

II. 1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de faire le point sur les différents facteurs influant sur le comportement des polluants dans les sous sols (ZNS), et notamment ceux qui contrôlent le transfert des polluants vers les ressources en eau souterraine. En effet, au-delà des modèles de transfert hydrogéologiques, différentes propriétés du sol, des milieux traversés et des polluants eux mêmes, jouent un rôle critique sur la prévision du transfert des polluants.

Ce chapitre traite des principaux facteurs influençant le comportement des contaminants. Les caractéristiques physico-chimiques susceptibles d'influer sur le comportement des contaminants sont définies. Différentes familles de substances présentant des caractéristiques analogues sont décrites, et l'on en déduit des comportements types par famille. Ainsi que Les facteurs et processus qui influencent l'évolution de la pollution : facteurs liés à la nature du sol et du sous-sol (milieux traversés), caractéristiques hydrauliques et physicochimiques du milieu, processus au niveau du terme source, au niveau de l'interface source-vecteur (solide-eau), au niveau du vecteur de transport, affectant le transport proprement dit ou affectant la chimie de l'eau lors du transport.

II.2. Pollution des eaux

II.2.1. Généralité

La pollution comme étant toute modification défavorable des propriétés physiques, chimiques ou biologiques, ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau de façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse d'utilisée.

La pollution de l'eau est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels. Elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques, ainsi que la flore et la faune terrestre. L'ensemble des éléments perturbateurs parviennent au milieu naturel de deux façons différentes : par rejets bien localisés (villes et industries) à l'extrémité d'un réseau d'égout ou par des rejets diffus (lessivage des sols agricoles, des aires d'infiltration dans les élevages, décharges, ...). L'introduction dans le sous-sol provoque une pollution des eaux souterraines qui est caractérisée par une propagation lente et durable (une nappe est contaminée pour plusieurs dizaines d'années) et une grande difficulté de résorption ou de traitement.

II.2.2. Type de pollution (classification selon la répartition géographique)

On a deux types de pollution selon la répartition géographique : pollution diffuse et ponctuelle.

II.2.2.1. Pollution ponctuelle

Une pollution ponctuelle est une pollution provenant d'un site facile à localiser, et peut être par exemple le point de rejet d'un effluent ou une zone contaminée. C'est une source fixe et généralement d'émission polluantes importantes.

II.2.2.2. Pollution diffuse : Sont des pollutions dues non pas à des rejets ponctuels et identifiables, mais à des rejets issus de toute la surface d'un territoire et transmis à

l'environnement de façon indirecte. Les sources diffuses se caractérisent par des apports de substances émises par des sources mobiles, des sources couvrant de larges étendues ou un grand nombre de sources de pollution d'émission faible. Les pollutions par des sources ponctuelles sont souvent plus faciles à traiter (en installant par exemple un filtre au niveau du tuyau par lequel les produits polluants sont rejetés dans le milieu naturel), alors que les émissions polluantes provenant de sources diffuses sont difficiles à recenser, à mesurer et donc à contrôler.

II.2.3. Source de pollution

C'est une classification selon l'origine de la pollution

II.2.3.1. Pollution naturelle

Cependant, et grâce notamment aux développements technologiques et analytiques qui ont permis des mesures de plus en plus fines pour de nombreux éléments polluants, il a été montré que certains polluants dans les eaux et les sols peuvent également avoir une origine naturelle. On retrouve le plus souvent ces polluants dits géogéniques dans des zones où ils sont naturellement concentrés. Cette accumulation naturelle résulte de processus géologiques. Par exemple, le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles en métaux lourds (exp : arsenic...). Des irrptions volcaniques, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures... peuvent aussi être à l'origine de pollutions.

II.2.3.2. Pollution atmosphérique

En ce qui concerne l'eau de pluie, bien que longtemps considérée comme propre, l'eau d'origine pluviale est en fait relativement polluée. L'origine de cette pollution peut provenir des gaz ou solides en suspension rejetés dans l'atmosphère par les véhicules, les usines ou les centrales thermiques. Ces polluants (oxyde de carbone, dioxyde de soufre, poussière...) sont envoyés vers le sol à la moindre averse. Lorsqu'elle ruisselle, l'eau de pluie a un second effet nocif: elle transporte les hydrocarbures, les papiers, les plastiques et les débris végétaux accumulés sur la terre et les toitures. De plus, cette pollution est déversée sur de courtes périodes et peut atteindre des valeurs très élevées ce qui provoque un effet de choc sur le milieu biologique.

II.2.3.3. Pollution urbaine

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité. Les eaux résiduaires urbaines peuvent être considérées comme la plus importante industrie en termes de masse de matériaux bruts à traiter ; Dans la communauté européenne il est produit quotidiennement un volume proche à 40 millions de m³ d'eaux usées. Le « tout -à- l'égout » est une expression significative ; elle

exprime cette diversité. On trouve les excréments, les restes d'aliments, les déversements d'abattoirs, les déversements hospitaliers, les lessives, les détergents, les insecticides, les hydrocarbures, les déchets de la petite industrie et divers produits toxiques.

II.2.3.4. Pollution industrielle

Le développement accéléré des techniques industrielles modernes a engendré une pollution très importante. En effet, celle-ci est devenue plus massive, plus variée et plus insidieuse. Devant l'extrême diversité de ces rejets, une investigation propre à chaque type d'industrie est nécessaire : il est donc primordial d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits. Il est évident que les effluents déversés sans traitement approprié entraînent des changements indésirables dans le milieu récepteur et des pollutions très néfastes.

II.2.3.5. Pollution agricole

Ce type de pollution s'intensifie depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins). Néanmoins, le problème de la pollution agricole est un peu différent, dans la mesure où cette source de pollution n'arrive qu'indirectement à la station. C'est le cas en particulier des engrais et pesticides qui passent d'abord à travers les milieux naturels (nappes phréatiques, rivières...). C'est aussi le cas des déchets solides issus des industries agro-alimentaires et des concentrations des élevages qui entraînent un excédent de déjections animales (lisiers de porc, fientes des volailles...) par rapport à la capacité d'absorption des terres agricoles ; celles-ci, sous l'effet du ruissellement de l'eau et de l'infiltration dans le sous-sol, enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent aussi une source de pollution bactériologique.

II.2.4. Principaux polluants des eaux

II.2.4.1. Pollution selon le type de polluant

Il existe plusieurs manières de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois catégories : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique.

II.2.4.1.1. Pollution physique

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique, il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variées dans l'eau; qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantées (plus lourdes que l'eau elle-même), les matières flottables (plus légères que l'eau elle-même) et les matières non séparables (de même densité que l'eau). La pollution physique désigne autre type de pollution, telle que la pollution thermique due à la température élevée qui cause une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz.

II.2.4.1.2. Pollution chimique

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux, par exemple: les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autres sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses. Ainsi résulte de la pollution radioactive où la radioactivité des eaux naturelles est peut être d'origine naturelle ou artificielle (énergie nucléaire). Les polluants chimiques sont classés à l'heure actuelle en cinq catégories: Les substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les produits apparentés, les détergents et les colorants et autres éléments toxiques.

II.2.4.1.3. Pollution biologique

Un grand nombre de micro-organismes peut proliférer dans l'eau qui sert l'habitat naturel ou comme une simple moyenne de transport pour ces microorganismes. L'importance de la pollution de l'eau dépend également des conditions d'hygiène, des populations, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont: les bactéries, les virus, les parasites et les champignons, on parle ainsi de la pollution bactérienne, virale ou parasitaire.

II.2.4.2. Principaux polluants

II.2.4.2.1. Matières en suspensions

Elles désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Les MES confèrent à l'eau un aspect trouble au fur et à mesure que les sédiments se déposent au fond ; elles diminuent la luminosité dans l'eau, donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu, et les espèces animales en souffrent. Elles peuvent rendre les eaux très opaques et provoquer aussi une eutrophisation.

