

scienceinfuse

ANTENNE DE FORMATION ET DE PROMOTION DU SECTEUR SCIENCES & TECHNOLOGIES



CHIMIE

LIVRET ÉLÈVE

Analyse chimique de l'eau

UCL

Scienceinfuse • Antenne de formation et de promotion du secteur sciences & technologies
rue des Wallons 72 L6.02.01 • 1348 Louvain-la-Neuve

Introduction

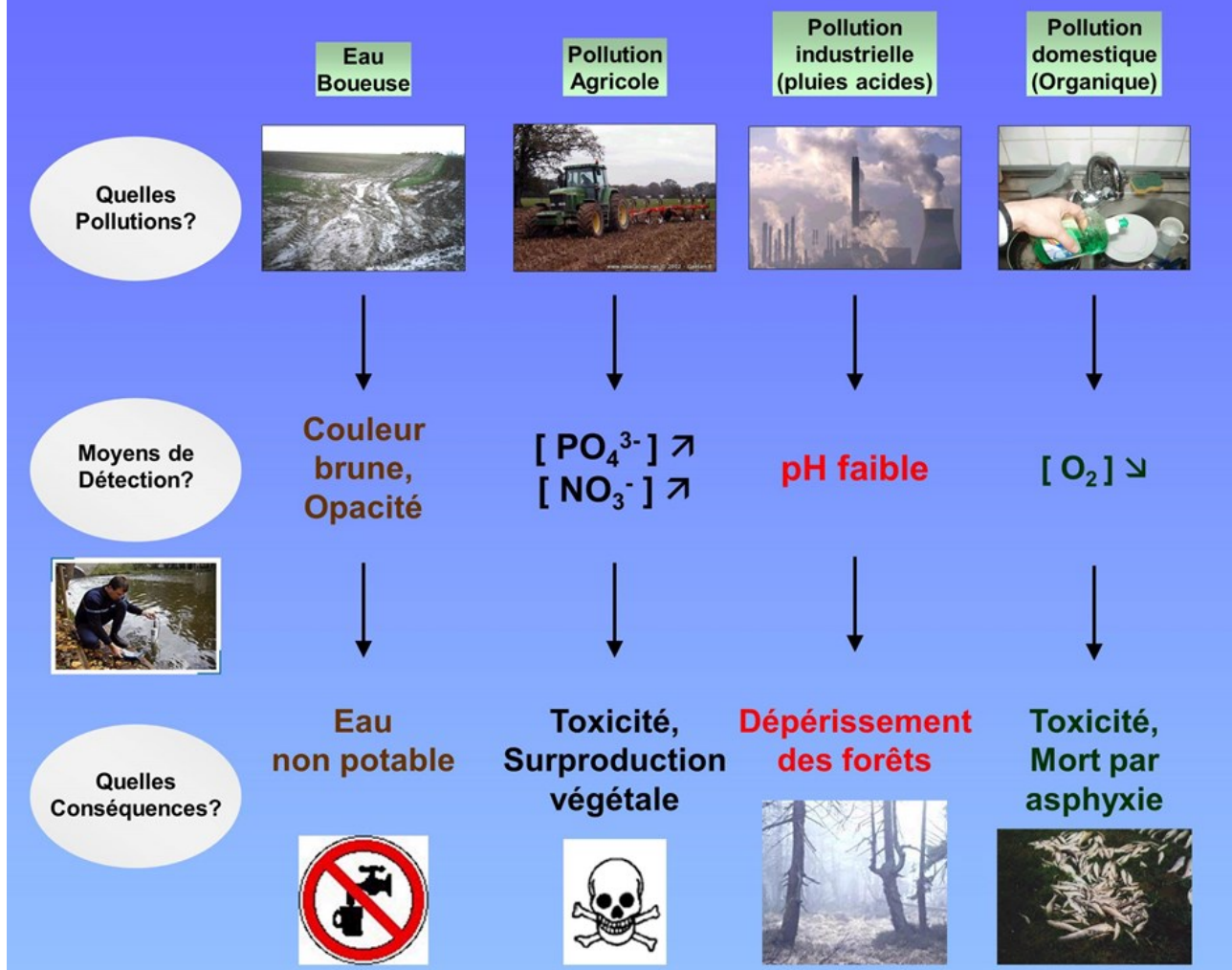
Dans notre environnement, l'eau est un élément qui joue un rôle majeur aussi bien au point de vue biologique (vie aquatique, source d'eau potable pour l'homme) que du point de vue industriel (eaux de lavage dans les industries métallurgiques, papeteries, eaux de refroidissement dans les centrales thermiques, eaux de production dans les industries agroalimentaires, etc.).

Il est donc fondamental d'exercer un contrôle de la qualité de l'eau et, le cas échéant, d'effectuer une épuration.

L'analyse chimique joue donc un rôle de premier plan des ces activités.

L'eau : quelles pollutions, quelles solutions?

