

1.1 Cycle de l'eau

Une des principales propriétés de l'eau à l'état liquide est son important pouvoir solvant vis-à-vis des éléments minéraux, organiques et gazeux.

Dans la nature, l'eau suit un cycle (précipitation, ruissellement ou infiltration, écoulement vers les

océans, évaporation, condensation), résumé par la figure 1.1.

Après évaporation à la surface des océans, l'eau se trouve sous forme de vapeur. Elle se condense ensuite dans les couches froides de l'atmosphère, et recouvre sa forme liquide et son pouvoir solvant. Dès son apparition sous forme de fines gouttelettes

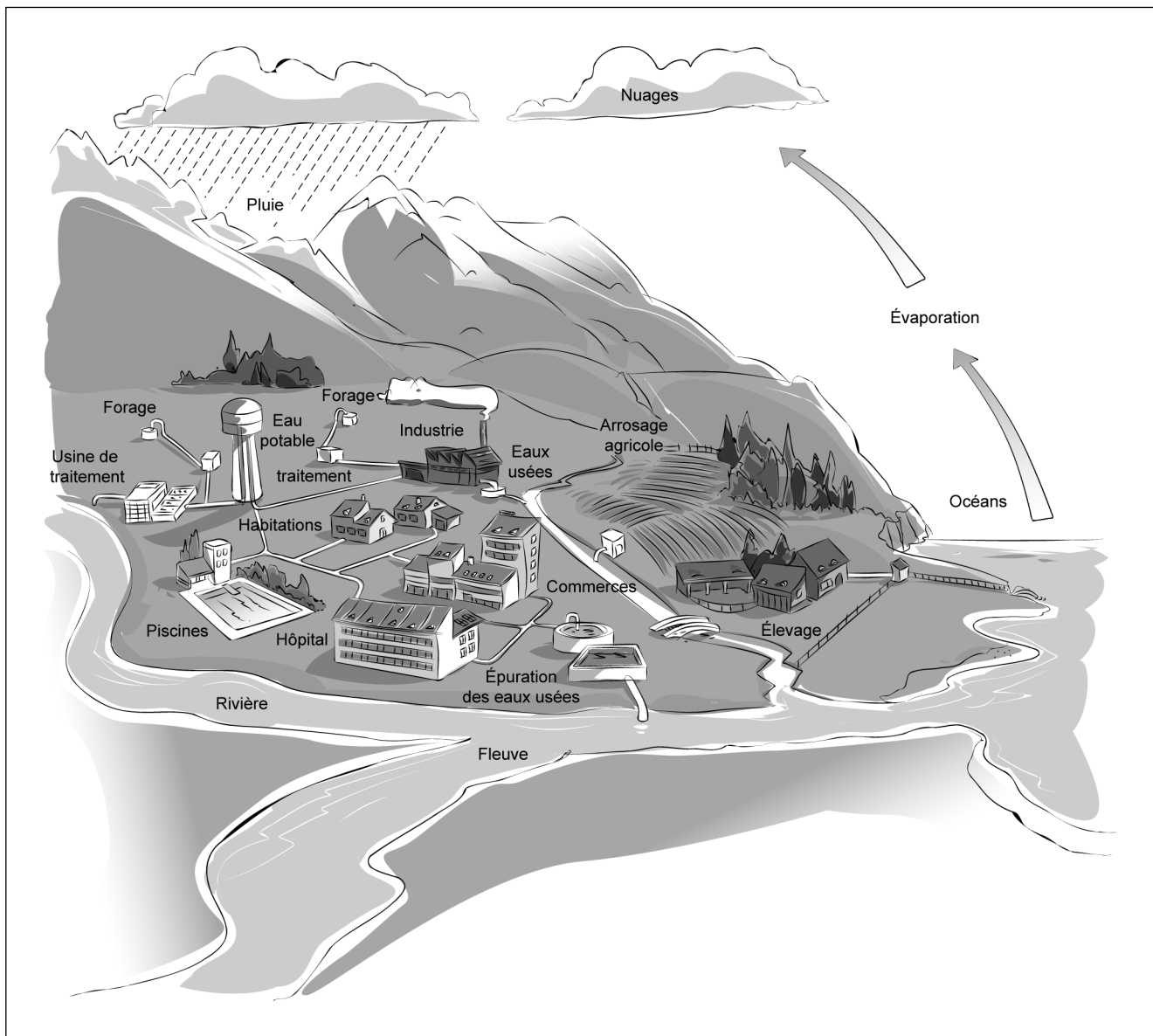


Fig. 1.1 – Cycle de l'eau dans la nature

dans les nuages, l'eau se charge en gaz : azote pour la plus grande partie, oxygène, mais aussi dioxyde de carbone et gaz rares. En traversant les couches basses de l'atmosphère, l'eau de pluie se charge des impuretés de l'air, qu'elles soient naturelles (poussières et gaz d'origine volcanique, vents de sable, etc.) ou liées à l'activité humaine (poussières, gaz de combustion des foyers domestiques et industriels, etc.). Puis, lorsque l'eau ruisselle à la surface du sol, elle se charge, par effet mécanique d'érosion, de débris solides variés, provenant des roches, des végétaux et des animaux. Elle dissout également des substances telles que les produits de décomposition des végétaux, les déjections animales, certains minéraux et matières organiques de différentes origines. Lorsque l'eau s'infiltre dans le sol, son pouvoir solvant s'exerce pleinement sur les roches avec lesquelles elle entre en contact.

Ainsi, selon leur origine, les eaux puisées dans le milieu naturel auront des compositions diverses, sujettes elles-mêmes à des variations saisonnières.

1.2 Classement des impuretés

Les substances présentes dans l'eau peuvent être classées de plusieurs manières, selon :

- leur nature : organique, minérale, gaz ;
- leur forme et leur origine (tab. 1.1).

C'est ce second type de classification que nous suivrons dans ce chapitre.

