neuilly sur Marne alimente 1,63 million d'habitants avec une production moyenne de 255 000 m³ par jour. Le réseau de canalisations est de 8 275 km et 65 réservoirs ont une capacité de 798 600 m³.

Sociétés distribuant l'eau potable en France : répartition du marché, en % de population desservie, en 2010.

	Alimentation en eau potable	Stations d'assainissement
Opérateurs publics	33,3 %	47,0 %
Veolia eau	34,5 %	22,0 %

Lyonnaise des Eaux	19,5 %	20,1 %
SAUR	10,8 %	9,3 %
Autres	1,9 %	1,6 %

Source : BIPE

[Veolia environnement](#) : en 2012. N°1 mondial.

- Chiffre d'affaires : 29,4 milliards d'euros, dont 40,7 % en France et 35,8 % en Europe, hors France.
- Effectifs : 220 000 personnes.
- Répartition du chiffre d'affaires : eau : 41 %, propreté : 31 %, énergie : 26 %.

Dans le monde, 101 millions d'habitants desservis en eau potable avec 4 676 usines et 71 millions en assainissement avec 3 514 usines.

En France, fourniture d'eau potable à 24 millions d'habitants et traitement des eaux usées de 17 millions d'habitants.

[Suez Environnement](#) : en 2012. N°2 mondial.

- Chiffre d'affaires : 15,1 milliards d'euros, dont 36 % en France et 33 % en Europe, hors France.
- Effectifs : 79 549 personnes.
- Répartition du chiffre d'affaires par branche d'activité : Eau Europe 29 %, International : 28 %, Déchets Europe : 43 %.

Livraison d'eau potable dans le monde à 96,6 millions de personnes avec 1 200 unités de production. Assainissement des eaux de 66,3 millions de personnes avec 2 300 sites.

En France, fourniture par la Lyonnaise des Eaux de 1,1 milliard de m³ d'eau potable à 12 millions d'habitants avec 690 sites et traitement de 760 millions de m³ d'eaux usées avec 1 600 stations d'épuration.

UTILISATIONS :

Il faut distinguer les prélèvements des consommations.

- Les prélèvements utilisent et restituent l'eau directement par exemple pour l'eau de refroidissement des centrales nucléaires qui est, à 90 %, restituée directement.
- Les consommations absorbent l'eau qui n'est pas ainsi restituée directement par exemple pour l'irrigation.

Prélèvements d'eau : en 2011, en km³. Monde : 3 890, Union européenne : 218.

Chine	525	Pakistan	155
Inde	500	Russie	77
Etats-Unis	467		

Source : Centre d'Information sur l'Eau

Secteurs d'utilisation : en 2012, dans le monde :

Irrigation	70 %	Usages domestiques	10 %
Industrie	20 %		

Source : Centre d'Information sur l'Eau

- Répartition des prélèvements d'eau par secteur d'activité, en France, en 2011, sur 33,075 milliards de m³ prélevés :

Energie	65,7 %	Irrigation	9,2 %
Eau potable	16,3 %	Industrie	8,8 %

Source : INSEE

Les prélèvements, en France, en 2009, sont réalisés à 82 % sur des eaux de surface, à 18 % des eaux souterraines. La part des eaux souterraines est de 64 % pour la production d'eau potable. Les prélèvements les plus importants sont réalisés par le site du Tricastin et ses centrales nucléaires, avec 5 milliards de m³ par an.

- Répartition de la consommation d'eau par secteur d'activité, en 2010, en France :

Irrigation	48 %	Energie	22 %
Eau potable	24 %	Industrie	6 %

Source : Centre d'Information sur l'Eau

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.

- Utilisations domestiques de l'eau potable en France, sur une consommation, en 2008, de 151 L/jour/habitant.