Sene Mongaba Bienvenu, Capouet Mathieu, Hermant Anne-Sophie, Laloux Laurent, Martin Arnaud



Détermination du pH

Dans la nature, une eau neutre ($\text{pH} = 7$) est peu fréquente. En effet, chaque type d'eau contient une quantité plus ou moins grande de matières organiques et inorganiques qui modifient les concentrations en ions hydroniums (H_3O^+) et en ions hydroxydes (OH^-) et donc le pH.

On rencontre des eaux à pH acide dans les régions granitiques et des eaux à pH basique dans les régions calcaires, à cause de la teneur élevée en sels de calcium des eaux dures. Les eaux basiques présentent généralement une faune plus diversifiée que les eaux acides qui, faiblement minéralisées, ne permettent qu'un développement limité des plantes aquatiques.

Lorsque l'activité photosynthétique est intense, le pH augmente à cause de la consommation en dioxyde de carbone.

Un pH compris entre 6 et 9 permet d'assurer la protection et la survie de la faune.

1. Matériel et réactifs

Matériel

- Un erlenmeyer
- Papier indicateur pH

Réactifs

- Eau de la rivière

2. Mode opératoire

Mesurer le pH en trempant un papier indicateur dans l'eau de la rivière.

3. Résultats

pH de l'eau de la rivière :

Détermination de la concentra

tion en ions nitrate

Les nitrates sont une source importante d'azote pour les organismes autotrophes (telles que les plantes aquatiques). Après réduction en ammonium (NH_4^+), les nitrates peuvent être transformés en acides aminés et en bases azotées pour former les protéines et les acides nucléiques.

Une forte concentration en nitrates dans l'eau peut entraîner un phénomène d'eutrophisation. L'eutrophisation entraîne la prolifération des plantes aquatiques et l'appauvrissement de l'eau en oxygène, la disparition des poissons et une dégradation générale de la qualité de l'eau.

Tableau 1 – Normes pour la teneur en ions nitrate

Index de qualité de l'eau	Concentration en NO_3^-
très bon	< 1 mg/L
acceptable	3 mg/L
légèrement pollué	8 mg/L
pollué	> 20 mg/L
concentration maximale admissible pour une eau potable	50 mg/L

1. Matériel et réactifs

Matériel

- Un erlenmeyer
- Un papier indicateur de nitrate

Réactifs

- Eau de la rivière

2. Mode opératoire

Mesurer la concentration en nitrate en trempant un papier indicateur dans l'eau de la rivière.

3. Résultats

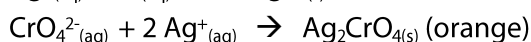
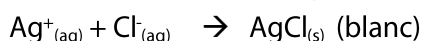
- Concentration en nitrate de l'eau de la rivière :
- Que peut-on conclure en terme de qualité de l'eau ?

Dosage du chlorure

L'ion chlorure est quantitativement prépondérant dans l'eau de mer. Dans l'eau douce, il constitue l'anion le plus important après l'hydrogénocarbonate et le sulfate. La teneur en Cl^- dépend fortement de l'origine de l'eau et de la nature du terrain.

1. Principe : titrage précipitimétrique

Le chlorure est titré par les ions argent en présence de chromate comme indicateur. Le terme de la réaction est mis en évidence par la formation de chromate d'argent solide (orange).



2. Matériel et réactifs

Matériel

- Un erlenmeyer de 250 cm³
- Pissette d'eau déminéralisée
- Une burette de 25 cm³
- Une pipette de 100 cm³
- Une propipette

Réactifs

- Eau de la rivière
- Solution de nitrate d'argent (environ 0,035 mol/L)
- Solution de chromate de potassium

3. Mode opératoire

- Introduire dans l'erlenmeyer de 250 cm³ une prise d'essai de 100 cm³ d'eau.
- Ajouter 8 gouttes de la solution de chromate de potassium.
- Titrer à la burette par la solution de nitrate d'argent jusqu'à virage à la coloration légèrement orangée.
- Noter le volume de nitrate d'argent utilisé
- Recommencez le titrage afin d'affiner vos résultats.

4. Résultats et exploitation des résultats

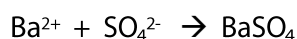
- $V_{\text{AgNO}_3} = \dots\dots\dots \text{cm}^3$ utilisé (moyenne des volumes obtenus pour les différents titrages ou volume le plus précis).
- Déterminez la concentration d'ions chlorure (g/L).

Dosage du sulfate

Les sulfates apparaissent dans les eaux naturelles dans un large domaine de concentrations. Les effluents industriels contiennent souvent de grandes quantités de SO_2 dues à l'oxydation de la pyrite. Ceux-ci peuvent, à leur tour, subir l'oxydation et donner du SO_3 qui se transforme en H_2SO_4 . Ce dernier est également utilisé en industrie.

1. Principe : gravimétrie

Le sulfate est précipité en milieu faiblement acide par les ions de baryum. Le sulfate de baryum obtenu est pesé. La solution est acide de manière à éviter la formation d'un précipité de $\text{Ba}(\text{OH})_2$.