À chacun de ces états ou formes correspondent des dimensions de particules qui vont des plus grandes (algues, sables, etc.) aux plus petites (ions et gaz dissous). La figure 1.2 montre la répartition des

particules présentes dans l'eau en fonction de leur dimension.

1.3 Matières solides

1.3.1 Matières solides en suspension

Généralement visibles à l'œil nu, les matières solides en suspension nuisent à la limpidité de l'eau. Souvent, les matières solides demeurent en suspension tant que l'eau est en mouvement. Lorsque la vitesse d'écoulement de l'eau diminue et tend vers zéro, les matières solides sédimentent pour former des dépôts (au fond des réservoirs et sur la génératrice inférieure des canalisations, par exemple).

1.3.2 Matières en émulsion

Ce sont des matières insolubles qui, réparties uniformément dans l'eau, lui confèrent un aspect laiteux. Les émulsions sont plus ou moins stables.

1.3.3 Matières colloïdales

Ce sont de très fines particules d'origine minérale ou organique, invisibles à l'œil nu. Elles sont dotées à leur surface de charges électriques partielles qui se repoussent mutuellement, créant ainsi un mouvement permanent qui les maintient en suspension même si le liquide est au repos. En l'absence d'une neutralisation de ces charges, les matières colloïdales ne décantent pas et ne peuvent être retenues que par des filtres très fins (membranes).

Tab. 1.1 – Principales impuretés des eaux naturelles

| Forme | Nature et origine |
|---|--|
| Solides en suspension | Débris de roches, sable, argiles, débris végétaux et animaux |
| Matières en émulsion | Hydrocarbures, corps gras |
| Matières colloïdales | Argiles, silice, composés organiques plus ou moins dégradés |
| Matières organiques dissoutes | – Substances d'origine naturelle (végétaux, animaux décomposés, etc.) – substances de synthèse (pesticides, fongicides, etc.) |
| Matières minérales dissoutes | Roches solubilisées, rejets industriels et agricoles |
| Gaz dissous | Gaz de l'air, CO ₂ provenant de la décomposition des végétaux, pollution atmosphérique |
| Organismes vivants du règne végétal ou animal | Virus, bactéries, champignons, plancton, algues, insectes, larves, vers |