Bains, douches, toilettes	39 %	Lavage voiture, jardin	6 %
Sanitaires	20 %	Cuisine	6 %
Lavage linge	12 %	Boisson	1 %
Lavage vaisselle	10 %		

Source : Centre d'Information sur l'Eau

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. Une centrale nucléaire a besoin de 40 à 50 m³ par seconde.

- Source d'énergie hydroélectrique : en France en 2012. Première filière de production d'énergie renouvelable en France, l'hydroélectricité représente 11,2 % de la production d'électricité. Sa puissance installée est de 25 600 MW, avec une capacité de stockage de 7 500 milliards de litres d'eau.

- Production : 63 TWh d'origine hydroélectrique (sur une production totale de 561 TWh), réalisée à 70 % dans les Alpes, 20 % dans le Massif central, 10 % les Pyrénées.

- Exploitants des installations hydroélectriques :

- EDF avec 20 000 MW de puissance installée pour une production de 41,2 TWh avec 622 barrages et 435 centrales.

- GDF Suez, avec :

- La Compagnie Nationale du Rhône (CNR, détenue à 49,97 %) avec 3 321 MW de puissance installée pour une production de 15,5 TWh avec 19 barrages et 19 centrales hydroélectriques.

- La Société Hydro-Electrique du Midi (SHEM) avec 778 MW de puissance installée pour une production de 1,8 TWh avec 12 grands barrages et 56 centrales.

- 1 935 centrales hydroélectriques de moins de 10 MW représentant une production de 6,9 TWh en 2010.

- 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 m³/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 m³/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 310 millions d'hectares sur un total de 1,5 milliard de terres cultivées. En France, de 1970 à 2010, la surface irriguée est passée de 539 000 ha à 1,6 million d'hectares sur un total de 29,2 millions d'hectares.

Répartition des cultures irriguées, en France, en 2010 :

Maïs	41 %	Cultures fourragères	11 %
Céréales et protéagineux	24 %	Pommes de terre de betteraves	7 %
Légumes, fruits, vignes	15 %		

Source : Centre d'Information sur l'Eau

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 ou l'environnement.

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 O₂/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.O₅ : demande biochimique en O₂ à 20°C en 5 jours, soit la quantité de O₂ consommée à 20°C en 5 jours : méthode longue et peu précise.

- la D.C.O. : demande chimique en O₂. 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 O₂/L, équivalente à la quantité de dichromate consommée par les matières dissoutes et en suspension (1 mole de Cr₂O₇²⁻ équivaut à 1,5 mole de O₂).

- **Ions en solution à des teneurs trop élevées** : nitrates, phosphates, métaux...

- **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^{er} janvier 2000, le SEQ-Eau (Systeme 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

Source : MEDD & Agences de l'eau

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

Source : MEDD & Agences de l'eau

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 ₅ (mg/L O ₂)	3	6	10	25	-
DCO (mg/L)	20	30	40	80	-
KMnO ₄ (mg/L O ₂)	3	5	8	10	-
COD (mg/L C)	5	7	10	12	-
NH ₄ ⁺ (mg/L NH ₄)	0,5	1,5	2,8	4	-
NKJ (mg/L N)	1	2	4	6	-
NO ₃ ⁻ (mg/L NO ₃)	2	10	25	50	-
Phosphore total (mg/L)	0,05	0,2	0,5	1	-
PO ₄ ³⁻ (mg/L PO ₄)	0,1	0,5	1	2	-

Source : MEDD & Agences de l'eau

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.