2. Matériel et réactif

Matériel

- Un berlin de 600 cm^3
- Une plaque chauffante
- Une baguette de verre
- Un creuset filtrant
- Une étuve à 120°C
- Un dessicateur
- Une pissette d'eau déminéralisée
- Une burette de 25 cm^3
- Une balance analytique

Réactif

- Eau polluée
- Solution d'HCl environ 3 mol/L
- Une solution de BaCl_2 environ 100 g/L

3. Mode opératoire

- Introduire dans un berlin de 600 cm^3 une prise d'essai de 200 cm^3 d'eau polluée.
- Ajouter 1 cm^3 de HCl de manière à obtenir un pH inférieur à 4.
- Porter à douce ébullition à l'aide de la plaque chauffante.
- Ajouter goutte à goutte à la burette en agitant avec la baguette de verre et sans interrompre l'ébullition, 10 cm^3 de la solution de chlorure de baryum.
- Maintenir à douce ébullition pendant 2 à 3 minutes.
- Laisser reposer au moins pendant 10 minutes.
- Filtrer le sulfate de baryum sur un creuset filtrant préalablement taré.
- Rincer le berlin avec l'eau déminéralisée et filtrer l'eau de rinçage sur le creuset filtrant.

- Laver à l'eau déminéralisée chaude pour éliminer les chlorures. Vérifier la présence de ceux-ci en réalisant le test au nitrate d'argent du filtrat.
- Continuer à laver si le test est positif (apparition d'un précipité blanc de AgCl).
- Sécher le creuset et son contenu à l'étuve à 120°C pendant 30 min. Manipuler le creuset avec précaution à l'aide d'une pince.
- Laisser refroidir le creuset dans le dessiccateur.
- Peser le creuset à la balance analytique.

4. Résultats et exploitation des résultats

- Masse du creuset vide :
- Masse du creuset plein :
- Masse de sulfate de baryum :
- Déterminer la concentration en ion sulfate (mg/L).

Dosage de l'oxygène dissous

L'oxygène est relativement peu soluble dans l'eau. Sa solubilité diminue lorsque la température augmente, lorsque la teneur en sel augmente et lorsque la pression atmosphérique diminue.

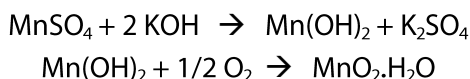
La teneur en oxygène est une indication importante pour la qualité de l'eau. Une bonne concentration en oxygène est essentielle pour la vie des plantes et des animaux aquatiques. Généralement 3 à 6 mg/l d'oxygène dissous est la dose létale et la quantité idéale est la valeur la plus élevée possible, c'est-à-dire la valeur de saturation.

La production d'oxygène dans l'eau est déterminée par les organismes photosynthétiques. L'activité de ces organismes dépend d'un certain nombre de facteurs comme la température, la lumière et la source de dioxyde de carbone. La consommation d'oxygène est due principalement à l'oxydation de matières organiques et inorganiques par les bactéries et à la respiration des organismes supérieurs.

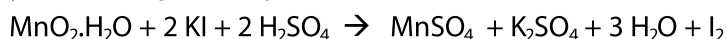
Lorsque l'eau n'est pas saturée, l'oxygène de l'air diffuse dans l'eau. Différents facteurs influencent cette diffusion comme la température, l'agitation de l'eau, la surface de contact, celle-ci peut être diminuée par la présence d'huile ou de détergent.

1. Principe : titrage iodométrique

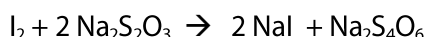
En milieu alcalin, l'oxygène dissous réagit avec l'hydroxyde manganoux provenant du sulfate manganoux.



En milieu acide, le bioxyde de manganèse hydraté formé libère l'iode à partir d'un excès d'iodure.



L'iode libéré est dosé à l'aide d'une solution standardisée de thiosulfate sodique, en présence d'amidon. Les nitrites, éventuellement présents, sont détruits par l'azoture de sodium.



2. Matériel et réactifs

Matériel

- Un erlenmeyer de 500 cm³
- Une pissette d'eau déminéralisée
- Un flacon SVL de 250 cm³
- Une burette de 100 cm³
- Quatre burettes de 25 cm³
- Une pipette graduée de 10 cm³

Réactif

- Eau à analyser
- Solution aqueuse de MnSO₄ (250 g/L)
- mélange de solutions aqueuses de KOH 350 g/L, KI 75 g/L et NaN₃ 5 g/L
- solution concentrée d'H₂SO₄
- solution de Na₂S₂O₃ 0,025 mol/L (voir titre précis)
- solution d'amidon