II.2.4.2.2. Sels minéraux

Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels. Cela peut nuire à la biologie aquatique.

II.2.4.2.3. Matières organiques

Ce sont tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre et le lactosérum des industries agroalimentaires ainsi que les hydrocarbures. A l'inverse de MES, ces matières constituent une nourriture de choix pour les micro-organismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les micro-organismes se mettent alors à vider le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique. Lorsque le milieu se retrouve totalement vidé de son oxygène, les micro-organismes vont le chercher dans les sulfates dissous (SO_4^{2-}), qu'elles réduisent en sulfure, qui se dégage sous forme de sulfure d'hydrogène en engendrant une odeur d'œufs pourris. Cette odeur nauséabonde est caractéristique d'une eau très polluée.

II.2.4.2.4. Métaux lourds (ETM)

Les éléments possédant une masse volumique supérieure ou égale à 5 g.cm^{-3} . Les métaux lourds constituent des polluants qui ne se dégradent pas dans l'environnement. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et peuvent contaminer l'ensemble d'une chaîne alimentaire. Certains métaux lourds sont particulièrement toxiques comme le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), le nickel (Ni), le chrome (Cr), et à un degré moindre le cuivre (Cu) et le zinc (Zn). Le fer (Fe) et l'aluminium (Al) le sont moins.

II.2.4.2.5 .Pesticides

Les pesticides constituent un problème majeur pour l'environnement. On inclut dans les pesticides toutes les substances avec lesquelles on combat les animaux et végétaux nuisibles à l'Homme et aux êtres vivants supérieurs. Sur le plan chimique, on distingue plusieurs groupes de pesticides qui sont caractérisés par des persistances différentes. Les plus persistants sont les hydrocarbures chlorés comme le DDT (**D**ichloro **D**iphényl **T**richloroéthane) qui s'accumule dans les tissus graisseux.

II.2.4.2.6. Matières fertilisante

La présence d'azote et de phosphore en quantité excessive dans les cours d'eau entraîne la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et surtout consomment l'oxygène dissous dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est produite par les eaux usées urbaines, certains effluents industriels, et le ruissellement des eaux chargées d'engrais apportés en excès aux cultures. Et ainsi la pollution biologique l'un des principaux polluants des eaux.

II.3. Conséquences de la pollution

- Les matières organiques solubles abaissent la teneur en Oxygène dans les cours d'eau, ce qui conduit à la réduction et à la mort de la faune aquatique.
- Les matières en suspension, s'accumulent au fond des cours d'eau, lacs et étangs et causent l'augmentation de la turbidité.
- Les acides sont toxiques à la vie aquatique et détériorent les réseaux d'égaux.
- Les huiles et les graisses flottants conduisent au colmatage des conduites et donnent un aspect esthétique indésirable.
- Les matières toxiques et métaux lourds sont toxiques à la vie aquatique.
- Le phosphore et l'azote conduit à l'eutrophisation des cours d'eau.
- Les coliformes fécaux et pathogènes participent à la contamination bactériologique des cours d'eau.

II. 4. Principaux facteurs influençant le comportement des contaminants

II. 4. 1. Caractéristiques physicochimiques des contaminants

Les contaminants sont des substances chimiques organiques (hydrocarbures, solvants, phytosanitaires...) ou inorganiques (métaux lourds, nitrates, ...), à l'exclusion des

contaminants biologique. Les tableaux 1 et 2 récapitulent les principales familles de produits considérées comme polluants.

II. 4. 2. Caractéristiques gérant le comportement des contaminants

II. 4. 2. 1. Solubilité dans l'eau ou hydrosolubilité

La solubilité définit la concentration d'une substance se dissolvant dans l'eau lorsque l'eau et la substance sont en équilibre. Cette propriété indique la tendance à la mobilisation de la substance par lessivage lors d'épisodes pluvieux ou par ruissellement ou inondation. On notera qu'une solubilité faible peut être significative en termes de risque lorsqu'elle affecte un composé qui est toxique à faible dose. La solubilité forte constitue un facteur aggravant des pollutions (dispersion accélérée dans l'eau, biodisponibilité fortement accrue). Par contre, les polluants très solubles sont en général plus facilement biodégradables.

II. 4. 2. 2. Densité

La densité d'un liquide affecte généralement peu son infiltration dans la tranche de sol située au dessus de la nappe. Par contre, elle contrôle fortement son comportement dans la zone saturée. Si le liquide est immiscible, le contaminant s'accumulera de préférence en surface de la nappe si sa densité est inférieure à 1, et au plancher de celle-ci si elle est supérieure à 1. En principe, on ne tient pas compte de la densité pour un polluant soluble dans l'eau ($d = 1$). Toutefois, il faut tenir compte de la densité des saumures (NaCl , CaCl_2), éventuellement chargées en polluants organiques et/ou métaux lourds, car leur densité est supérieure à l'eau et l'ensemble aura tendance à migrer vers le fond de la nappe.

II. 4. 2. 3. Stabilité

La dégradation d'un polluant est souvent représentée, en première approximation, par une réaction cinétique de premier ordre. La vitesse de dégradation est caractérisée par un temps de demi-vie. Ce temps représente le temps durant lequel une fraction représentant 50 % de la quantité initiale de substance est dégradée. Plus ce temps est important, plus le composé montre des potentialités de persistance dans l'environnement.

II. 4. 3. Comportement des polluants par famille

II. 4. 3. 1. Métaux et métalloïdes lourds

L'expression « métal lourd » désigne pour les chimistes des métaux de densité supérieure à 5 g/cm^3 et qui forment des sulfures insolubles. Le cadmium, le manganèse, le cobalt, le chrome, le cuivre, le plomb, le mercure, le nickel et le zinc sont les métaux lourds les plus souvent rencontrés dans les sols.

a) Origine

Rappelons tout d'abord que les métaux et métalloïdes lourds sont présents de façon naturelle dans les sols. Ils proviennent en grande partie de l'altération de la roche mère du sous-sol. Toutefois, les concentrations les plus importantes de métaux lourds dans les sols sont liées à l'activité humaine : stockage de déchets industriels et urbains (mines et fonderies de métaux non ferreux, décharges publiques) ; pratiques agricoles (pratique de la fertilisation à l'aide de

compost urbain, de déjections animales ou de boues de station d'épuration) ; pollutions dues à des retombées atmosphériques (essence au plomb, poussières des industries métallurgiques, incinération des ordures ménagères...)

b) Principales propriétés physico-chimiques

La solubilité des métaux lourds dépend de l'élément concerné, du chimisme de la phase aqueuse (pH, potentiel rédox, concentration en ligands) et des phases solides environnantes, qui interagissent avec la composition de cette phase. Le climat chimique contrôle la spéciation de l'élément, c'est-à-dire sa répartition entre différents états de valence. La spéciation est un paramètre essentiel de la solubilité.

II. 4. 3. 2. Autres contaminants inorganiques

Certains composés inorganiques sont susceptibles d'être considérés comme des contaminants, dans la mesure où leur présence dans l'eau souterraine est susceptible de la rendre impropre à la consommation humaine. Citons :

- les nitrates et nitrites ;
- les fluorures ;
- les cyanures

a) Origine :

- Les nitrates et nitrites proviennent généralement de l'industrie des engrais ou de leur épandage agricole.
- Les fluorures se rencontrent dans différentes industries chimiques, et dans la métallurgie de l'aluminium.
- Les cyanures se trouvent sur certains sites industriels où ils sont des sous-produits indésirables (cokéfaction, usines à gaz, carbochimie) ; eaux de lavage des hauts fourneaux, pétrochimie (plastiques, pesticides, teintures). Ils se trouvent également là où ils sont utilisés comme réactifs ou comme base de synthèse (traitement de surfaces, galvanoplastie, traitement des minerais d'or et d'argent).

b) Principales propriétés physico-chimiques :

Les nitrates, nitrites et cyanures sont largement solubles dans l'eau dans les conditions physicochimiques usuelles. Lorsqu'ils sont exposés sous forme solide au ruissellement, ils sont peu à peu dissous et entraînés par les eaux.

