

Eric Bausson

GÉRER ET RÉDUIRE LES MICROPOLLUANTS DANS LES MILIEUX AQUATIQUES

Programmes spécifiques de physique-chimie pour les classes de première et de terminale Bac professionnel propres au groupement de Spécialités 5.

Le Groupement 5 rassemble les spécialités de baccalauréats professionnels mobilisant des compétences professionnelles qui nécessitent de solides connaissances dans le domaine de la chimie. Il réunit les spécialités de secteurs professionnels variés : l'industrie chimique, la bio-industrie, la cosmétologie, la teinturerie, les textiles, la plasturgie, l'esthétique, la gestion des pollutions et la protection de l'environnement, la verrerie, les plastique et composite...

MOTS-CLÉS :

eau, savon, eaux usées, micropolluants.

ANGLE CHOISI :

À travers l'utilisation de documents de nature diverse, issus du site Media-chimie, le lecteur prendra conscience, si ce n'est pas déjà le cas, de la richesse de ce site et pourra poursuivre sa quête d'informations sur l'eau, enjeu vital de notre société, mais aussi sur les micropolluants qui la souillent.



Prélèvement d'eau en rivière.

© Daniel Chetroni – stock.adobe.com

A. Introduction

La formule brute « H_2O » de la molécule d'eau est connue de tous. Au fur et à mesure de sa scolarité, tout élève peut prendre conscience des propriétés physico-chimiques de l'eau, permettant par exemple d'expliquer la dissolution d'espèces chimiques dans de l'eau.

Pour certaines populations en France et dans le monde, l'accès à l'eau potable est un enjeu majeur, parfois compliqué par la présence de micropolluants dans l'eau à cause des activités humaines. Parmi eux, certains sont dangereux et d'autres, après analyses des eaux usées, nous apportent des informations pertinentes sur la santé de la population et permettent d'anticiper des pandémies ou de comprendre certains dysfonctionnements environnementaux.

Nous allons aborder tout ceci dans ce dossier pédagogique.

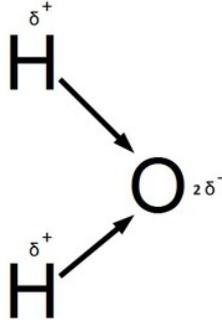


L'accès à l'eau potable est (très) difficile pour près de deux milliards de personnes (source : ONU)

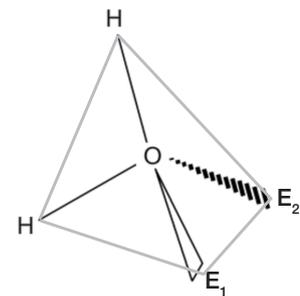
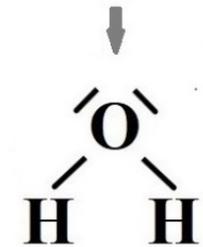
B. La molécule d'eau

Une molécule d'eau est formée d'un atome central d'oxygène (O) et de deux atomes d'hydrogène (H).

Pour la formation des liaisons entre chaque atome d'hydrogène et l'atome d'oxygène, chaque atome met en commun un électron. À partir des quatre électrons restant à sa disposition, l'atome d'oxygène porte deux doublets électroniques non liants. Tous ces électrons présents dans les doublets liants et non liants, de charge électrique négative, se repoussent.