3. Mode opératoire

- Remplir à la burette jusqu'à ras bord un flacon SVL et déterminer ainsi le volume exact d'eau prélevé : $V_{H_2O} = \dots\dots\dots \text{cm}^3$.
- Retirer à la pipette graduée 8 cm^3 et jetez-les.
- Ajouter à la burette 2 cm^3 de la solution de MnSO_4 . L'extrémité de la burette doit plonger dans l'eau.
- Ajouter 4 cm^3 du mélange KOH/KI/NaN_3 . L'extrémité de la burette doit plonger dans l'eau.
- Boucher le flacon et agiter 30 secondes, laisser reposer 30 secondes.
- Ajouter 2 cm^3 de H_2SO_4 concentré, agiter, laisser reposer 30 secondes.
- Transvaser le contenu du flacon dans un erlen de 500 cm^3 et titrer la totalité par le $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ jusqu'à la décoloration partielle jaune foncé.
- Ajouter alors l'indicateur (amidon). La solution devient bleu foncé.
- Continuer le titrage jusqu'à décoloration complète.
- Noter le volume en cm^3 de thiosulfate utilisé

4. Résultats et exploitation des résultats

- $V \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \dots\dots\dots \text{cm}^3$
- Déterminez la concentration en oxygène en g/L.

Détermination de la dureté totale

La dureté totale représente la teneur en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} principalement. La dureté de l'eau joue un rôle important dans la vie courante notamment en ce qui concerne l'encrassement des résistances électriques des appareils ménagers.

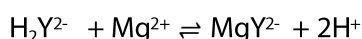
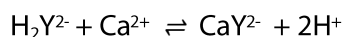
Tableau 2 - Classement des eaux suivant leur dureté

Eau	Concentration en CaCO_3
Très douce	< 30 mg/L
Douce	30 à 50 mg/L
Dure	150 à 300 mg/L
Très dure	> 300 mg/L

1. Principe : titrage complexométrique

La dureté totale représente la quantité totale d'ions Ca^{2+} et Mg^{2+} présents dans l'eau. Après addition à pH 10 d'un indicateur qui forme avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} des complexes colorés (ici rouge), on réalise le titrage du mélange coloré par l'EDTA (éthylène diamine tétraacétique). Au terme du titrage, l'indicateur est libéré, la solution passe du rouge au vert.

Le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétraacétique (EDTA) forme des complexes stables (1-1) incolores avec les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .



La présence d'ions Mg^{2+} est indispensable, car le complexe formé par les Ca^{2+} avec l'indicateur est instable.

2. Matériel et réactifs

Matériel

- Un erlenmeyer de 500 cm^3
- Une pissette d'eau déminéralisée
- Une burette de 25 cm^3
- Une pipette de 50 cm^3
- Une propipette

Réactif

- Eau à analyser
- Comprimé tampon indicateur
- Solution concentrée de NH_3
- Solution EDTA environ 10^{-2} mol/L (voir titre précis)



LIVRET ÉLÈVE

3. Mode opératoire

- Introduire dans un erlenmeyer de 250 cm³, 50 cm³ d'eau à analyser.
- Dissoudre 1 comprimé tampon indicateur, ajouter 1 cm³ de NH₃.
- Vérifier le pH, l'ajuster si nécessaire.
- Titrer à la burette par la solution d'EDTA . Au terme de la réaction, la solution vire du rouge au vert.
- Noter le volume d'EDTA utilisé.

4. Exploitation des résultats

- $V_{EDTA} = \dots\dots\dots \text{cm}^3$
- Déterminer la concentration en carbonate de calcium (mg/L).

Dosage du phosphate

Des concentrations anormales de phosphates peuvent provenir des eaux usées et des engrais agricoles. Leur niveau approximatif dans les eaux douces se situe entre 0,3 et 1 mg/L.

Ce sont des éléments nutritifs essentiels pour les plantes et des constituants normaux des aliments de l'homme et des animaux. En quantité excessive, les PO_4^{3-} sont un facteur majeur du processus d'eutrophisation.

1. Principe : colorimétrie

Les orthophosphates sont transformés à température ambiante à l'aide du réactif molybdovanadique en un complexe jaune-vert dont l'intensité de la coloration est mesurée par colorimétrie.

2. Matériel et réactifs

Matériel

- Deux berlins de 250 cm³
- Une pissette d'eau déminéralisée
- Une baguette de verre
- Un colorimètre + cellules
- Une pipette de 50 cm³
- Une propipette
- Une burette de 25 cm³

Réactif

- Eau polluée
- Eau déminéralisée
- Réactif molybdovanadique

3. Mode opératoire

- Introduire dans un berlin de 250 cm³ une prise d'essai d'eau polluée de 50 cm³.
- Introduire dans un berlin de 250 cm³ un volume de 50 cm³ d'eau déminéralisée en vue de réaliser un blanc (c'est-à-dire un échantillon sans phosphate qui servira à l'étalonnage du colorimètre).
- Dans chacun des berlins, ajouter 2 cm³ de réactif molybdovanadique.
- Agiter à l'aide d'une baguette de verre puis laisser reposer 12 min.
- Mesurer l'absorbance de la solution polluée à l'aide du colorimètre à 400 nm.