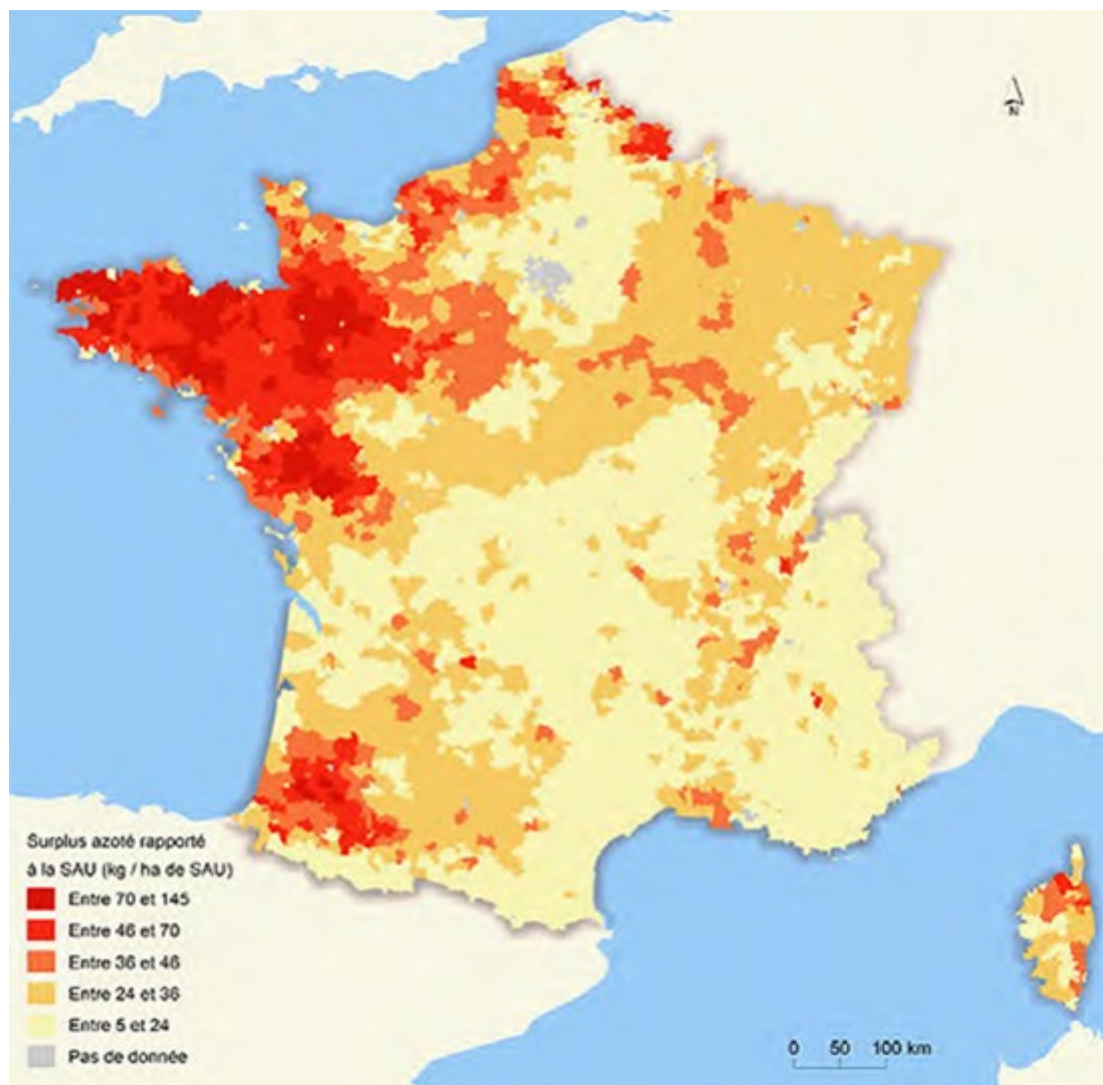
En 2010-11, en France, les apports d'azote proviennent, sur un total de 4,46 millions de t d'azote, à :

- 46 % des engrais minéraux,
- 39 % des effluents d'élevage,
- 8 % de l'azote capté par les légumineuses,
- 7 % des retombées d'azote atmosphérique.

Seuls 3,19 millions de t ont été assimilés par les cultures, 0,61 million de t étant perdus par volatilisation dans l'atmosphère.

Il reste donc un surplus de 0,66 million de t qui est évacué par les eaux de surface ou qui s'infiltre dans les eaux souterraines.