- Les nitrates et nitrites sont stables en tant que tels, et ne se dégradent que sous l'effet de réactifs oxydoréducteurs ou d'actions bactériennes.
- Les cyanures se dégradent rapidement sous l'effet de l'acidité du sol.

PARAMÈTRES PHYSIQUES (usuels)

TURBIDITÉ (Transparence) C'est un paramètre, qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, micro-organismes,...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi pollutions qui troublent l'eau. Avec un appareil (turbidimètre) on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur.. En France on mesure la turbidité par la méthode normalisée NTU (Nephelometric Turbidity Unit) par spectrométrie, c'est à dire mesure de l'absorption de la lumière par l'eau.

NTU	<	5	=>	eau	claire
NTU	<	30	=>	eau	légèrement trouble
NTU > 50 => Eau trouble.					

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse).

La turbidité de l'eau peut aussi être mesurée en cm par une autre méthode beaucoup plus simple avec un disque de Secchi. (prononcez séki) C'est un disque de 20cm de diamètres lesté qui est descendu horizontalement au bout d'une cordelette (qui peut être graduée en cm) dans l'eau d'un lac, d'une rivière, d'un bassin de station d'épuration. Les quatre quarts du disque sont noirs et blancs pour que celui-ci soit bien visible. La longueur de cordelette entre la surface de l'eau et le niveau ou la profondeur ou le disque de Secchi devient invisible (On ne distingue plus les zones blanches des noires) donne la mesure arrondi au 10cm proche, par exemple 1,8 (pour 1,78m).

M E S On appelle matières en suspension les très fines particules en suspension (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluant, micro-organismes,...) qui donnent un aspect trouble à l'eau, (turbidité) est s'opposent à la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique. En trop grande quantité elles constituent donc une pollution solide des eaux.

La quantité de matières en suspension totale (MEST) se mesure par filtration d'un litre d'eau et pesage des résidus séchés. Le résultat s'exprime en mg/l. (On estime qu'un habitant rejette environ 90 grammes par jour de MES dans ses eaux usées).

Les matières décantables : Leur mesure donne la quantité de solides non dissous présents dans l'eau.

Pendant 30 minutes on laisse un échantillon d'eau au repos déposer dans un cône d'Imhoff.

Ceci permet de mesurer la quantité de sédiments en mg par litre.

,

TEMPÉRATURE La température de l'eau influe sur beaucoup d'autres paramètres. C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous (dioxygène) indispensable à la vie aquatique en premier lieu à la respiration des poissons. En effet plus la température de l'eau s'élève, plus sa quantité maximum d'oxygène dissous diminue.

Une température trop élevée des eaux d'une rivière peut donc aboutir à des situations dramatiques de manque d'oxygène dissous pouvant entraîner : la disparition de certaines espèces, la réduction de l'auto épuration, l'accumulation de dépôts nauséabonds (odeurs), la croissance accélérée des végétaux (dont les algues).

Les poissons ne peuvent survivre à des températures trop élevées. (Mortalité totale : truites de rivières à 27°C, truites arc en ciel à 29°C, brochets à 28°C, perches et tanches à 30°C, gardons à 31°C, carpes à 38°C).

Tolérance thermique de la truite.

Le seuil de 25°C correspond à une mortalité létale de 50% des truites (acclimatées à une eau à 20°C suite à un échauffement brutal de 5°C). (Les paramètres de la qualité des eaux, Brémond R., Perrodon C, Min. de l'env., 1979 ; p. 21).

A partir de 19°C la survie des truites commence à être menacée. La température idéale pour les truites (preferendum thermique) voisine autour de 15°C (dans une plage idéale sans perturbation entre 7 à 17°C).

La pollution thermique peut avoir pour origine des rejets d'eaux chaudes urbains ou industriels dans le cours d'eau. Dans les petits cours d'eau, elle peut avoir aussi pour origine les déversoirs d'étangs installés sur leur rive et qui par leur grande surface jouent un rôle de « pompe à chaleur »

En période estivale, par forte température atmosphérique, le réchauffement brutal par le soleil des eaux en mauvais état d'une rivière peu oxygénée peut aboutir à un choc thermique entraînant une mortalité piscicole spectaculaire. Les bordures boisées des cours d'eau (ripisylves) limitent l'échauffement des eaux, d'où un intérêt supplémentaire de les conserver.

La température de l'eau dans l'environnement se mesure en général avec un appareil multiparamètres (T, pH, conductivité) dont il suffit de plonger l'extrémité.

> On consultera utilement plus bas dans cette page l'exposé sur le paramètre "OXYGÈNE DISSOUS"

*

A savoir :

En raison des variations de certains paramètres de l'eau avec la température (oxygène dissous, conductivité,..) les analyses normalisées sont effectuées sur des échantillons d'eau à 20° C. Pour les analyses de terrain, il faut donc tenir compte de la température de l'eau, et faire ensuite la conversion (tables). Certains appareils de mesure de terrain font d'office cette conversion en fonction de la température de l'eau.

Une thèse à consulter sur ce sujet : « Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen, L. Tissot, Y. Souchon, 2011 » <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00602627/document>

Conductivité

La mesure en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou mS/cm (micro ou milli Siemens par cm) de la conductivité électrique d'une eau s'effectue à l'aide d'un conductimètre. Celui-ci mesure le passage de l'électricité entre deux électrodes séparées par un cube de $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ d'eau. La mesure s'effectue à 25°C ou avec un conductimètre avec compensateur automatique de température.

La conductivité d'une eau est l'inverse de sa résistivité électrique en $\mu\text{ohm}/\text{cm}$ ou mohm/cm (micro ou milli ohm/cm par cm).

Si l'eau très pure est un isolant qui oppose une grande résistance au passage de l'électricité, il n'en est plus de même lorsqu'elle est chargée en sels minéraux d'origine naturelle (calcium, magnésium, sodium, potassium). A cette minéralisation naturelle liée à la nature des sols s'ajoutent aussi ...les polluants.

La conductivité permet d'apprécier globalement l'ensemble des produits en solution dans l'eau.

La mesure de la conductivité est un moyen assez simple de détection d'une anomalie indiquant la présence probable d'une pollution, par comparaison de la valeur mesurée avec celle que l'on était en droit d'attendre (par exemple la conductivité locale moyenne d'un cours d'eau). Elle peut permettre de localiser un apport de pollution.

Les charges importantes de pollution organique augmentent la conductivité.

Échelle de conductivités naturelles

60 à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$: Eau de pluie,

50 à 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$: Eaux peu minéralisées (sols schisteux, volcaniques, granitiques)

550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ environ : Eau du robinet à Besançon (région calcaire),

300 à 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Eaux minéralisées (sols calcaires, marneux)

700 à 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Eaux fortement minéralisées (sols gypseux, eaux salées)

Un conductimètre est l'appareil de base de toute personne qui s'intéresse à la qualité des cours d'eau et aux rejets polluants.

La conductivité de l'eau dans l'environnement se mesure en général avec un appareil multiparamètres (T, pH, conductivité) dont il suffit de plonger l'extrémité.

(prix environ 120 € en 2019 pour un conductimètre de poche Hanna HI 98312).

Les MVS

Ce paramètre est parfois utilisé. Les matières volatiles en suspension sont celles qui sont susceptibles d'être volatilisées par test de laboratoire à une température de 550°C . Les MVS sont généralement assimilées aux matières organiques en suspension. Les MVS se mesurent en mg/l .