4. Exploitation des résultats

- A (absorbance) =
- Lire sur la courbe d'étalonnage le nombre de mg/l de phosphate : PO_4^{3-} = mg/l
- Concentration en phosphate : PO_4^{3-} = mol/l



Annexe 1 : Quelques ressources

- Quelques conseils pour l'élaboration d'un rapport de laboratoire (notamment en ce qui concerne les graphiques) : http://users.skynet.be/chr_loockx_sciences/cofaire_deux.htm#rapport_lab
- Illustrations du matériel classique de laboratoire. <http://www.ostralo.net/materieldelabo/>
- Document expliquant de façon synthétique et illustrée le mode d'utilisation d'une burette graduée. Il peut être utile à la bonne utilisation du matériel de laboratoire par les élèves http://www.spc.ac-aix-marseille.fr/phy_chi/Menu/Activites_pedagogiques/cap_exp/Pdf/Burette.pdf
- Document informatif abordant les notions d'épuration d'eau (fonctionnement d'une station d'épuration) et d'eutrophisation. http://www.uclouvain.be/cps/ucl/doc/emediasciences/documents/Eau_usee.pdf
- Site de la société wallonne des eaux : www.swde.be
- Portail environnement du site de la Région Wallonne. Il faut cliquer sur l'onglet « eau » pour avoir accès à de nombreuses données sur la qualité des eaux wallonnes : <http://www.environnement.wallonie.be>
- Informations concernant les mercredis de la chimie : <http://www.uclouvain.be/284166.html>
- Ensemble des ressources disponibles à Scienceinfuse : <http://www.uclouvain.be/e-mediasciences.html>
- Le Réseau IDée, réseau d'information en éducation à l'environnement, propose de nombreux outils pour travailler la thématique de l'eau : <http://www.reseau-idee.be/index.php>
- Quelques conseils pour bien préparer et occuper l'espace-laboratoire : http://users.skynet.be/chr_loockx_sciences/cofaire_trois.htm#espace_lab

Annexe 2 : Eaux souterraines

La directive 2006/118/CE relative à la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration a été transposée aux articles R.43ter du Code de l'eau. Ce texte précise les objectifs environnementaux énoncés pour les eaux souterraines par la Directive cadre sur l'eau (DCE).

En ce qui concerne le bon état chimique, la composition de l'eau souterraine mesurée aux différents points du réseau principal de surveillance, doit être telle que les concentrations de polluants respectent les normes de qualité et les valeurs seuils suivantes inscrites à l'annexe XIV du Code de l'eau repris ci-dessous.

Polluant	Norme ou Valeur seuil
Nitrates	50 mg/l
Substances actives des pesticides, ainsi que les métabolites et	0,1 µg/l
Ammonium	0,5 mg NH ₄ /l
Antimoine	5 µg/l
Arsenic	10 µg/l
Cadmium	5 µg/l
Chlorures	150 mg/l
Chrome	50 µg/l
Cuivre	100 µg/l
Cyanures (totaux)	50 µg/l
2,6-dichlorobenzamide (BAM)	0,2 µg/l
Mercuré	1 µg/l
Methyl-terbutyl-éther (MTBE)	30 µg/l
Nickel	20 µg/l
Phosphore total	1,15 mg/l P ₂ O ₅
Plomb	10 µg/l
Sulfates	250 mg/l
Trichloréthylène	10 µg/l
Tétrachloréthylène	10 µg/l
Zinc	200 µg/l

Annexe 3 : paramètres physico-chimiques

• **Température**

La vitesse des processus chimiques et physiologiques, tels que la minéralisation, la respiration, la photosynthèse, la reproduction et la croissance, de même que l'évolution des équilibres chimiques dans l'eau, sont fortement dépendantes de la température. Une mesure ponctuelle de la température n'a que peu de signification, mais est nécessaire en relation avec les mesures de la concentration en oxygène, du pH et de la conductivité. En général, les couches de température de l'air et de l'eau suivent une même évolution. La température de l'eau de surface, dans notre pays, a une moyenne annuelle de 10°C. A une profondeur de 20 m, la température moyenne est de 11°C et elle augmente de 2 à 3°C tous les 100 m.

• **Conductivité électrique**

La mesure de la conductivité électrique de l'eau donne une première idée de la teneur en ions de l'eau. La mesure donne une indication sur l'origine de l'eau et peut être utilisée comme contrôle de l'analyse. La conductivité maximale admise pour les eaux de distribution est de 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C.

• **Demande biologique en oxygène (DBO)**

La DBO est la quantité d'oxygène (en mg/L) nécessaire à la dégradation des substances organiques biodégradables par des microorganismes non photosynthétiques. La mesure de DBO permet de déterminer l'état de pollution des eaux naturelles. La mesure est réalisée dans des conditions bien déterminées : l'échantillon est placé dans une bouteille, à l'abri de la lumière, et incubé pendant 5 jours à 20°C. Après cette période, la différence de pression partielle de l'oxygène est mesurée à l'aide d'un manomètre.

• **Teneur en CO_2**

Le gaz carbonique participe, comme l'oxygène, aux phénomènes de photosynthèse et de respiration. Le CO_2 est le produit de dégradation aérobie des matières organiques. Il est soluble dans l'eau et réagit avec celle-ci pour former un acide faible (H_2CO_3), qui se dissocie partiellement en HCO_3^- et CO_3^{2-} . Ces ions interviennent dans le pH, l'alcalinité et la dureté de l'eau.