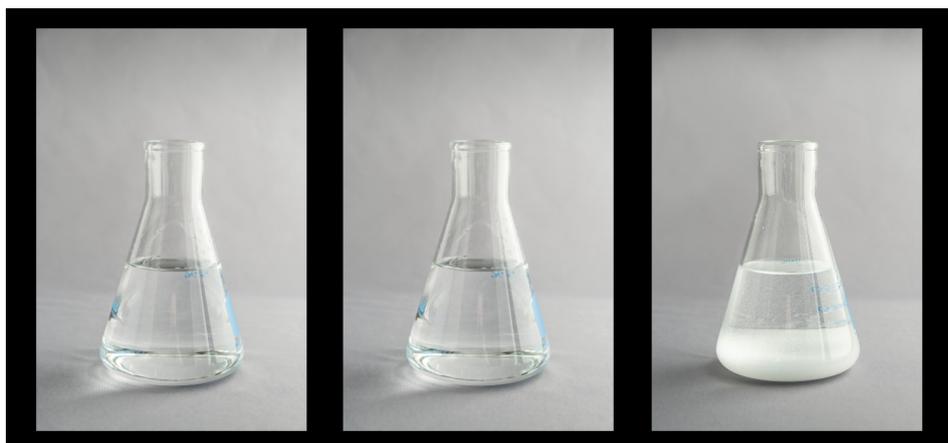


Ceci a pour effet que la molécule d'eau n'est pas linéaire mais courbée. Les 4 doublets liants et non liants se répartissent dans l'espace, tel que l'oxygène est au centre d'un tétraèdre.



Sachant que l'atome d'oxygène attire plus vers lui les électrons des doublets liants, chaque atome d'hydrogène porte une charge partielle positive (δ^+) et celui d'oxygène porte une charge électrique partielle négative ($2\delta^-$). La molécule d'eau demeure bien globalement neutre. Ces charges électriques partielles sont à l'origine des interactions entre les ions et les molécules d'eau et permettent de mieux comprendre celles entre l'eau et les autres molécules.

Lorsque la solvataion des ions d'un solide ionique par l'eau n'est plus possible, lorsque la concentration du soluté en solution est maximale, alors on obtient une solution saturée.



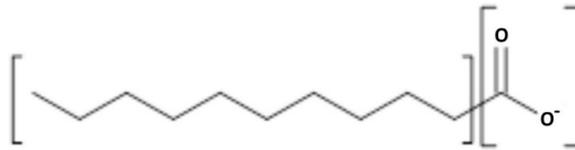
Solutions instaurées et solution saturée (à droite) de chlorure de sodium – Source : Le monde en images

Activité 1

Après lecture de l'article [Comment fabrique-t-on du savon ?](#) de Françoise Brénon et l'équipe « Question du mois » de Mediachimie, répondre aux questions suivantes. Attention, il y a au moins une bonne réponse à chaque question.



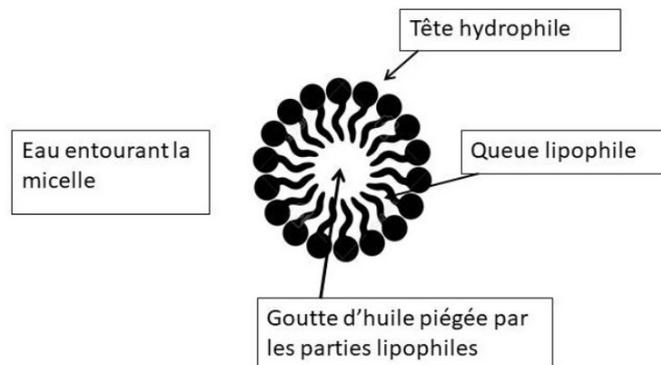
- 1 On représente souvent ainsi le savon avec le groupement COO^- comme terminaison à droite :



Dans cette représentation :

- la partie à gauche est hydrophile.
- la partie à droite est hydrophile.
- la partie à gauche est hydrophobe.
- la partie à droite est hydrophobe.

- 2 Pour expliquer l'élimination de certaines taches grasses sur des vêtements, on le schématise de la façon suivante :



Cela implique que :

- lors du lavage, des micelles se forment autour des taches grasses.
- lors du lavage, les molécules d'eau ne sont pas au contact des micelles.
- au cours du rinçage, les taches grasses piégées au cœur des micelles partent avec l'eau.
- au cours du rinçage, les taches grasses non piégées par des micelles partent avec l'eau.

C. Les micropolluants dans l'eau

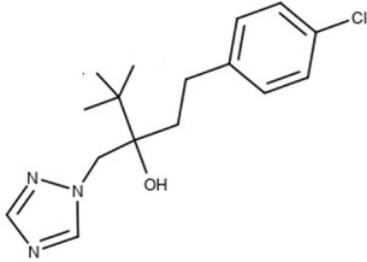
Les micropolluants ont une origine industrielle. On retrouve ces molécules dans notre environnement (air, sol, eau) et toutes celles issues ensuite de leur dégradation dans la nature. Ils sont présents à de très faibles concentrations (pouvant être inférieures à un microgramme par litre) et certains peuvent être (très) dangereux pour notre santé et notre écosystème.