Paramètres chimiques

pH Ce paramètre, qui se mesure sur le terrain avec des bandelettes test ou un appareil (pH-mètre), donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. Le pH (potentiel hydrogène), est le reflet de la concentration d'une eau en ions H^+ : $pH = - \log [H^+]$.

L'eau des cours d'eaux avoisine en général la neutralité représentée par un pH de 7.

Le pH doit être compris entre 6 et 8 pour permettre la vie aquatique.

Dans chaque milieu naturel les eaux ont une valeur de pH propre en fonction du sous-sol de leur bassin versant :

> 7 en régions calcaires où les eaux sont basiques car fortement minéralisées, < 7 en région de sous-sol primaire (Vosges, ..) ou eaux sont acides.

(Exemple de valeur : eau du robinet à Besançon, pH 7,70)

Une mesure de pH, différente de la valeur habituelle du cours d'eau, peut être l'indice d'une arrivée de pollution , en générale industrielle, en amont du point de mesure.

Sa valeur, le plus souvent mesurée à l'aide d'un pHmètre ou de "papier pH", indique si l'eau est acide (de 1 à <7), neutre (7), ou basique (de > 7 à 14) ; On dit aussi alcaline.

Le pH varie légèrement selon la température. L'analyse doit donc s'effectuer à 25° C ou avec un pHmètre avec compensateur automatique de température.

La conductivité de l'eau dans l'environnement se mesure en général avec un appareil multiparamètres (T, pH, conductivité) dont il suffit de plonger l'extrémité.

Dureté

Une eau est dite douce ou dure selon sa charge en calcium et en magnésium.

La somme des deux éléments constitue le Titre Hydrotimétrique qui s'exprime en France en degrés français (symbole °f ou °fH) sur une échelle de 0 à 40. (1°f = 4mg/l de calcium ou 2,4mg/l de magnésium).

- Une eau sera dite dure si son TH est > à 15 °f. Une eau trop dure a pour inconvénients d'entartrer les canalisation et un usage plus important de détergents pour le lavage.

Une eau sera dite douce si son TH est < à 15 °f. Une eau trop douce sera dite « agressive » parce que corrosive pour les conduites.

Principaux paramètres chimiques

L'oxygène dissous

La présence d'oxygène dans l'eau est indispensable à la respiration des êtres vivants aérobies aquatiques. En dessous d'un certain seuil de concentration en oxygène c'est l'asphyxie des poissons. (7 mg/l pour les salmonidés ; 3 mg/l pour les carpes) L'oxygène de l'eau permet également le processus d'oxydation des matières organiques (autoépuration), mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène.

L'oxygénation de l'eau des cours d'eau provient d'abord du contact de sa surface avec l'atmosphère. Elle est favorisée par les remous, les turbulences, les chutes et surtout par une

basse température de l'eau. Car plus l'eau s'échauffe, moins l'oxygène y est soluble. La pression atmosphérique influe aussi modestement.

Valeurs de saturation en oxygène de l'eau en conditions ordinaires (pression atmosphérique 760 mm de Hg) :

- à 5°C, maximum d'oxygène dissous : 12,3mg/l. ;
- à 10°C : 10,9 mg/l. ;
- à 15°C : 9,7mg/l. ;
- à 20°C : 8,8mg/l. ;
- à 25°C : 8,1 mg/l.

Déficit en oxygène dissous. C'est le cas, lorsque la concentration en oxygène dissous mesurée est inférieure à la valeur de saturation. Ce peut être le cas par exemple, la nuit en été puisque les végétaux consomment de l'oxygène, et s'il y a trop de végétaux dans peu d'eau (sécheresse) ; la faune aquatique peut être alors être menacée d'asphyxie (anoxie) surtout en fin de nuit lorsque son déficit en O₂ atteint son maximum. En dessous de 6 mg/l. la faune aquatique est en danger, en premier lieux les salmonidés.

Sursaturation en oxygène dissous. Il y a sursaturation quand une oxygénation supplémentaire est apportée, par exemple le jour par beaucoup de plantes vertes aquatiques qui produisent de l'oxygène à la lumière du soleil.

La teneur en oxygène des eaux d'une rivière peut donc varier en cours de journée de plusieurs mg/l suivant la température et la présence ou non de végétaux aquatiques (jusqu'aux environs de 20mg/l en cas d'eutrophisation).

La teneur en oxygène des eaux d'une rivière varie aussi selon la profondeur : elle peut être très faible en eau profonde alors qu'elle peut approcher le taux de saturation près de la surface.

Pour mesurer l'oxygène dissous d'un cours d'eau, il est possible d'utiliser un oxymètre électrochimique, matériel disposant d'une sonde spéciale.

Il existe aussi des trousse colorimétriques de terrain utilisant des réactifs chimiques (méthode de Winkler).

C'est un paramètre très important pour la vie dans la rivière (respiration des poissons).

A à 15°C un litre d'eau peut avoir saturation en oxygène maximum de 9,7mg/l. de O₂

A 25°C, un litre d'eau peut concentrer jusqu'à 8,25 mg/l. de O₂ et à 29°C , 7,5 mg/l. de O₂.

> On consultera utilement plus haut dans cette page l'exposé sur le paramètre "TEMPÉRATURE"

CHLORURES (sels).

Ils ne sont pas nocifs, mais constituent un important indicateur d'arrivée de pollution. Ils ne sont pas éliminés par les stations d'épuration. Dans la nature ils sont souvent indicateurs d'arrivée d'effluents urbains. A titre indicatif, dans l'eau du robinet le maximum admis est de

250 mg/l. de chlorures. La concentration naturelle de l'eau en chlorure est fonction de la géologie des sols en générale inférieure à 50 mg/l.

Matières Organiques

la Matière Organique (MO) contenue dans les eaux est la partie non encore décomposée de la pollution organique (matières vivantes mortes ou déjections de organismes vivants).

Elles sont donc naturellement présentes dans l'eau, mais à faible concentration. S'il y en a plus, il y a pollution provenant de rejets d'eaux usées domestiques mal épurés, d'effluents agricoles, etc.

La MO peut se rencontrer dans l'eau soit dissoute, soit sous forme particulaire visible.

La présence de dépôts de matière organique visibles dans le lit d'une rivière est inacceptable et dénonce bien souvent la proximité d'un rejet brut ou un très mauvais état de la rivière. (De plus la dégradation de la MO consomme et réduit l'oxygène dissoute de l'eau nécessaire à la vie aquatique).

La charge de pollution organique est quantifiable par des techniques normalisées : la DCO, la DBO5.

Le cycle de l'azote dans l'eau.

La MO constituée en grande partie d'azote organique est en final décomposée par les bactéries principalement en ammonium, puis en nitrites et enfin en nitrates. Pour commentaires plus complets de ces 3 paramètres (évoqués que brièvement un peu plus bas. La MO est aussi constituée de carbone. .

Pour quantifier les matières organiques présentes dans l'eau (il s'agit de pollution s'il y a excès), il n'y a pas de mesures directes mais des méthodes pour quantifier par des techniques normalisées l'oxygène nécessaire à leur décomposition :

- Méthode de la DBO5 (Demande Biologique en Oxygène)

Cette technique permet de mesurer en laboratoire sur 5 jours (à 20° dans l'obscurité), la quantité d'oxygène consommée par le processus naturel de décomposition de la matière organique décomposable présente dans un litre d'eau. Le résultat est donné en mg/L. La DBO5 ou Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours, représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder (dégrader) l'ensemble de la matière organique présente dans un échantillon d'eau maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours.

[Pour mesurer la DBO5, on réalise une première mesure de la concentration en dioxygène dans l'échantillon d'eau. On répète cette mesure 5 jours plus tard. La DBO5 représente la différence entre les deux concentrations mesurées].