• **Détergents**

Les détergents trouvés dans les eaux de surface proviennent des produits d'entretien domestique et industriel. Les détergents modifient la tension superficielle de l'eau et ralentissent ainsi la diffusion de l'oxygène. La décomposition des détergents dans l'eau libère des phosphates qui favorisent l'eutrophication. Dans les eaux résiduaires ménagères, la teneur en détergents peut atteindre 16⁻²⁰ mg/L alors que dans une eau non polluée, la teneur est inférieure à 0,2 mg/L.

• **Ammonium (NH_4^+)**

L'ammonium est un produit de décomposition microbiologique des protéines animales et végétales. Il peut être réutilisé directement par les plantes et est utilisé communément dans les engrais commerciaux. La présence de NH_4^+ dans les eaux de surface indique une pollution domestique, par contre, en profondeur, elle est normale à cause du processus naturel de réduction. Dans l'eau, l'équilibre suivant s'établit : $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Celui-ci dépend fortement du pH : une augmentation du pH entraîne un déplacement de l'équilibre vers la droite, avec formation d'ammoniac. L'ammoniac est toxique pour beaucoup d'organismes (dose létale 1 mg/l pour certaines espèces de poissons).

Annexe 4 : vocabulaire

- **Déminéralisation** : élimination des matières dissoutes minérales essentiellement par l'emploi d'échangeurs d'ions, avec élimination successive ou simultanée des cations et des anions.
- **Dureté** : Teneurs en sels de chaux et de magnésie qui forment des grumeaux insolubles avec le savon. Le principe de mesure de la dureté repose sur le fait qu'une eau ne mousse avec le savon que lorsque tous les savons calcaires et magnésiens formés ont été précipités.
- **Eau atmosphérique** : Eau contenue dans l'atmosphère, provenant de l'évaporation et de l'évapotranspiration à partir des plans d'eau superficielle (glaciers, mers, lacs, rivières, etc.) ou de la couverture végétale des continents et donnant lieu aux précipitations (neige, pluie, brouillard, rosée, etc.).
- **Eau de pluie** : L'eau de pluie n'est pas de l'eau pure. Elle est toujours un peu minéralisée. Elle contient des poussières et des gaz. Elle peut contenir aussi des microbes, notamment dans les zones urbaines. Elle peut enfin contenir des acides (H_2SO_4 - HNO_3).
- **Eau distillée** : Eau privée des gaz dissous, de ses impuretés minérales et organiques (mais non des traces de silice et de plomb) par un traitement convenable faisant intervenir dans tous les cas une ébullition suivie de la condensation des vapeurs.
- **Eau douce** : Eau très peu chargée en sels dissous. Ce terme désigne également les eaux continentales, souterraines ou superficielles (fleuves, lacs, etc.) par opposition aux eaux saumâtres et eaux de mer.
- **Eau minérale** : Solution naturelle jaillissant du sol ou artificielle utilisée comme boisson à cause de ses propriétés curatives. Elle peut contenir des substances minérales et organiques.
- **Eau saumâtre** : Eau salée, généralement par sa teneur en sodium, comprise entre 1 et 10 grammes par litre. On peut la considérer comme résultant de la dilution de l'eau de mer (35 g/l) avec l'eau "douce". Ce sont des eaux d'estuaire ou de certaines nappes profondes (Afrique du Nord).
- **Eau souterraine** : Eau circulant ou stagnant dans les fissures et les pores du sol, constituant les nappes des horizons ou couches aquifères, qui s'écoule au jour par les sources et est extraite par les puits et forage.
- **Eau superficielle**, appelée aussi **eau de surface** : Ce sont les eaux qui forment les océans, mers, lacs, fleuves, rivières, ruisseaux, étangs, mares, etc.
- **Eau usée** : On distingue les eaux domestiques qui comprennent les eaux ménagères (cuisine, lavage, toilette, etc.) et les eaux vannes (matières fécales, urines) des eaux industrielles. Les premières sont souvent appelées eaux d'égout, les secondes eaux résiduaires industrielles.
- **Eutrophisation** : Processus évolutif, naturel ou provoqué, rendant un écosystème et particulièrement un lac, de mieux en mieux pourvu de sels nutritifs (nitrates, phosphates) et donc de plus en plus riche en organismes vivants et en matières organiques.
- **Létal** : En toxicologie, ce mot est synonyme de mortel (dose létale : se dit de la plus petite quantité, généralement rapportée à 1 kg d'animal, d'une substance provoquant la mort).
- **Nitrification** : Oxydation de l'ammoniac et des nitrites dissous dans les eaux en nitrates, avec généralement intervention de microorganismes.