- Carte de France des surplus de la fertilisation azotée, en 2010, source : SOeS, 2013 :



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).

- Teneurs en ions nitrate dans les rivières de l'Union européenne, en 2011 : [carte de l'Agence Européenne de l'Environnement](#).

- Teneurs en ions nitrate dans les ressources souterraines de l'Union européenne, de 2000 à 2011 : [carte de l'Agence Européenne de l'Environnement](#).

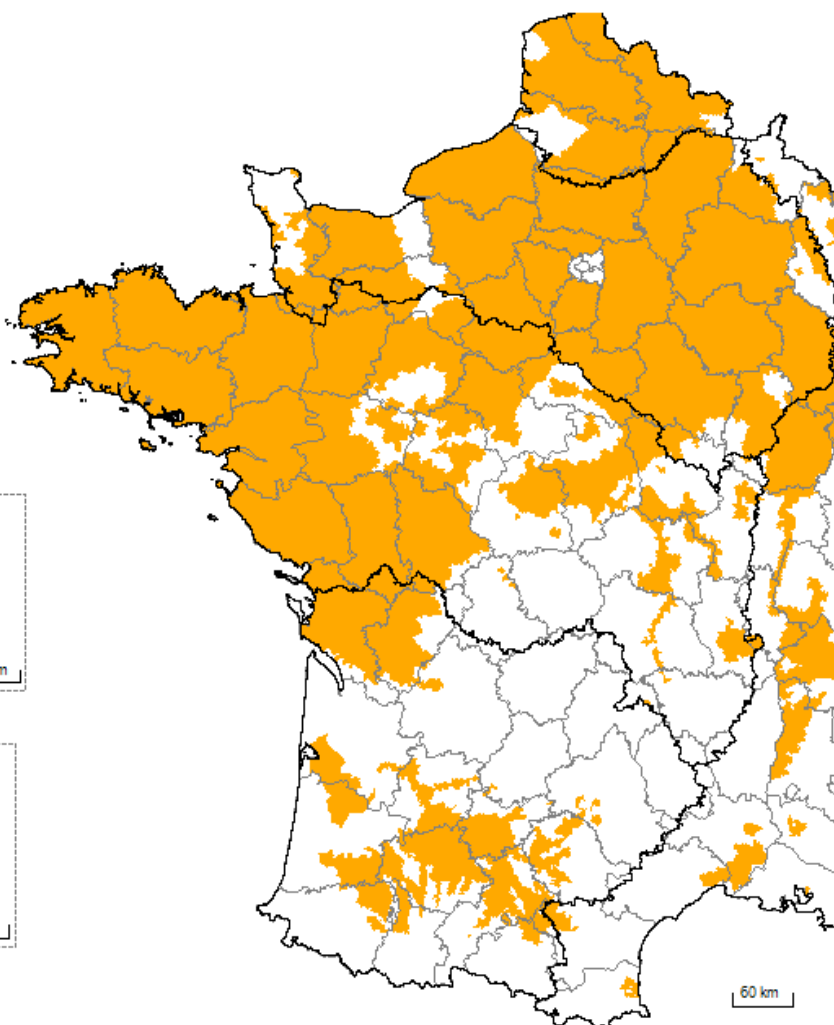
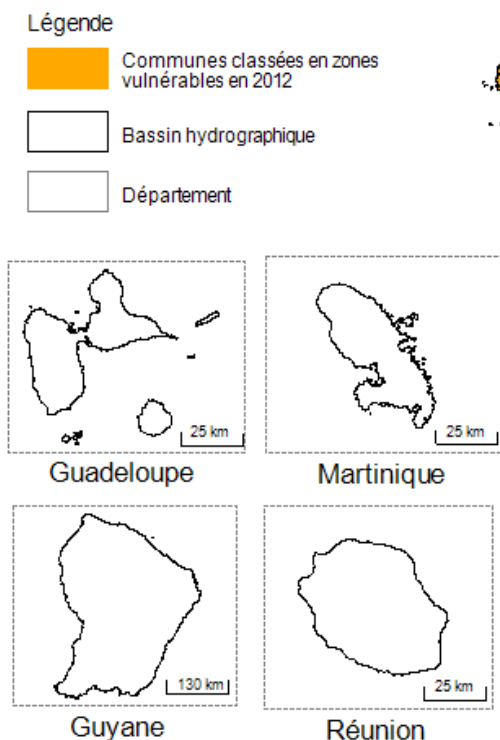
La solution souvent adoptée pour diminuer la teneur en ions nitrate des eaux consommées consiste à mélanger des eaux à teneur élevée avec des eaux à plus faible teneur afin de rester à une valeur proche de 25 mg/L (valeur guide).