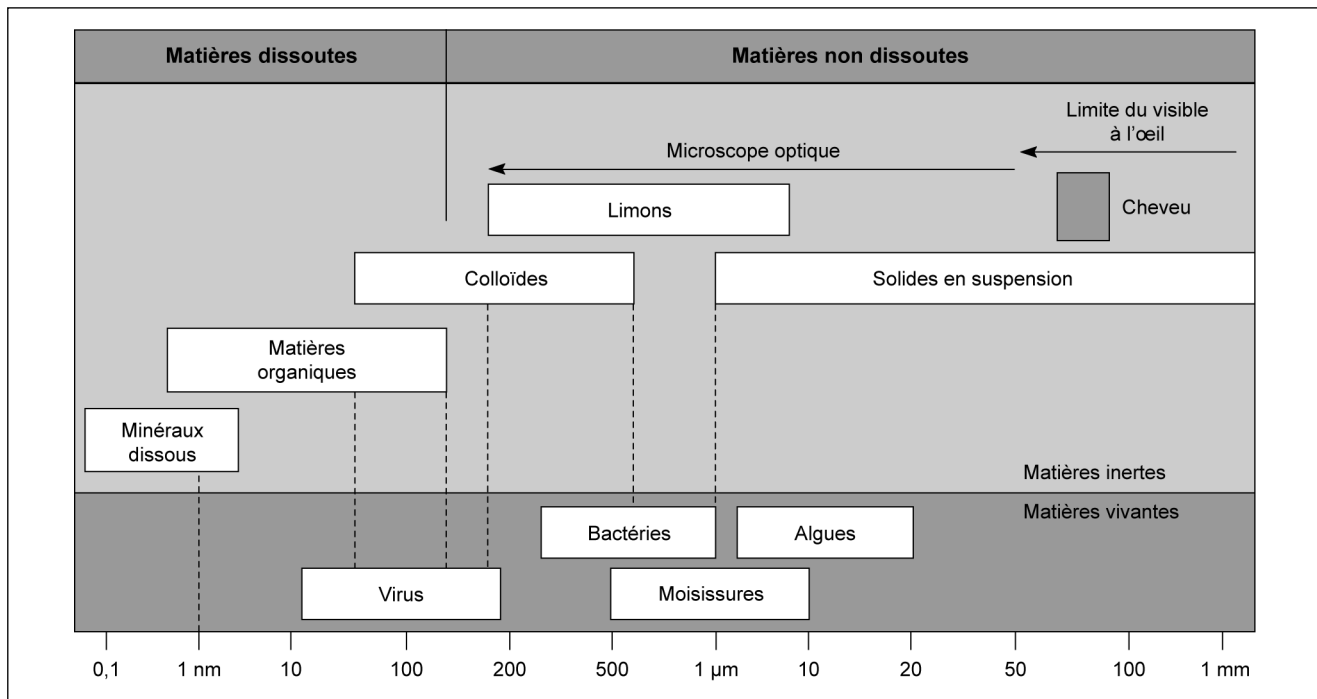


Fig. 1.2 – Dimensions des impuretés de l'eau

1.4 ■ Matières dissoutes

1.4.1 ■ Matières organiques dissoutes

Elles proviennent de la dissolution par l'eau de pluie des végétaux et animaux décomposés, des rejets urbains, industriels et agricoles (épandage des lisiers, pesticides, fongicides, herbicides, etc.). Ces matières sont très souvent à l'origine de couleurs, d'odeurs ou de saveurs désagréables. Elles peuvent aussi présenter une certaine toxicité.

1.4.2 ■ Matières minérales dissoutes

Les matières minérales dissoutes proviennent généralement de la dissolution des roches par l'eau lors de son cheminement dans la nature (fig. 1.1). Toutefois, la présence de certains éléments sous forme ionique (les ions chlorure ou nitrate, par exemple) peut provenir de l'activité humaine (pollutions industrielles ou agricoles).