Annexe 5 : vidéos disponibles à Scienceinfuse

- **L'or bleu (45 min)** : Dans nos pays, nous avons tendance à penser que l'eau est inépuisable. On en oublie presque qu'elle est indispensable à l'homme. On la gaspille ! Dans les pays du sud, il en va tout autrement.
- **L'eau en danger (25 min)** : Parce qu'elle coule à flot, on a tendance à oublier que l'eau est un bien précieux. Dans les pays industrialisés, la qualité de l'eau douce se dégrade. Les eaux de surface et en sous-sol sont de plus en plus polluées. Fred, Jamy et Sabine sont partis à la rencontre d'éleveurs et d'agriculteurs bretons pour essayer de comprendre comment on en est arrivé là. Entre nitrates, pesticides et phosphates, ils nous exposent les solutions qui pourraient enrayer cette tendance.
- **Vu du ciel – la mer a besoin de nous comme nous avons besoin de la mer (100 min)** : Cette émission est consacrée au patrimoine marin mondial : sa diversité, ses richesses, mais aussi les menaces qui pèsent sur lui. Les mers et les océans, dont la surface totale couvre 72% de notre planète, sont une ressource inestimable mais pas inépuisable : trop souvent, des déséquilibres ayant pour origine une initiative humaine mettent en péril leur fragile écosystème.
- **Planète terre – l'eau douce (45 min)** : Elle ne représente que 3 % de l'eau de la planète, mais tout ce qui vit sur la terre ferme en dépend. Une flore et une faune des plus diversifiées s'épanouissent grâce à cette eau qui, des petits ruisseaux aux grands fleuves, parcourt des milliers de kilomètres jusqu'à la mer.
- **L'eau, ça coule de source (25 min)** : Fred et Jamy suivent le chemin de l'eau : des sources ou des rivières jusqu'à nos robinets en passant... par les stations d'épuration ! Fred nous guide dans les circuits qu'emprunte l'eau potable et les eaux usagées. Nous verrons comment on élimine les gros déchets de l'eau et découvrons tout du fonctionnement des bassins de filtration biologique de l'usine d'Ivry. Jamy nous explique d'où vient l'eau que l'on boit (le cycle de l'eau), comment on garde l'eau propre quand elle circule dans les canalisations et comment on épure l'eau dans une station.
- **Rêve de glace (110 min)** : Les hommes ont besoin d'eau. Mais l'accès à l'eau potable est de plus en plus difficile. Une réserve d'eau douce gigantesque a été oubliée : les icebergs, une eau non salée qui a gelé il y a plus de 12000 ans ! Les icebergs se détachent des glaciers polaires, puis dérivent et fondent. Chaque année, l'équivalent de la consommation mondiale d'eau douce disparaît à jamais dans les eaux chaudes et salées de l'océan ! Alors pourquoi ne pas prélever une infime partie de ce que la nature nous offre : un iceberg, des millions de tonnes d'eau douce, mais une goutte d'eau à l'échelle de la planète. Depuis 40 ans l'ingénieur français Georges Mougin mène un combat obstiné. Son but : remorquer un iceberg dans des pays chauds qui ont besoin d'eau.

Annexe 6 : article de Science et vie

Des pesticides et des médicaments auraient été retrouvés dans des bouteilles d'eau minérale

Une étude menée à l'instigation de *60 Millions de consommateurs* et de la fondation *France-Libertés* sur plusieurs marques d'eaux minérales a révélé, pour certaines des marques analysées, la présence de pesticides et de médicaments.

Un résultat annoncé le 25 mars 2013. La présence de ces molécules ne remettrait toutefois pas en question l'aptitude de ces eaux à être consommées, selon les auteurs de l'étude.

Parmi les substances retrouvées, il y a notamment la présence de tamoxifène, un anti-oestrogène utilisée dans traitement du cancer du sein. Cette hormone de synthèse a été détectée en très faible quantité dans les eaux Mont Roucous, Saint Yorre, Salvetat, Saint Armand (Du Clos de l'abbaye) et Carrefour Discount (Céline Cristaline)...

Comment se fait-il que cette hormone, prescrite pour traiter des pathologies très spécifiques, puisse se retrouver dans un nombre aussi important d'eaux minérales ? En réalité, il est fort probable que la présence de cet anticancéreux provienne d'une contamination humaine de l'environnement naturel dans lequel sont situées les sources concernées, préalablement donc à la mise en bouteille. Une contamination rendue d'autant plus aisée que les forages d'eau sont actuellement exploités au maximum, ainsi que le révèle l'hydrologue Jean Carré dans une interview donnée au monde (lire « La forte demande d'eau en bouteille peut entraîner sa contamination », *Le Monde*)

Et si de nombreuses substances chimiques peuvent être partiellement ou totalement éliminées par les stations d'épuration des eaux usées, ce n'est pas le cas du tamoxifène. Dans un rapport publié en 2009 par *l'Ifremer* intitulé « Contamination des milieux aquatiques par les substances pharmaceutiques et cosmétiques » [par les stations d'épuration]« .