Certains de ces composés ont été abordés dans la conférence [Les micropolluants : méthodologies pour mieux les explorer dans les rejets et les milieux aquatiques](#) de Mme Miège, lors du colloque [Chimie et eau](#) du 6 novembre 2024.

Parmi ces micropolluants revenons sur le tébuconazole, fongicide présent dans certains sols et sur le 1,2,4-triazole, un des produits de la dégradation naturelle du tébuconazole.

Activité 2

Voici quelques données concernant le tébuconazole et le 1,2,4-triazole, dont la norme de qualité environnementale pour l'eau potable (QS_{dw_hh}) :

	Formule topologique	Pictogrammes de sécurité	Solubilité dans l'eau (pH = 7)	QS_{dw_hh}
Tébuconazole $C_{16}H_{22}ON_3Cl$			29 mg / L	0,1 µg / L
1,2,4-triazole			700 g / L	0,1 µg / L

1 Que représentent les trois pictogrammes de sécurité du tébuconazole ?

.....

2 À partir de sa formule semi-développée, déterminer la formule brute du 1,2,4-triazole.

.....

3 Vérifier que la masse molaire du 1,2,4-triazole vaut 69,0 g/mol.

.....

4 Du tébuconazole et du 1,2,4-triazole, lequel est le plus soluble dans l'eau ? Justifier.

.....

- 5 Un lac de 8,7 millions de m³ d'eau a été pollué avec cent moles de 1,2,4-triazole. Cette eau est-elle néanmoins potable ou non après dispersion dans cette eau de surface ? Justifier.

Données : $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g/mol}$ $M(\text{H}) = 1,0 \text{ g/mol}$ $M(\text{N}) = 14,0 \text{ g/mol}$
 Un mètre-cube correspond à mille litres et $1 \mu\text{g} = 1 \times 10^{-6} \text{ g}$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

D. Les micropolluants dans les eaux usées

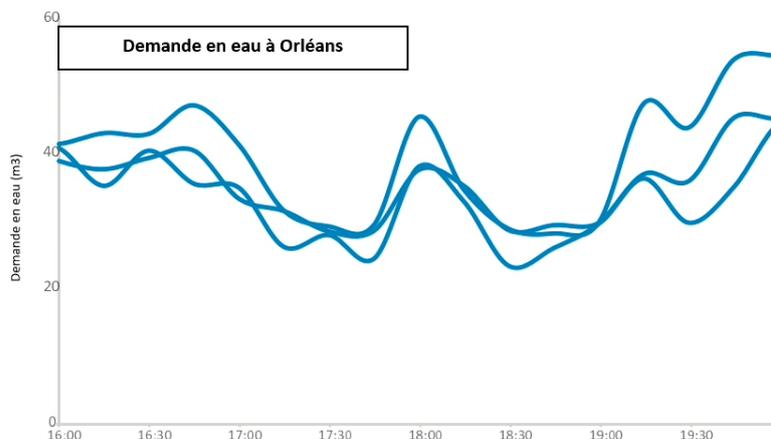
Nous allons nous intéresser ici aux micropolluants organiques, issus des excréments humains, analysés dans les eaux usées. Ceci a été abordé dans la conférence [Les techniques analytiques pour évaluer la santé des populations par les eaux usées](#) de M. Thiebault, lors du colloque [Chimie et eau](#) du 6 novembre 2024 organisé par la Fondation de la Maison de la chimie.

N.B. : Les illustrations de cette partie, sauf la dernière concernant la COVID-19 extraite des données du réseau Obépine, sont issues de cette conférence.

Tout d'abord, la demande en eau et donc le traitement des eaux usées par la suite peuvent varier au cours du temps (y compris sur un temps court de quelques heures) comme lors d'un grand évènement télévisé suivi par des millions de personnes.

Activité 3

Un exemple sportif récent, suivi par des centaines de millions de personnes dans le monde, est celui de la finale de la coupe du monde de football remporté par l'équipe de France le 15/07/2018.



Analyser ces trois courbes de distribution de l'eau dans différents quartiers de la ville d'Orléans ce jour-là.

.....

.....