1.4.2.1 ■ Dissolution des roches

La nature des minéraux dissous et leur concentration dans l'eau dépendent de la composition des

terrains traversés, de la solubilité plus ou moins grande des roches, et du temps de contact entre l'eau et ces minéraux.

Il est ainsi possible de classer les principaux minéraux en fonction de leur solubilité, par exemple :

- Roches très solubles : le sel (chlorure de sodium) est soluble à température ordinaire jusqu'à environ 360 grammes par litre (g.l^{-1}). Les océans en renferment de 20 à 40 g.l^{-1} , les eaux dites saumâtres de 1,5 à 10 g.l^{-1} .
- Roches moyennement solubles : le gypse (sulfate de calcium) est soluble jusqu'à environ 2 g.l^{-1} .
- Roches peu solubles : les roches calcaires (cristaux de carbonate de calcium ou cristaux de carbonate de calcium et de magnésium arrangés de différentes manières) comme le marbre, la calcite, le calcaire grossier, les calcaires coquilliers, solubles jusqu'à environ 700 milligrammes par litre (mg.l^{-1}) d'eau riche en CO_2 dissous, mais seulement jusqu'à environ 15 mg.l^{-1} en l'absence de CO_2 dissous, à température ambiante.
- Roches très peu solubles : les roches cristallines riches en silice (granit, gneiss, grès), solubles à moins de 100 mg.l^{-1} .

Ces différentes caractéristiques et leurs effets dans la nature sont illustrés à la figure 1.3.



Fig. 1.3 – Dissolution (grotte) et redéposition du calcaire (stalactites) (grotte des Moidons, Jura)

1.4.2.2 Phénomène d'ionisation des sels minéraux

La dissolution des sels minéraux (constitués de différents atomes) dans l'eau s'accompagne d'une modification fondamentale de la structure physique de la matière. Lorsque le sel est mis en solution dans l'eau, il se produit une dissociation avec libération de particules, électriquement chargées et différenciées, appelées ions. Ce phénomène s'appelle l'ionisation.

Certains de ces ions sont chargés négativement : ils sont appelés anions. Ils possèdent un excédent d'électrons. Les autres sont chargés positivement : ils sont appelés cations. Ils présentent un défaut d'électrons.

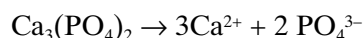
Les sels minéraux étant électriquement neutres, leur ionisation libère autant de charges électriques positives provenant des cations que de charges électriques négatives provenant des anions. Le

nombre de charges électriques d'un ion est appelé valence.

Par exemple, lors de sa dissolution dans l'eau, le chlorure de sodium NaCl – que l'on retrouve dans la vie courante comme sel de cuisine – libère des cations sodium (Na^+) et des anions chlorure (Cl^-). La réaction peut s'écrire de la manière suivante :



D'autres sels minéraux libèrent des ions dotés de deux ou de trois charges électriques élémentaires. Par exemple, lorsqu'il s'ionise par dissolution dans l'eau, le phosphate de calcium – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ – libère d'une part des cations calcium (Ca^{2+}) dotés chacun de deux charges électriques, et d'autre part des anions phosphate (PO_4^{3-}) dotés de trois charges électriques :



Les six charges négatives des deux ions phosphate équilibrent les six charges positives des trois ions calcium.

1.4.2.3 Principaux ions présents dans l'eau

Il est possible de recenser les principaux minéraux dissous présents dans une eau sous la forme du tableau 1.2.

1.4.3 Gaz dissous

Les gaz dissous présents dans les eaux ont deux origines :

- les gaz de l'atmosphère ;
- les gaz de la surface du sol et du sous-sol.