La mesure de la DBO5 est un paramètre prescrit pour la surveillance des rejets et de fonctionnement des stations d'épuration (cf. : [arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement...](#)) mais elle est peu précise pour qualifier la bonne qualité d'une eau naturelle.

La DBO5 d'une eau de surface non polluée, varie normalement de 2 à 20 mg/l. Au delà, on peut suspecter une pollution.

A noter que la DBO exprimée en kg/j. dans certains textes administratifs permet de désigner des quantités de pollution organique rejetées que l'on peut aussi estimer en EH (équivalents habitants) : Un habitant produit en moyenne une charge de pollution équivalente à 60 grammes de DBO5 pour une journée. La directive européenne du 21 mai 1991 et l'article R2224-6 du code général des collectivités territoriale définissent d'ailleurs l'équivalent-habitant (EH) comme la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique d'oxygène en cinq jours (DBO5) de 60 grammes d'oxygène par jour.

. 1,2 kg de DBO5/j. (c-à-d rejetée par jour) correspond à une pollution de 20 EH

. 12 kg de DBO5/j. correspond à une pollution de 200 EH,

. 120 kg de DBO5/j. correspondant à la pollution de 2000 EH,

. 600 kg de DBO5/j. correspondant à la pollution de 10000 EH,

- **Méthode de la DCO** (Demande Chimique en Oxygène)

Contrairement à la DBO5, qui ne prend en compte que les matières organiques biodégradables, la DCO est une mesure globale des matières organiques et de certains sels minéraux oxydables (pollution organique totale) présents dans l'eau.

Cette technique mesure en laboratoire la quantité d'oxygène consommée par l'oxydation chimique (à l'aide d'un oxydant et à chaud, pendant 2 heures) des matières organiques ou minérales présentes dans l'eau.

Il existe des systèmes permettant d'effectuer des analyses sommaires rapides de la DCO. Le résultat est donné en mg/L. de .

Définition : La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité consommée par les matières oxydantes présentes dans l'eau quelles que soit leur origine organique ou minérale.

La mesure de la DCO est surtout utilisées pour la surveillance des eaux usées urbaines et industrielles.

Le rapport DCO / DBO5 donne une indication sur l'origine de la pollution organique. Ainsi exemples de valeurs :

- une eau résiduaire brute : $2500 / 1000 = 2,5$

- une eau épurée : $450 : 40 = 11$

Plus il se rapproche de 1, plus le rapport DCO / DBO5, indique la biodégradabilité d'un rejet d'eaux usées :

- de 1,5 à 2 : effluents d'industries agroalimentaires (meilleure biodégradabilité).

- de 2 à 3 : effluent urbain domestique.

>3 : effluent plus ou moins difficilement biodégradable (industrie).

Pour quantifier la matière organique dans l'eau on peut aussi à l'aide d'analyses mesurer :

Le COT c'est-à-dire la concentration en mg/l. de carbone organique total dissous dans l'eau. On parle aussi parfois de COD, carbone organique dissous. Pour une eau de surface, La concentration du COT d'une eau de surface varie de 2 à 10 mg/l et de 0,5 à 1 mg/l. pour une eau souterraine. (Contrairement aux analyses précises de DBO5, les mesures de COD n'exigent pas des réactifs contenant du mercure, pour masquer le chlorure présent dans les eaux).

Ammonium et Ammoniac (NH₃).

Répartition NH₄ / NH₃ en fonction du pH et de la température. (Clic pour agrandir).

L'azote ammoniacal est souvent le principal indicateur chimique de pollution directe d'une eau de rivière à l'aval d'un rejet polluant (plus encore en aval elle se transforme en nitrites puis en nitrates).

(On utilise souvent a tort le terme "ammoniaque" pour ces deux formes. C'est un produit industriel contenant de l'ammoniac dissous dans de l'eau).

L'azote ammoniacal provient de la décomposition des chaînes carbonées constituant les matières organique par les bactéries de type aérobies majoritairement (bacillus, bacterium). Cette dégradation consomme de l'oxygène et libère également du CO₂ dans les eaux.

L'azote ammoniacal provient aussi de l'urée rejetée par les animaux. (Par exemple, une pollution au purin entraîne une présence élevée d'ammonium dans l'eau polluée).

On peut trouver des traces d'ammoniaque dans les eaux de pluie. Elles sont liées aux retombées liées à sa volatilisation (par exemple lors d'épandage agricoles)

La forme AMMONIUM n'est pas toxique. Mais dans les eaux à pH supérieur à 7,5 une fraction peut être transformée en AMMONIAQUE (gaz AMMONIAC en suspension dans l'eau et toxique pour les poissons.

Nb : Heureusement dans les régions calcaires, le pH des eaux est rarement > 7,5.

Comme le montre le graphique ci-contre, la répartition ammonium/ammoniaque dans l'eau dépend du pH et de la température. (Il convient donc de mesurer ces deux paramètres quand on dose l'ammonium pour estimer les risques pour le poisson).

La présence d'ammoniaque dans l'eau à des concentrations même < 1 mg NH₃/l entraîne des mortalités piscicoles. Par exemple pour les truites, la CL50 96 (concentration Létale médiane sur 96 heures qui exprime la toxicité aiguë sur le poisson - mortalité de 50% des truites) n'est que de 0,4mg/l de NH₃/litre d'eau ! Les alevins sont au moins 10 fois plus fragiles.

Et même présent à de très faibles doses non-toxiques, l'ammoniaque affecterait le métabolisme des poissons en diminuant leurs réflexes.

-Voir aussi page [cycle de l'azote](#).. Analyse exprimée en mg/l. Des analyses de terrain sont possibles à l'aide de trousse de réactifs. Attention en cas d'eau trouble perturbante, filtrer l'eau à analyser.

Les dosages colorimétriques sont perturbés par la présence de matières en suspension dans l'eau. Il est donc préférable de filtrer les échantillons d'eau avant les mesures,

Nitrites (Azote nitreux ; dangereux y compris pour les poissons).

Chez les mammifères, la consommation d'eau chargée de nitrites perturbe la fixation de l'oxygène par l'hémoglobine du sang. (D'où la méthémoglobinémie ou la « maladie bleue du nourrisson »). Il ne doit donc pas avoir de nitrites dans l'eau du robinet et très peu de nitrates, car ils peuvent une fois bus se transformer en nitrites. Dans l'estomac, les nitrites, peuvent se transformer nitrosamines réputées cancérigènes. (A noter, que les nitrites sont ajoutés à la charcuterie (jambon, saucissons,...) pour la conservation...)

Dans l'eau les nitrites sont toxiques pour les poissons surtout lorsque le pH de l'eau est inférieur à 7.

Des concentrations même $< 1 \text{ mg NO}_2/\text{l}$ entraînent des mortalités piscicoles. Elles posent problème au dessus de $0,01 \text{ mg/l}$. pour les truites.

L'effet de toxicité des nitrites est plus rapide que par celle de l'ammoniaque, (voir plus haut) car elle entraîne la dégradation de l'hémoglobine des globules rouges et l'asphyxie des poissons.

Même en petite quantité les nitrites causent des stress chez les poissons, provoquant des problèmes respiratoires, affaiblissement, maladies, vulnérabilité... Les nitrites sont également toxiques pour les humains...

On comprend pourquoi la concentration en nitrites ne devrait pas dépasser $1 \text{ mg NO}_2/\text{l}$ dans les rejets de stations d'épuration. ($0,5 \text{ mg/l}$ dans l'eau du robinet).

Analyses de terrain possibles (bandelettes test). Résultat d'analyse exprimé en mg/l .

-Voir aussi page [cycle de l'azote](#). dont font partie les nitrites.