Voici des exemples de micropolluants présents dans nos eaux usées :

ORIGINES DOMESTIQUES	ORIGINES INDUSTRIELLES	ORIGINES URBAINES
 <p>TOILETTES</p>		
		

Nous en prenons conscience lors des inondations car les autorités alertent sur les risques sanitaires encourus.

Activité 4

Selon un rapport de l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) publié le 01/07/2024, le changement climatique aggrave les inondations, accentue les sécheresses et détériore la qualité de l'eau, ce qui constitue une menace croissante pour notre santé.



Inondations de novembre 2024 à Valence (Espagne)
dues au phénomène météorologique « Dana » - *El Pais*

Répondre aux questions suivantes, où il y a au moins une bonne réponse à chaque question.

1 Pourquoi après des inondations, redoute-t-on des risques sanitaires ?

- les eaux usées sont mélangées aux précipitations car les égouts débordent
- l'eau potable est contaminée avec des virus, des bactéries, etc.
- certains produits chimiques présents dans les usines, stations d'épuration, sont libérés dans notre environnement

2 Pourquoi lors d'une période de forte chaleur, redoute-t-on aussi des risques sanitaires ?

- l'eau de surface stagnante est propice à la prolifération de moustiques
- les micropolluants sont plus concentrés dans les eaux de surface
- les micropolluants sont moins concentrés dans les eaux de surface

Pour en savoir plus

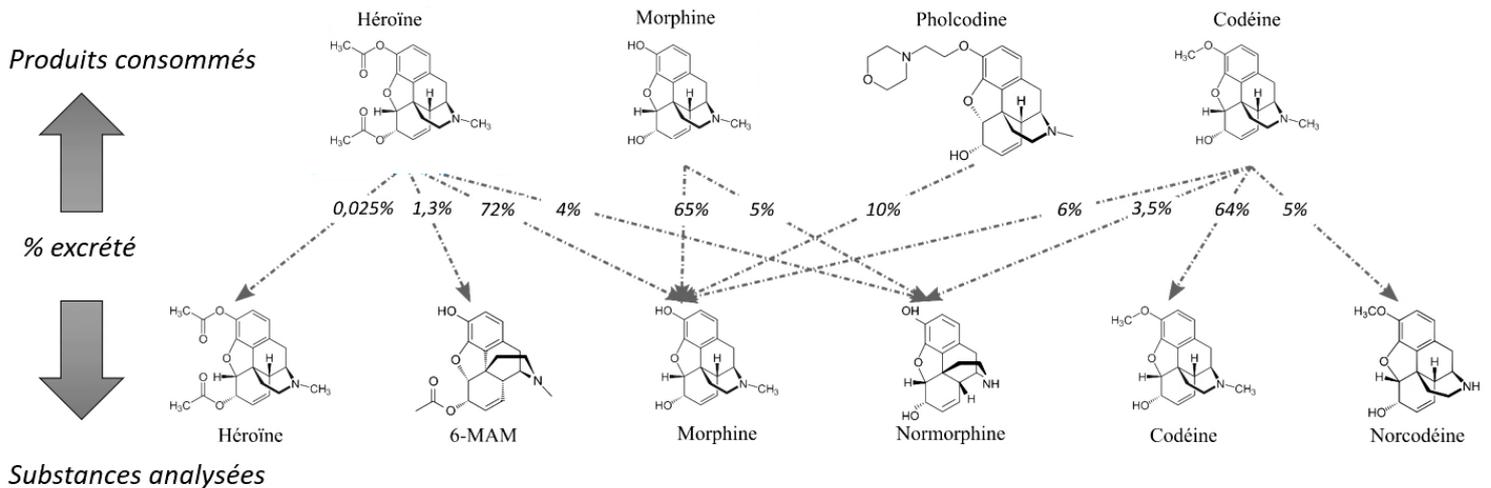
• Rapport de l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE) publié le 01/07/2024

Développée à partir du début du XXI^e siècle pour estimer la consommation de substances psychoactives, autorisées (médicaments) ou interdites (héroïne, cocaïne, ecstasy (MDMA), cannabis, etc.), l'analyse des eaux usées a connu depuis des applications diverses.

Activité 5

La détermination de la concentration en masse du produit recherché est difficile car rares sont les produits qui ne subissent pas de dégradations naturelles dans le corps humain ou dans les eaux usées au contact de l'eau, du dioxygène de l'air, etc...