Cette incapacité des stations d'épuration des eaux usées à éliminer une hormone comme le tamoxifène a d'ailleurs été pointée du doigt dès 2005, avec la publication d'une étude intitulée « The occurrence of selected pharmaceuticals in wastewater effluent and surface waters of the lower Tyne catchment » par deux biochimistes britanniques. Dans cette étude, ces deux scientifiques révélaient avoir découvert des traces de tamoxifène dans l'estuaire de la Tamise et de la Tyne, pour des valeurs respectives de 928 et 755 nanogrammes / litres. Une découverte qui leur avait permis de conclure à l'incapacité des installations dédiées à l'épuration des eaux usées à éliminer cette hormone de synthèse.

Il est à noter que d'autres substances ont été également retrouvées dans des bouteilles d'eaux minérales lors de l'étude menée à l'instigation de *60 millions de consommateurs* : deux vasodilatateurs (le buflomédil et le naftidrofuryl) ainsi que des désherbants.

Les résultats obtenus par cette étude peuvent-ils être extrapolés à l'ensemble des bouteilles d'eau vendues par les marques citées ci-dessus ? Non. Car l'étude a porté sur une quantité très faible de bouteilles : 47 bouteilles seulement ont été analysées, dont 10 présentaient des traces de molécules indésirables, soit un taux de contamination de 20% environ.

Pour inquiétant que soit ce résultat, on ne peut donc pas l'extrapoler à l'ensemble des bouteilles vendues par ces marques, au vu de la très faible puissance statistique de cette méthodologie. En revanche, un tel résultat nécessite bien évidemment la tenue de nouvelles études, portant cette fois sur un nombre de bouteilles beaucoup plus important, afin de qualifier et de quantifier de façon beaucoup plus précise la contamination.

Annexe 7 : Article de Science et vie

L'agrodiversité, recette contre les nitrates

Un travail de titan. Deux chercheurs américains ont fouillé un siècle de données scientifiques. Ils en concluent que plus les cultures agricoles sont diversifiées, moins elles contaminent l'eau. (1)

Whitney Broussard et Eugene Turner ont passé en revue les données disponibles depuis le début du siècle dernier sur la concentration en azote des cours d'eau, et sur l'usage des terres agricoles. Ils montrent que dès le début du XXe siècle, les cours d'eau américains subissaient déjà un trop-plein d'azote.

Pour obtenir ces résultats, les deux scientifiques de Louisiane ont étudié les informations accessibles sur 56 bassins versants américains dont la surface est comprise entre mille kilomètres carrés (Cache River, Illinois) et deux millions de kilomètres carrés (Mississippi).

En un peu plus d'un siècle, selon les deux chercheurs, la surface moyenne des exploitations agricoles aux Etats-Unis a doublé, quand leur nombre a chuté des deux-tiers. Ils confirment également que le passage de la force animale à la mécanisation doublée de l'usage accru d'engrais a accru les rejets d'azote dans les rivières. Et montrent que, dans un bassin hydrologique donné, la contamination de l'eau est d'autant plus forte que la monoculture s'est développée.

La raison de ce phénomène semble logique, pour Broussard et Turner, même s'ils soulignent que le sujet doit encore être creusé. Plus les cultures sont variées, plus les terres agricoles sont fractionnées, et donc plus les zones-tampon entre ces cultures sont nombreuses. Ces frontières enherbées ou boisées tendraient à capter le surplus d'azote liés à l'usage des engrais, et donc à éviter qu'ils ne se retrouvent dans les cours d'eau.

Depuis les années mille neuf cent, la concentration de nitrates liée à l'épandage d'engrais azotés a été multipliée par trois à quatre en moyenne aux Etats-Unis, et par dix dans l'Iowa, l'un des greniers à maïs américain. On utilisait là-bas huit fois plus d'engrais en 2003 que quarante ans plus tôt.

Au début du XXe siècle, la relation entre la surface cultivée et le taux d'azote des rivières était linéaire, expliquent Broussard et Turner. Mais désormais, cette linéarité n'est plus de mise. Trop d'engrais, trop de drainage ont multiplié l'azote polluant bien plus vite que les terres agricoles ne progressent. Signe qu'il est peut-être temps de revenir à un mode de production plus raisonnable. Réduire les pertes pour réduire la pollution, le pari d'une agriculture moins néfaste pour l'environnement reste à relever.

Annexe 8 : Bibliographie

- R. Colas, R. Cabaud, P. Vivier. 1968. Dictionnaire technique de l'eau et des questions annexes, Guy le Prat.
- C. Duval, R. Duval. Dictionnaire de la chimie et de ses applications. Technique et Documentation, 3^e édition
- Gnagnarella Agnès, Van de Wiel Marianne, Sartori Colette, Speliers Nadine. Analyse chimique de l'eau. Activités de formation continue proposée par l'équipe des mercredis de la chimie. 2009-2010.
- Science et vie (page consultée le 09/04/2013) : <http://www.science-et-vie.com/2013/03/30/pesticides-et-medicaments-bouteilles-eau-minerale/>
- Science et vie (page consultée le 09/04/2013) : <http://www.science-et-vie.com/2009/02/11/lagro-diversite-recette-contre-les-nitrates/>