Nitrates (Azote nitrique)

Les nitrates des eaux souterraines et des cours d'eau proviennent :

- principalement d'origine agricole en raison du recours aux engrais azotés.
- en second lieu des rejets des stations d'épurations (transformation de la matière organique en nitrates). Certaines installations sont complétées par des traitement de dénitrification avant rejet.
- du milieu naturel, pour 3 et 7 mg/l . seulement, une quantité suffisante pour nourrir la vie aquatique des cours d'eau. (A delà c'est l'indigestion, le développement des algues, l'eutrophisation..)

Les nitrates posent problème en raison de leur trop grande introduction dans les eaux par l'agriculture industrielle (*). Les résultats d'analyse exprimé en mg/l de NO_3^- . Il faut diviser par 4,43 le poids des nitrates pour déterminer le poids d'AZOTE contenu par ces même nitrates. (Ainsi la norme de 50 mg/l de nitrates maximum dans l'eau du robinet correspond à une teneur en azote de $11,29 \text{ mg/l}$. Et $4,43 \text{ kg}$ de nitrates contiennent 1 kg d'azote (N).)

(*) Dans l'eau les nitrates (NO_3^-) sont quantifiés en mg par litre (mg/l), alors que les apports d'azote dans les champs, sont exprimés en kg d'azote (N) par hectare (ou unité d'azote par hectare).

Bien que les nitrates soient énormément moins toxiques nocifs que les nitrites, il ne doit pas y en avoir plus de 50mg/l. dans l'eau du robinet. En effet une fois consommés, ils peuvent évoluer en nitrites dans l'estomac puis se transformer en nitrosamines toxiques et réputées cancérigènes.

Chez les poissons adultes, la toxicité des nitrates semble très faible. Il n'en est pas de même sur les œufs ou les larves dont la mortalité serait multipliée par deux selon les espèces. Des effets ont été signalés, même à des concentrations de 10-20mg/l.

- Analyses de terrain des nitrates possibles (bandelettes test).

Azote total kjeldahl (abrév. NTK ou NK)

C'est la somme des composés non oxydés de l'azote : azote organique + ammoniacal contenu dans l'eau. (ou dans le sol, ou dans les produits alimentaires) Résultat d'analyse exprimé en mg/l. Méthode normalisée en laboratoire. Une personne rejette environ 15 g. par jour de NTK. Une concentration élevée en azote Kjeldahl permet d'évaluer le niveau de pollution.

Azote Global (abrév. NGL)

C'est la somme en azote de toutes les formes d'azote différentes contenues dans un prélèvement (azote gazeux exclu) :

$NGL = \text{azote totale Kjeldahl (azote organique et azote ammoniacal)} + \text{azote nitreux (nitrites / N-NO}_2) + \text{azote nitrique (nitrates / N-NO}_3)$

Azote Total

C'est la mesure en azote de toutes les formes d'azote différentes : azote ammoniacal (NH_4) + azote nitrique (NO_3^{1-}) + azote uréique (N uréique).

Azote total = azote ammoniacal + azote uréique + azote nitrique

Le cycle du phosphore.

Le Phosphore

Le phosphore, élément indispensable au développement de tous les organismes vivants, ne doit être naturellement présent qu'en très faible quantité dans le sol et dans les eaux, au delà il constitue une pollution par perturbation de milieu aquatique.

Dans l'eau, on en distingue la présence sous 2 formes principales :

- Le phosphore particulaire appelé aussi résidus très fins d'origine biologique ou minérale.
- Le phosphore dissous, essentiellement constitués de phosphates (PO_4), qui représentent 50 à 90% de la totalité du phosphore dans les eaux usées urbaines. De plus, ils constituent, au même titre que les nitrates, un agent fertilisant.

Phosphore Total (PT) (= P particulaire + P dissous). La réglementation, en ce qui concerne le phosphore, ne tient compte que de ce seul paramètre. La quantité de PT d'une eau s'exprime en mg/l (milligrammes par litre). Le rejet de matières phosphorées est d'environ 4 grammes par habitant et par jour.

Phosphates

Les orthophosphates (ions PO_4^{3-}) sont la forme la plus simple et la plus répandue des phosphates dans l'eau.

Le phosphate de calcium minéral contenu dans les roches calcaires est peu soluble et n'est donc pas responsable de la pollution des eaux par excès de phosphore.

La plus grande part du phosphore que l'on retrouve dans les eaux des cours d'eau provient :

- des rejets d'eaux résiduaires, en premier lieu des déjections humaines, des matières organiques en décomposition, des lessives,.. (Le rejet en phosphore total (PT) d'une personne (= 1 équivalent habitant (EH) est d'environ 4 g. de PT par jour. En rapportant cette quantité au volume journalier des effluent de cette personne, on obtient une concentration d'environ 25 mg/litre de PT.)

- des activités agricoles : "pertes" d'engrais phosphatés utilisés en agriculture (provenant des mines de phosphates) et ruissellements d'effluents agricoles (lisier, purin, déjections,..)

Entraîné dans les eaux, cet élément s'y retrouve essentiellement sous forme de phosphore organique (résidu de la matière vivante) ou de phosphore minéral (ou phosphate inorganique) représenté essentiellement par les orthophosphates (PO_4^{3-}).

PO_4^{3-} : La quantité de phosphates (appelés aussi orthophosphates) d'une eau se mesure en mg/l. de PO_4^{3-}

PT : Le phosphore total est un autre paramètre utilisé : il cumule l'ensemble du P. organique et du P. minéral. Il s'exprime en mg/l de PT

La mesure de la fraction organique de phosphore d'une eau s'obtient à l'analyse par différence entre le phosphore total et les orthophosphates.

Dans les eaux superficielles, la teneur naturelle en phosphates est de l'ordre de 0,1 à 0,2mg de PO_4 /l. pour moins de 0,1mg de P/l. en phosphore total.

Au delà, une présence importante de phosphates dans les eaux n'est pas naturelle et provient des déversements urbains (polyphosphates des lessives, excréments, dégradation de la matière organique) et des pratiques agricoles (engrais, épandages, écoulements de purin, etc..)

Il existe des techniques d'élimination des phosphates dans certaines stations d'épuration équipées à cet effet. De bonnes pratiques agricoles peuvent limiter les excès de phosphore.

Critères analytiques du phosphore dans l'eau :

- de 0 à 0,1mg/l. : très bon.
- de > 0,1 à 0,5 mg/l. : bon.
- de >0,5 à 1 mg/l. : médiocre.
- de >1 à 2 mg/l. : pollution.
- de >2 mg/l. : très pollué.

Phosphore sédimentaire

Dans les cours d'eau, les sédiments peuvent stocker ou relarguer du phosphore en fonction de l'état physico-chimique des eaux.

Nitrates et phosphates associés contribuent au développement excessif et anarchique des algues, voir page : [L'eutrophisation des rivières par les nitrates et les phosphates](#)'

Potassium (K)

Le potassium (K) Élément naturel indispensable à la croissance du vivant. Cependant sa présence en excès dans une eau (> 2 ou 3mg/l) est un indice de pollution par des effluents agricoles (lisier, ..) ou d'industries agro-alimentaires, qui en contiennent beaucoup. A moindre proportion, son origine peut être également l'utilisation d'engrais (et de lisier) dans le bassin versant amont. L'excès de K a peu d'impact sur la vie aquatique.

NPK : C'est ce qu'on appelle le trio azote, phosphate et potassium (NPK) dans l'utilisation des engrais agricoles nitrates, phosphates et potasses. Ces éléments nutritifs, tels que le phosphore, l'azote et le potassium, ne sont cependant pas entièrement utilisés par les végétaux cultivés, et une partie est emportée vers les ruisseaux et rivières par percolation et ruissellement.

Sulfates Leur présence dans les eaux est en général liée à la présence de gypse dans les sols. C'est un composé naturel qui correspond à la présence de soufre dans l'eau. Présence maximum limitée à 250mg/l dans l'eau potable.