Étudions l'illustration ci-dessous donnant les pourcentages de différentes molécules présentes dans les excréations humaines selon le produit consommé.



Pour déterminer uniquement la concentration en masse d'héroïne consommée, avec la meilleure précision possible, quelle molécule est-il préférable de rechercher immédiatement dans les eaux usées ? Justifier.

.....

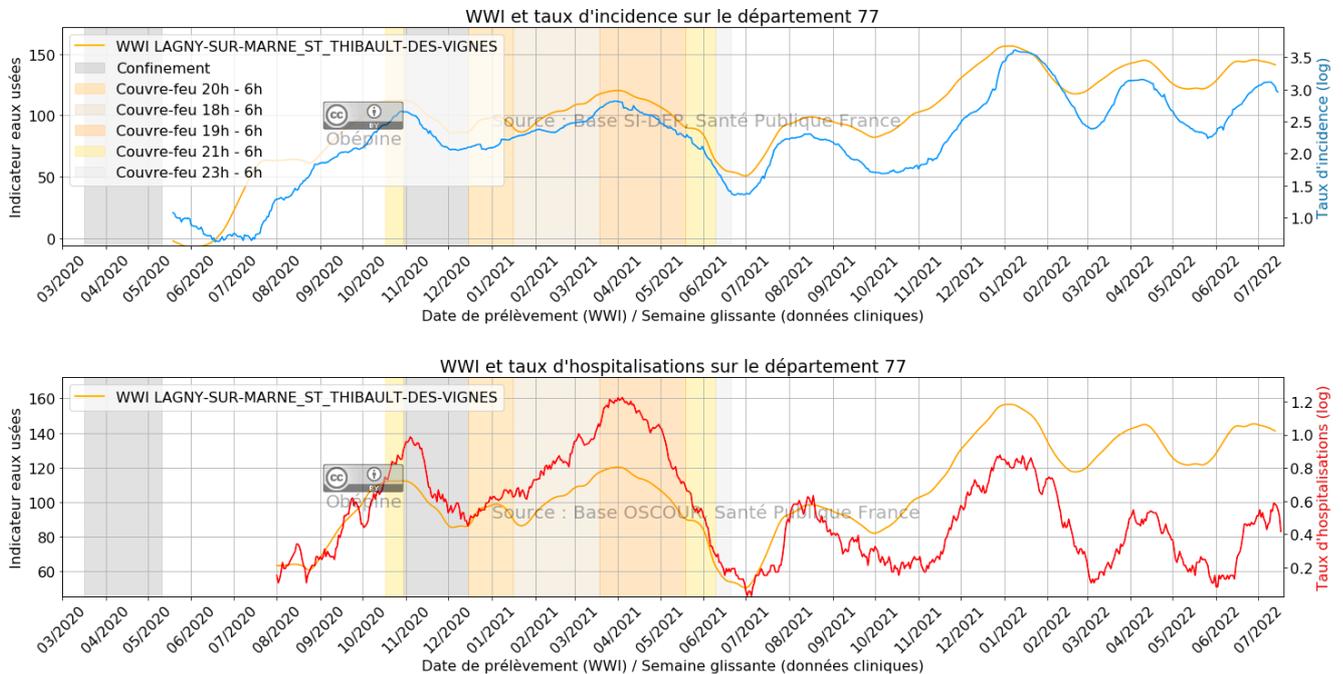
.....

.....

.....

.....

L'essor des analyses des eaux usées a connu un tournant, celui de la COVID-19, car pour les autorités publiques, le suivi des analyses quantitatives du génome du virus « Sars-Cov-2 » a permis de connaître l'évolution de l'épidémie et de sa localisation. Pour y parvenir, des stations de traitement des eaux usées (STEU) ont été mobilisées sur l'ensemble du territoire métropolitain (réseau Obépine).



D'après les données ci-dessus (téléchargeables ici), la seconde courbe montre le lien très étroit entre l'indicateur des eaux usées et celui du nombre d'hospitalisations lié à la COVID-19 en Seine-et-Marne (77).