En France, des zones vulnérables à la pollution par les ions nitrate ont été définies en application de la directive nitrate CE/91/676 du 12 décembre 1991. Elles sont représentées, pour 2012, sur la carte ci-dessous.

Pollution par les ions nitrate, en France

- DIRECTIVE NITRATES - 5ième délimitation

Zones vulnérables 2012



Source des données : Ministère de l'Ecologie
Date de création : Janvier 2013
Créateur : OIEau
Editeur : MEDDE

Pollution par les ions phosphates : les ions phosphate, avec l'azote, agissent comme engrais et entraînent l'eutrophisation des lacs et rivières qui se traduit par une prolifération anormale d'algues (cyanophycées). L'eau est appauvrie en O₂ dissous ce qui empêche toute autre vie animale ou végétale.

L'utilisation des phosphates dans les détergents domestiques pour textiles est interdite, en France, depuis le 1^{er} juillet 2007, mais ceux-ci continuent à être employés dans les détergents industriels pour textiles et les détergents pour lave-vaisselle.

Avant leur interdiction, la quantité utilisée, en France était de 20 000 t/an pour les détergents domestiques pour textiles, elle est du même ordre pour les détergents industriels et pour lave-vaisselle.

- Teneurs en ions phosphate dans les rivières de l'Union européenne, en 2011 : [carte de l'Agence Européenne de l'Environnement](#).

Exemple du lac Léman d'une superficie de 582,4 km², avec une profondeur moyenne de 152,7 m, un volume d'eau de 89 milliards de m³ et un temps de séjour des eaux de 11,9 ans. Il assure l'alimentation en eau potable de plus de 600 000 personnes.

- En 1960 a été créée la Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman (CIPEL)
- En 1967 a été détectée l'apparition d'algues brunes *Oscillatoria rubescens*.
- 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 89 %, en 2011. En 1986, suppression, en Suisse, des phosphates dans les lessives pour textiles ce qui a permis de réduire chaque année d'environ de moitié les apports de phosphore au lac. En France, cette interdiction date de juillet 2007.
- Évolution de la teneur en phosphore (en μg de P/L) : avant 1960 : 10, en 1979 (maximum) : 90, en 1992 : 50, en 2003 : 33, en 2013 : 20. L'objectif visé est une concentration inférieure à 15 $\mu\text{g/L}$.
- Bilan, en moyenne 2009-2011, des rejets de phosphore biodisponible dans le lac Léman, en t de P/an :

Rejets de stations d'épuration	83	Dépôts naturel	134
Rejets domestiques non raccordés ou autonomes	19	Rejets agricoles	35
Déversements de réseaux	37		

Source : CIPEL

Dans les bassins versants du lac Léman, le flux total de phosphore biodisponible issu des activités industrielles et domestiques est de 813 t de P/an, les stations d'épuration en retiennent 674 t.