Hydrogène sulfuré ou sulfure d'hydrogène, Gaz nauséabond et toxique à forte odeur d'œuf pourri, produit par la fermentation anaérobie (sans air) quand l'eau est trop riche en matières organiques. C'est aussi un indice de présence d'organismes pathogènes.

Les micropolluants

Ce sont des composants minéraux ou organiques qui présents dans l'eau même à très faible quantité (en microgramme ($\mu\text{g/l}$), voire en nanogramme (ng/l) par litre) sont dangereux pour les êtres vivants et donc les écosystèmes.

Certains micropolluants sont toxiques. Les mécanismes de leur effets sont encore trop mal connus :

- Les éléments mutagènes agissent sur les cellules reproductives ou directement sur l'ADN des êtres vivants ;
- Les éléments tératogènes qui affectent le fœtus ;
- Les éléments cancérigènes qui induisent le cancer ;
- Les éléments neurotoxiques qui agissent sur le système nerveux ;
- Les éléments perturbateurs endocriniens ;
- Les éléments bio-accumulables dans les chaînes alimentaires.

Les métaux lourds (poids atomique > à celui du fer).

Les éléments métalliques et leurs dérivés organiques (métalloïdes) **sont pour certains très dangereux parce que potentiellement toxiques , non-biodégradables et bioaccumulables dans les chaînes alimentaires.**

Ils sont principalement d'origine industrielle mais pas seulement. (rejets atmosphériques des incinérateurs de déchets, ...)

Si, à doses infimes, certains métaux constituent des oligo-éléments indispensables à un bon état de la santé humaine, à partir de certaines doses plus importantes ils deviennent directement toxiques. Ces métaux proviennent un peu du sous-sol (érosion) mais pour l'essentiel des rejets industriels (traitements de surface, métallurgie, chimie,...) dans le sous-sol ou les rivières mais aussi dans l'atmosphère où ils retombent avec les pluies.

On retrouve les métaux dans les eaux sous formes ioniques libres ou incorporés dans des structures moléculaires ou des complexes organiques ou inorganiques... Ainsi pour le même métal, certaines formes peuvent être beaucoup plus toxiques que d'autres...

critères analytiques pour chaque métal

- il existe des seuils à ne pas dépasser pour l'eau potable,
- des valeurs limites en métaux pour les épandages agricoles,
- des valeurs limites en métaux pour les rejets des "[installations classées autorisées \(ICPE A\)](#)" dans la nature ou dans un égout public. Pour consulter ces valeurs se reporter aux prescriptions des articles 32 à 34 de [Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation](#).

Liste des principaux métaux lourds et métalloïdes en commençant par les plus toxiques :

- le mercure (Hg) Métal rare, extrêmement toxique et plus particulièrement néphrotoxique, c'est-à-dire agissant sur les reins, et neurologique, c'est-à-dire agissant sur le système nerveux. Les symptômes sont des troubles mentaux plus ou moins graves, une salivation excessive, des douleurs abdominales, des vomissements, de l'urémie (accumulation d'urée liée à une insuffisance de la fonction rénale). Ce métal dont l'utilisation est heureusement en déclin était extrait d'un minerai le cinabre.

Origines dans les eaux : Activités sanitaires (thermomètres, désinfectants, amalgames dentaires...), Agriculture (fongicides, bactéricides), Industries (élimination des déchets, production de chlore et de soude, centrales au charbon), Orpaillage sauvage (en Guyane), Élimination des ordures ménagères piles, Lampes fluorescentes d'éclairage (à ne jamais mélanger aux ordures ménagères).

- le plomb (Pb). Ce métal est extrait d'un minerai, la galène. Le plomb est (était) utilisé dans l'industrie métallurgique : batteries, alliages, traitements de surface, munitions, (anciennes peintures), (ancien adjuvant antidétonant de l'essence) etc

C'est un métal très toxique pour les invertébrés et les amphibiens des milieux aquatique. Chez l'homme ses organes cibles sont le système nerveux central et périphérique, le système circulatoire, les reins et les organes de reproduction. Sa présence dans l'eau du robinet peut entraîner le saturnisme (par exemple par l'érosion des canalisations d'eau potable en plomb).

Enfin, l'ingestion de grenaille de plombs de chasse (confusion avec des grains de nourriture ou de sable) est particulièrement toxique pour les oiseaux et représente une cause fréquente de saturnisme aviaire.

- le cadmium (Cd), à l'origine est extrait de certains minerais notamment de zinc. Il est utilisé dans les batteries électriques mais surtout dans la métallurgie dans le cadmiage contre la corrosion de l'acier. Le cadmium est aussi utilisé en stabilisant pour les plastiques et les pigments. La pollution au cadmium provient des rejets industriels, des incinérations de déchets, de l'utilisation d'engrais... Extrêmement toxique (organe cible le rein, os, cancer du poumon) cet élément s'accumule dans les chaînes alimentaires et menace les prédateurs secondaires.

-l'arsenic (As). C'est un métalloïde. C'est un oligo-élément sous forme de trace. En concentration importante c'est un toxique (dose létale chez l'homme estimée à environ 0,6 mg/kg/j.) Il peut être naturellement présent dans les minéraux du sous-sol dans certaines régions (roches primaires, volcaniques). On peut trouver ainsi des contaminations naturelles à l'arsenic de certaines sources, dans le Massif Central, les Vosges, le Haut-Rhin... De l'arsenic peut être rejeté par les industries du verre ou de la métallurgie. Il peut provenir de sites d'exploitations d'anciennes mines (comme à Salsigne (11)). L'ingestion d'arsenic peut entraîner des troubles physiologiques mais aussi des risques cancers.

-le chrome (Cr) : métal très dur utilisé en traitement de surface des métaux pour améliorer leur résistance. Ce n'est que dans les process industriels de traitements de surfaces qu'utilisé sous la forme de chrome hexavalent ou chrome VI et de chromates (CrO_4^{2-}) qu'il devient extrêmement toxiques pour la vie et cancérigènes. (risques de rejets dans les eaux).

-le cuivre (Cu). Peu toxique, néanmoins à faible concentration il est nuisible pour la microfaune et les batraciens. Sa présence dans les eaux provient de l'érosion des conduites ou de l'activité industrielle. Dans les sols agricoles, il peut s'accumuler à la suite du traitement des cultures avec des sels de cuivre (bouillie bordelaise) et surtout des épandages répétés de lisiers de porcherie ou le cuivre il est utilisé comme facteur de croissance dans l'alimentation des porcs. Chez certaine personne peut induire des problèmes de santé mais ne serait pas cancérigène. A une concentration > 2 mg/l. il colore les eaux.

-l'aluminium (Al) est naturellement présent dans les sols. L'alumine (oxyde d'aluminium) qui sert à produire le métal aluminium est extraite principalement d'une roche sédimentaire, la bauxite. L'aspect et les propriétés physico-chimiques de ce métal ont favorisé d'innombrables utilisations.

L'aluminium a été longtemps considéré comme totalement neutre vis-à-vis de la santé et l'environnement. Il est d'ailleurs présent à d'infimes quantités dans le corps humain. Cependant au-delà, sa consommation dans l'eau, ou la nourriture, peut présenter une certaine toxicité et par exemple favoriser la maladie d'Alzheimer. Il est en effet de plus en plus présent dans les eaux où il peut provenir de l'industrie, des déchets ménagers, des sulfates d'alumines utilisé comme flocculant dans les stations de traitement des eaux, etc.

Dans les eaux l'aluminium peut aussi provenir des sols qui en contiennent naturellement. En raison de la pollution, les pluies peuvent être acides et favoriser une certaine solubilité de

l'aluminium qui est possible en dessous de $\text{pH} = 6$. De l'aluminium peut alors se retrouver non seulement dans les eaux mais aussi dans les plantes et les animaux.