E. Conclusion

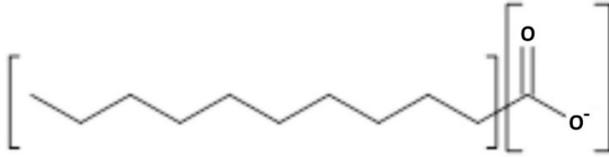
L'eau est indispensable à la vie et est une ressource qu'il nous faut absolument préserver. L'accès à l'eau potable demeure un problème très important. L'analyse de l'eau est donc primordiale pour assurer la potabilité de celle-ci aux populations. L'analyse des eaux usées offre un moyen de mieux comprendre et de surveiller les comportements sociaux et environnementaux, tout en optimisant la gestion des ressources et des infrastructures urbaines. Le développement de nouvelles technologies devrait permettre un essor important de l'analyse des eaux usées et des ressources en eau, avec des applications ignorées actuellement.

Pour en savoir plus

- Conférence [Chimie et eau...](#) du 06/11/2024 – La Maison de la Chimie.
- Conférences [Chimie et eau, origines et détections de micropolluants](#) – DGESCO / NATHAN / MAISON DE LA CHIMIE – Éric Bausson – Mediachimie.

Activité 1

1. Dans cette représentation du savon avec le groupement COO^- comme terminaison à droite :



La partie à droite est hydrophile.

La partie à gauche est hydrophobe.

2. Cela implique que :

- lors du lavage, des micelles se forment autour des taches grasses.
- au cours du rinçage, les taches grasses piégées au cœur des micelles partent avec l'eau.

Activité 2

1. Voici ces trois pictogrammes de sécurité et leurs significations :

	Substance chimique dangereuse pour l'environnement (faune et flore)
	Produit nocif et/ou irritant
	Produit cancérigène ou mutagène, toxique pour la reproduction, qui peut modifier le fonctionnement de certains organes.

2. Le 1,2,4-triazole a pour formule brute $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}_3$.

3. $M(\text{C}_2\text{H}_3\text{N}_3) = 2 \times M(\text{C}) + 3 \times M(\text{H}) + 3 \times M(\text{N})$
 $= 69,0 \text{ g/mol}$

4. Le 1,2,4-triazole est plus soluble dans de l'eau que le tébuconazole car on peut en dissoudre 700 g par litre d'eau au lieu de 29 mg pour le tébuconazole.

5. Sachant que $n = \frac{m}{M}$ alors $m = n \times M$ avec $n = 100 \text{ mol}$

et $M = 69,0 \text{ g/mol}$ donc $m = 6,90 \times 10^3 \text{ g}$

Convertissons 8,7 millions m^3 en litres :

$$V = 8,7 \times 10^6 \times 10^3 = 8,7 \times 10^9 \text{ L}$$

Ces cent moles de 1,2,4-triazole, représentant $6,90 \times 10^3 \text{ g}$ (ou 6,90 kg) sont dans $8,7 \times 10^9 \text{ L}$ d'eau.

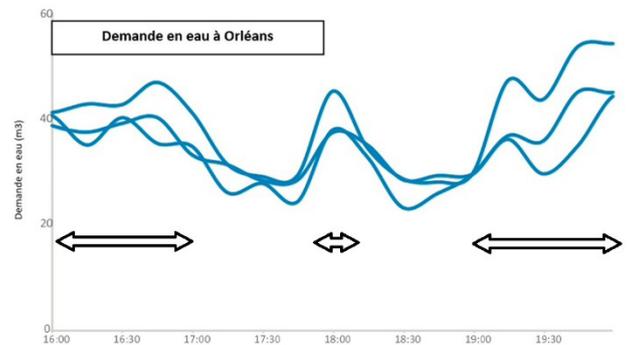
On en déduit leur concentration en masse :

$$C_m = \frac{m}{V} = \frac{6,90 \times 10^3}{8,7 \times 10^9} = 7,9 \times 10^{-7} \text{ g/L} \text{ soit } 0,79 \mu\text{g/L}$$

Cette eau n'est pas potable car elle dépasse la norme de qualité environnementale de $0,1 \mu\text{g/L}$.

Activité 3

Lors de ce match de football, la population de différents quartiers de la ville d'Orléans, comme celle de toute la France et sans doute ailleurs en Europe ou sur d'autres continents, est allée le plus souvent aux toilettes avant et après ce match et au cours de la mi-temps. Le début du match a eu lieu à 17h00.