Tab. 1.2 – Principaux ions présents dans l'eau

| Cations | Symbole | Anions | Symbole |
|--------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Calcium | Ca^{2+} | Hydrogénocarbonate | HCO_3^- |
| Magnésium | Mg^{2+} | Carbonate | CO_3^{2-} |
| Sodium | Na^+ | Hydrogénosilicate | HSiO_3^- |
| Potassium | K^+ | Chlorure | Cl^- |
| Fer ferreux | Fe^{2+} | Sulfate | SO_4^{2-} |
| Fer ferrique | Fe^{3+} | Nitrite | NO_2^- |
| Cuivre | Cu^{2+} | Nitrate | NO_3^- |
| Aluminium | Al^{3+} | Phosphate | PO_4^{3-} |

1.4.3.1 Gaz de l'atmosphère• *Azote (N_2)*

Gaz inerte dans les conditions habituelles d'emploi de l'eau, l'azote ne génère aucun inconvénient particulier.

• *Oxygène (O_2)*

Ce gaz joue un très grand rôle dans les processus de corrosion des métaux, tantôt comme élément favorisant les corrosions (cas des métaux ferreux), tantôt comme élément favorisant la formation de couches d'oxydes protecteurs (cas général des métaux non ferreux).

• *Dioxyde de carbone (CO_2)*

L'eau de pluie s'enrichit en dioxyde de carbone au contact de l'atmosphère. Ce gaz, qui confère à l'eau un pH acide, peut jouer un rôle important dans la dissolution de certaines roches (les roches calcaires, par exemple).

• *Oxydes de soufre (SO_x) et d'azote (NO_x)*

Ces gaz sont des sous-produits de combustion présents dans l'atmosphère. Par réaction avec l'eau des précipitations, ils forment des acides (sulfurique, nitrique, etc.) et accentuent ainsi le caractère acide de l'eau (« pluies acides »).

1.4.3.2 Gaz de la surface du sol et du sous-sol

Ce sont principalement les gaz contenus dans les couches d'humus en cours de décomposition et les couches superficielles du sol que l'eau traverse.

• *Dioxyde de carbone (CO_2)*

Le dioxyde de carbone d'origine végétale constitue la plus grande partie du dioxyde de carbone présent dans les eaux d'infiltration. Tout comme pour l'eau de pluie, ce gaz joue un rôle déterminant dans la dissolution des roches calcaires (voir chapitre 3), mais également dans les phénomènes de corrosion des métaux.

• *Ammoniac (NH_3)*

Issu de la dégradation des composés organiques azotés, l'ammoniac est biodégradable et peut donc,

en qualité d'élément nutritif, intervenir dans le développement de certaines bactéries.

• *Hydrogène sulfuré (H_2S)*

Provenant de la dégradation de composés organiques soufrés en milieu non aéré, l'hydrogène sulfuré confère à l'eau une odeur et une saveur très désagréables.

Il compte parmi les gaz courants les plus toxiques et son inhalation accidentelle peut provoquer des intoxications graves, pouvant avoir une issue fatale à des concentrations dans l'air de l'ordre de 500 ppm.

Il intervient également comme agent de corrosion des métaux cuivreux et ferreux.

1.5 Organismes vivants

L'eau est non seulement l'un des constituants des cellules, mais également le milieu dans lequel ces cellules peuvent puiser les substances indispensables à leur croissance et à leur reproduction.

Des réactions chimiques d'échanges interviennent entre les cellules et l'eau. Ces réactions sont de diverses natures : photosynthèse, oxydoréduction minérale, oxydoréduction organique.

Ces réactions ne sont généralement possibles qu'avec le concours d'enzymes spécifiques contenant dans leurs molécules des oligoéléments puisés dans l'eau par les cellules. C'est ainsi que les eaux peuvent être le siège de développements d'organismes du monde végétal (algues, par exemple) ou du monde animal (bactéries, notamment).

La teneur en éléments nutritifs, le pH, la composition minérale de l'eau, les gaz dissous et les matières organiques, l'exposition à la lumière sont autant de facteurs qui interviennent dans la vitesse de développement des souches vivantes.

La température, enfin, joue un très grand rôle : certains micro-organismes survivent à des températures très basses (moins de 5 °C), d'autres peuvent survivre à des températures très élevées (plus de 60 °C). D'une façon générale, des températures comprises entre 26 et 35 °C sont les plus favorables aux proliférations de micro-organismes.