Dans l'eau potable, la directive du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine a fixé pour le paramètre « aluminium » une valeur de 200 microgrammes par litre dans les eaux de consommation. Ce paramètre est un indicateur de fonctionnement des installations de traitement et non pas un paramètre de santé faisant l'objet d'obligations plus strictes...

Selon M. Guy Berthon, ancien directeur de recherche au laboratoire de chimie du CNRS « l'aluminium ne sert à rien dans l'organisme humain. Pire à fortes doses ou à doses régulières il est toxique en trouver dans l'eau du robinet, c'est criminel ». Le danger, selon ce chercheur, est que « si une partie est éliminée naturellement par les urines ou la barrière intestinale, une autre passe à travers ce mur de brique qu'est l'intestin grêle et se retrouve dans le sang puis le cerveau. Là l'aluminium se dépose, durcit et ne peut plus repartir ». Les symptômes principaux sont des problèmes d'élocution, le développement d'une démence et de convulsions. Observations d'encéphalopathies chez des patients en insuffisance rénale chronique, dialysés au long cours.

-le zinc, (Zn) : Métal utilisé pour recouvrir les métaux. Il est peu toxique, puisque au niveau de traces c'est oligo-éléments utile à l'organisme. Le zinc est classé dangereux pour la faune aquatique. A noter qu'une présence importante de zinc dans les eaux indique souvent celles d'autres métaux ou polluants toxiques industriels.

Dans les sols agricoles, il peut s'accumuler à la suite des épandages de lisiers de porcheries

-l'étain ((Sn). Métal malléable. Réputé surtout toxique, pour les algues et le phytoplancton des cours d'eau.

-le nickel (Ni) A très faible quantité (>50 microgramme) est considéré comme un oligo-élément serait utile à la fonction pulmonaire dans l'organisme. Au delà c'est une substance considérée comme cancérigène. C'est aussi le plus allergisant des métaux.

-le manganèse (Mn). Dans les eaux, il provient du sous-sol ou il est mis en solution par le CO_2 des eaux d'infiltration. Il peut aussi provenir de dépôts de déchets industriels. Sur les parois des rivières souterraines, des dépôts noirâtres de manganèse sont souvent visibles. C'est un oligo-élément indispensable aux organismes vivants. Maximum à ne pas dépasser dans l'eau du robinet 0.05 mg/l. En concentration trop élevée il peut être toxique pour l'homme et donner à l'eau une couleur noirâtre qui peut lors de lessives tacher le linge. Des procédés permettent d'éliminer le manganèse au niveau des stations captages d'eaux potables.

-autres métaux éventuellement nocifs : Antimoine, Cobalt, Sélénium, Thallium, Vanadium,

Tous les métaux ne sont pas toxiques !]

-le fer provient du sous-sol ou de l'industrie mais n'est pas nocif. Le sulfate de fer peut provenir des stations de traitement des eaux où il est utilisé comme floculant. C'est un oligoélément indispensable au bon fonctionnement des êtres vivants. En excès dans l'eau il

n'est pas nocif mais brunit l'eau ce qui peut entraîner des taches. Des procédés de défrisassions permettent d'éliminer les excès de fer dans l'eau si nécessaire avant distribution.

- le magnésium (Mg) provient du sous-sol où il est abondant. Il contribue avec le calcium à la dureté de l'eau. Il est bénéfique pour la santé (anti stress notamment).

Les pesticides que l'on retrouve dans les eaux de surface ou souterraines sont à environ 90% d'origine agricole. Ce sont des produits toxiques qui se dégradent plus ou moins bien dans l'environnement.

- herbicides (atrazine, glyphosate,...)
- insecticide (DDT, ...)
- fongicides (sels de cuivre,...)

12 pesticides souvent rencontrés dans les eaux souterraines : Aldrine, Dieldrine, Endrine, Isodrine, Alachlore, Atrazine, Atrazine DE, Atrazine DP, Diuron, Isoproturon, Simazine, Terbutylazine

Les micropolluants organiques

C'est aujourd'hui un nombre très important de molécules de synthèse dont pour la plupart les effets (surtout à long terme) sont mal ou inconnus.

- Les Produits Organiques Persistants (POP) :

Ces composés, très dangereux pour l'environnement (toxiques à faible concentration, parfois mutagènes, cancérigènes) sont des produits synthétiques heureusement assez peu solubles dans l'eau. On peut cependant les trouver en aval de sites industriels :

- Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP). Dangereux pour les être vivants, de plus en plus rependus dans l'environnement ils proviennent surtout des activités humaines (incinération, combustion de carburants, etc..). Les HAP sont solubles dans l'eau et se fixent fortement sur les matières particulaires et argiles. Le benzo[a]pyrène est le composé génotoxique le plus caractéristique de cette famille de molécules. Lentement biodégradables. Les H.A.P. sont suspectés d'être cancérigènes.

- Hydrocarbures chlorés. Ces composés organochlorés synthétiques sont difficilement biodégradables. Ce sont :

- Polychlorobiphényles (PCB) qui entrait dans la composition des fluides de refroidissement ou d'isolation, de peintures, de plastifiants. PCB est émis au cours de l'incinération des déchets et de certains combustibles.

- solvants : Trichloroéthylène (TRI), Trichloroéthane ou Chloroforme (TCE), Tetrachloroéthylène (PER), Hexachlorobenzène (HCB), Tétrachlorure de carbone, Dichloropropane, Dichloropropene (DPC), Dibromoethane, Dichloroethane, Bromobenzene, Chlorobenzene, Tetrachlorethane, Nitropropane, Diméthylformamide (DMF), Pyridine, ...

- Pesticides organochlorés (OCP),

- Autres substances diverses : Tétrachlorure de carbone, hydrazine, dinitrophénol,...

- Les autres produits organiques micropolluants

- Cyanures (CN) , Poison extrêmement toxique, utilisé dans les industries de traitement de surface. Degradable au bout d'un certain temps dans les eaux mais où ils sont particulièrement mobiles.

- Chlore (provient de la stérilisation de l'eau potable ou parfois de la vidange de piscine) détergents,

- Alkylphénols (dans détergents, cosmétiques, produits de nettoyage et beaucoup de produits industriels).

les produits médicamenteux (résidus d'antibiotiques, d'anti-inflammatoires, d'antidépresseurs, de contraceptifs, etc..).

-médicaments vétérinaires (résidus d'antibiotiques, etc)

Il existe en France plus de 3000 médicaments à usage humain et plus de 300 à usage vétérinaire. Une grande partie se retrouve dans les déjections et par la suite dans les eaux des milieux aquatiques....

Les installations industrielles qui présentent des rejets dangereux doivent dans certain cas répondre annuellement à un questionnaire sur la nature et l'importance de leurs rejets C'est un arrêté ministériel du 24 décembre 2002 qui organise les modalités de cette déclaration.

Les annexes de cet arrêté liste les paramètres et substances polluantes, toxiques, cancérigènes, etc.. On s'y reportera utilement.

Paramètres bactériologiques

Les analyses microbiologiques réalisées en laboratoire ont pour but de détecter et évaluer la présence dans les eaux de microbes pathogènes dangereux pour l'homme : eau potable, eaux de baignade, ...

Ces analyses reposent sur la recherche dans les eaux de bactéries indicatrices de leur éventuelle contamination fécale, les *Escherichia coli* (*E. coli*) et les Entérocoques. Ces organismes, d'origine intestinale sont naturellement présents dans les déjections animales ou humaines qui via les déversements, eaux usées et épandages peuvent se retrouver dans l'eau. Les Entérocoques sont pathogènes de même que certains colibacilles. L'eau potable du robinet doit être exempte de la présence de ces bactéries.

Une présence très importante de germes fécaux dans une eau indique une pollution fécale importante d'origine humaine ou animale en amont.