**Activité 4**

1. Pourquoi après des inondations, redoute-t-on des risques sanitaires ?

- les eaux usées sont mélangées aux précipitations car les égouts débordent ;
- l'eau potable est contaminée avec des virus, des bactéries, etc. ;
- certains produits chimiques présents dans les usines, stations d'épuration, sont libérés dans notre environnement.

2. Pourquoi lors d'une période de forte chaleur, redoute-t-on aussi des risques sanitaires ?

- l'eau de surface stagnante est propice à la prolifération de moustiques ;
- les micropolluants sont plus concentrés dans les eaux de surface.

Activité 5

Il s'agit du 6-MAM, molécule uniquement issue de dégradations naturelles de l'héroïne dans le corps humain, présente en quantité bien supérieure à celle des traces d'héroïne. Les deux autres pouvant provenir de d'autres produits consommés, on ne peut pas les choisir.

ET APRÈS LE BACCALAURÉAT ?

Partie orientation proposée et rédigée par Françoise Brénon
et Gérard Roussel (Maison de la Chimie)

Pour avoir une idée des métiers du secteur de l'eau, il faut au préalable connaître les différents traitements que l'on est amené à pratiquer.

• L'eau potable

En France, les eaux potables, au sens de l'alimentation humaine, proviennent à 62 % des nappes souterraines et à 38 % des eaux de surfaces (rivières, fleuves, lacs).

Le traitement de ces eaux suit globalement les étapes suivantes : pompage de l'eau, stockage provisoire d'eau brute à traiter, dégrillage puis tamisage, pré-ozonation (action de l'ozone), filtrations sur argile, post-ozonation, filtration sur charbon actif puis chloration avant acheminement *via* les canalisations jusqu'à l'utilisateur final.



Usine de traitement des eaux © Banque des Territoires

Dans les zones arides on obtient aussi de l'eau potable après la désalinisation de l'eau de mer. Cette technique est très peu développée en France en raison des sources naturelles de prélèvement suffisantes en qualité et en quantité. À noter toutefois que les entreprises françaises spécialisées en désalinisation font partie des leaders mondiaux.

• Les eaux usées

Les eaux usées domestiques sont les eaux ménagères (salles de bains et cuisines) chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques... et des eaux vannes (rejets des toilettes) chargées de diverses matières organiques azotées dont des médicaments et leurs produits de transformation, et de germes fécaux. Elles sont traitées dans des stations d'épuration.

Il existe aussi des eaux usées industrielles aux contenus spécifiques qui sont traités indépendamment des eaux usées domestiques.

Le traitement des eaux usées suit globalement les étapes suivantes : la décantation qui permet de séparer l'eau à traiter des huiles et graisses qui surnagent et des sables et solides plus denses. Puis l'eau sale subit un traitement biologique aérobie. Dans certaines unités, l'eau peut, avant rejet, subir une ultrafiltration membranaire.

Pour en savoir plus, l'ensemble des traitements de l'eau est détaillé dans la question du mois :

- [Pourquoi économiser l'eau potable est-il aussi source d'économie d'énergie ?](#) par F. Brénon et O. Garreau.

Un futur possible d'utilisation des eaux dépolluées avant rejet

Après traitement dans les stations d'épuration des eaux usées on peut envisager leur usage pour l'irrigation et le nettoyage de la voirie par exemple. Aujourd'hui seulement 0,6 % des eaux usées sont réutilisées en France alors qu'en Italie le pourcentage est de 8 %, 14 % en Espagne et 84 % en Israël. L'objectif en France est d'atteindre 10 % en 2030.



Utilisation d'eaux dépolluées en Occitanie © R.Pliantios

On peut aussi envisager de les rendre à nouveau potables. Aux Sables d'Olonne en Vendée vient de démarrer la construction d'une usine de recyclage des eaux usées afin d'obtenir *in fine* de l'eau potable, dans le cadre du programme « Jourdain ». Cette usine est une usine pilote pour la France et pour l'Europe.

Pour en savoir plus sur la réutilisation des eaux usées on pourra consulter les deux ressources suivantes :

- [Traitement et réutilisation des eaux usées en France : où en sommes-nous ?](#) sur le site « Au cœur du débat public ».