Pollution par les pesticides (herbicides, insecticides et fongicides) :

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 $\mu\text{g/L}$ 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 $\mu\text{g/L}$) et de 0,5 $\mu\text{g/L}$ pour la somme de tous les pesticides. Lorsque les teneurs sont comprises entre 0,1 et 2 $\mu\text{g/L}$ par pesticide et de 0,5 à 5 $\mu\text{g/L}$ pour la somme des pesticides, des traitements spécifiques sont nécessaires et au-dessus 2 $\mu\text{g/L}$, l'eau ne permet plus la production d'eau potable sauf dérogation. En 2007-2009, en France, 516 molécules ont été recherchées dans les eaux superficielles et 533 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 en 2003, 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 2007-09, pour les eaux superficielles de France métropolitaine, les principaux pesticides dégradant la qualité des eaux sont principalement des herbicides avec en ordre décroissant : l'AMPA (acide aminométhylphosphonique, métabolite du glyphosate), l'atrazine déséthyl (métabolite de l'atrazine), le glyphosate, le diuron, le Naled (insecticide organophosphoré interdit depuis 2007), l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique, l'isoproturon, le chlortoluron... Pour les

eaux souterraines : l'atrazine déséthyl (métabolite de l'atrazine), l'atrazine, le déisopropyl-déséthyl-atrazine (métabolite de l'atrazine)...

Dans les cours d'eau des Départements d'Outre-Mer, les insecticides arrivent en tête, avec le chlordécone (interdit depuis 1993), l'hydrochlordécone (métabolite du chlordécone), le lindane..

En 2007-09, en France, 91 % des points de mesures ont montré la présence d'au moins un pesticide dans les eaux superficielles et 70 % pour les eaux souterraines.

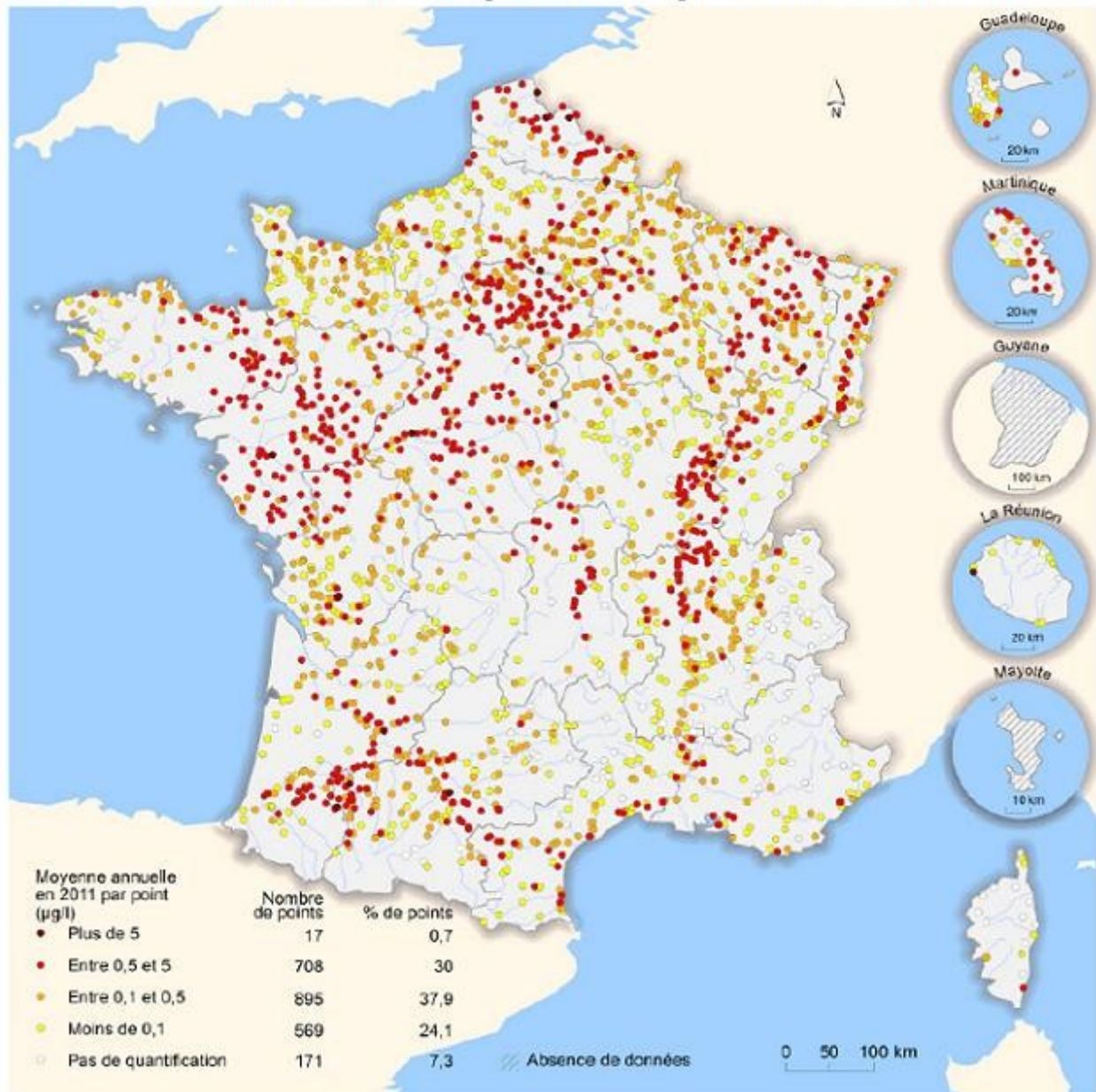
Répartition des concentrations (c) en pesticides en fonction des teneurs, en µg/L, en 2007-09, en France :

	$c < 0,1$	$0,1 < c < 0,5$	$0,5 < c < 5$	$c > 5$
Cours d'eau de métropole	47,8 %	31 %	20,5 %	0,9 %
Eaux souterraines de métropole	73,2 %	22,6 %	4,2 %	0,05 %
Plans d'eau de métropole	62,8 %	26,1 %	11,1 %	0 %
Cours d'eau des DOM	73 %	9,5 %	16,8 %	0,7 %
Eaux souterraines des DOM	64,8 %	21,3 %	10,6 %	3,3 %

Source : Commissariat Général au Développement Durable, Observation et Statistiques, n°54 , octobre 2011.

- Teneurs totales en pesticides, en France, dans les cours d'eau, en moyenne sur 2007-2009, document du Commissariat Général au Développement Durable, Observation et Statistiques, n°54 , octobre 2011.

Concentration totale moyenne en pesticides en 2011



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, à 94,2 % en octobre 2002 et 98 % en 2009.

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, en 2013, la production d'eaux usées correspond à 76 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 2008, 1 million de t de matière sèche qui à 47 % a été valorisée en agriculture, 26 % compostée, 19 % incinérée et 8 % placée en décharge. En 2013, le réseau collectif d'eaux usées et pluviales qui couvre 392 000 km a traité 5,8 milliards de m³ d'eaux usées dans **19 750 stations avec une capacité de 99 millions d'équivalents habitants (Eh)**.

- [Carte de situation des stations françaises de traitement des eaux usées, fin 2013](#).

- En France, en 2008, 82 % de la population est reliée à un réseau collectif, 17 % un réseau individuel et 1 % déversent directement leurs eaux usées dans la nature.

- Dans le monde, par an, on estime que 450 km³ 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 NH₄⁺, qui peuvent être liés chimiquement, par exemple dans les protéines, ainsi que sous forme d'ions NO₃⁻. Une première phase de [nitrification](#) transforme NH₄⁺ en NO₃⁻ à l'aide de bactéries nitrifiantes, en présence de [O₂](#). Une deuxième phase de dénitrification est effectuée en absence de O₂. 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 O₂ 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 O₂. 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 O₂, présence de NO₃⁻), 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.