Et pour en savoir plus sur le programme Jourdain, aller voir la vidéo et « le démonstrateur Jourdain » sur le site Vendée – eau :

- [Traitement Comprendre le programme Jourdain](#)

A. LES MÉTIERS

Avec environ 124 000 emplois, la filière française de l'eau représente un secteur économique de première importance. Les entreprises françaises de l'eau sont leaders mondiaux dans leur domaine.

Consulter la Fiche [Les chimistes dans les métiers de l'eau](#), pour avoir une vue d'ensemble des métiers de chimistes dans ce secteur économique.

L'eau du robinet est l'aliment le plus contrôlé en France ce qui engendre un très grand nombre d'analyses (28 millions par an!). Consulter la fiche [Les chimistes dans la traque à l'infiniment petit](#), pour se faire une idée des métiers de l'analyse.

Les sciences chimiques, biologiques et toxicologiques s'unissent pour rechercher, quantifier et éliminer les polluants dans les eaux destinées à la consommation.

Il est à noter que les méthodes d'analyse, qu'elles soient physico-chimiques ou biologiques évoluent vers des détections de plus en plus fines permettant de mettre en évidence des quantités infinitésimales de l'ordre des ultra-traces.

Pour illustrer la recherche dans le domaine du traitement de l'eau, allez voir la vidéo [L'eau au labo](#) réalisée par F. Demerliac.

Les métiers de l'eau ne concernent pas que des chimistes.

Le site web de la [fédération française des entreprises de l'eau](#) (FP2E) donne un aperçu général des différents emplois du secteur. Les tableaux ci-dessous sont extraits de ce site :



B. LES FORMATIONS

La fiche orientation [Je souhaite travailler dans le secteur du traitement de l'eau](#) avec une formation en chimie permet de se faire une idée des cursus possibles.

La liste des Bac Pro présentant une formation en chimie intéressant le domaine de l'eau sont :

- Bac pro Laboratoire contrôle qualité;
- Bac pro Procédés de la chimie, de l'eau et des papiers cartons.

Et avec une formation transverse :

- Bac pro Maintenance des systèmes de production connectés;
- Bac pro Pilotage de systèmes de production automatisée.



Bac Pro maintenance de systèmes de production connectés © Académie Franche Comté

À l'issue d'un Bac pro, on peut envisager de poursuivre des études pour sortir avec un diplôme à Bac + 2 ou +3. Pour voir les cursus disponibles consulter l'entrée des parcours de formation sur Mediachimie [Bac +2/3 : vers les métiers de techniciens](#).

On pourra ainsi choisir une formation tels qu'un BTS ou BUT parmi :

- BTS métiers de l'eau;
- BTS métiers de la chimie (4 pôles principaux : analyse, synthèse, formulation et principes de QHSSE - Qualité, Hygiène + santé, Sécurité, Sûreté, Environnement -);
- BTS CIRA : Contrôle Industriel et Régulation Automatique
- BTS bio analyses et contrôles;
- BUT chimie;
- BUT mesures physiques (option analyse).

Il est aussi possible d'envisager une Licence professionnelle comme par exemple L pro – Métiers de la protection et de la gestion de l'environnement – ou Traitement et Analyse de l'Eau et des Déchets Aqueux.

Ces formations conduisent à des métiers dont on peut découvrir les fiches descriptives ici :

- [Technicien d'analyse chimie / physico-chimie \(H/F\)](#)
- [Technicien chimiste \(H/F\)](#)
- [Technicien Contrôle industriel et régulation automatique \(H/F\)](#)

Les procédés de purification font appel de plus en plus à des membranes de filtration. La création de ces matériaux fait aussi appel au savoir-faire des chimistes spécialistes des matériaux qu'ils soient [ingénieurs matériaux](#) ou [techniciens matériaux](#).

Pour en savoir plus sur des exemples d'applications ou de recherche liés à l'eau, on pourra consulter les ressources suivantes sur le site Mediachimie :

- [Préserver la ressource eau – Exemple de la Chimie](#)
- [Des stations d'épuration toujours plus performantes pour réutiliser les eaux](#)
- [Micropolluants chimiques dans l'environnement](#)
- [Les micropolluants dans les écosystèmes aquatiques : enjeux de la directive eau](#)