

LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES ET LEUR RÉUTILISATION

Eric Bausson

LES ENJEUX DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES ET TRAITÉES

Programmes spécifiques de physique-chimie pour les classes de première et de terminale Baccalauréat 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, traitements eaux usées, REUT, oxydoréduction.

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 cet enjeu vital de notre société, mais aussi sur les micropolluants qui la souillent.



Équipements d'une station d'épuration © Alliance Environnement

A. Introduction

Le premier dossier pédagogique proposé en lien avec le colloque « Chimie et eau » du 6 novembre 2024, abordait l'analyse des eaux usées, domaine en pleine expansion depuis l'an 2000 avec des applications pratiques pour la santé publique et la gestion de l'environnement. Dans ce second dossier, après l'apport de connaissances sur le traitement des eaux usées, nous ferons le point sur la réutilisation des eaux usées traitées (REUT) qui soulève plusieurs enjeux, tant sur le plan environnemental, économique que social. Cela s'avère crucial en raison de la forte demande en eau et des conséquences actuelles et à venir du réchauffement climatique comme le montre l'illustration ci-après.



Influences du réchauffement climatique sur la disponibilité de la ressource en eau © Mme Pagotto Christelle

La gestion de ces eaux usées représente un défi crucial pour notre planète et dans la lutte pour un avenir durable car, face à la pollution croissante et à la dégradation des ressources naturelles, des solutions innovantes et durables existent pour transformer cette problématique en opportunité, en veillant à préserver nos ressources naturelles. Ces approches ne visent pas seulement à traiter l'eau, mais aussi à préserver notre environnement pour les générations futures.

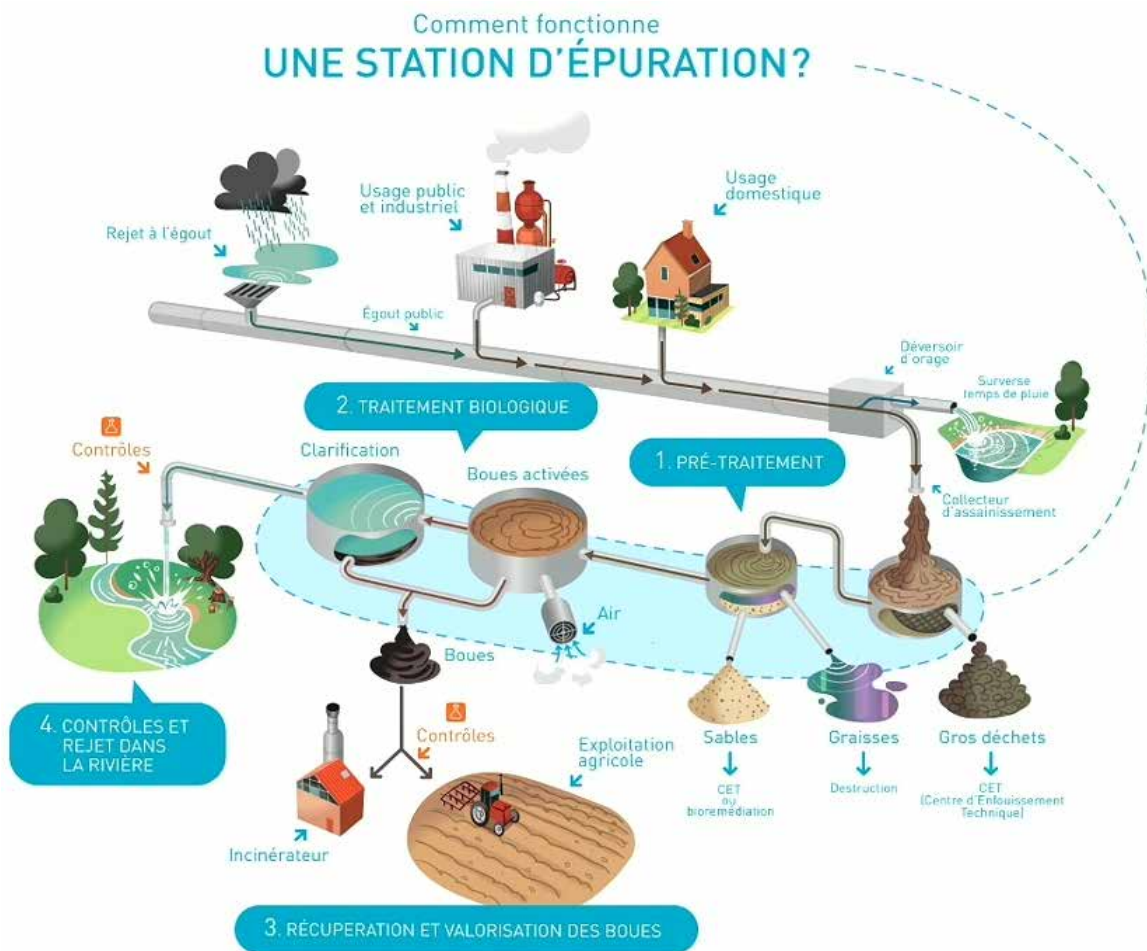
Dans ce dossier, la majorité des illustrations, comme celle-ci-dessus, sont issues de la présentation de Mme Pagotto Christelle lors de sa conférence « [des stations d'épuration toujours plus performantes pour réutiliser les eaux](#) » lors du colloque « Chimie et eau » du 6 novembre 2024. Parfois, elles sont légèrement modifiées.



Eaux polluées de la baie de Guanabara, à Rio de Janeiro au Brésil © Getty

B. Comment traite-t-on les eaux usées ?

Le traitement des eaux usées se fait en plusieurs étapes dans une station d'épuration.



Présentation des étapes de fonctionnement d'une station d'épuration © Mme Pagotto Christelle

Activité 1

Études de plus près l'illustration ci-dessus en utilisant le vocabulaire scientifique adapté.

- 1 Lors de la première étape, celle du pré-traitement, pour quelle(s) raison(s) peut-on séparer les sables, les graisses et l'eau ?

.....

.....

.....

.....

- 2 Lors de la deuxième étape, celle du traitement biologique avec des bactéries aérobies, pourquoi insuffle-t-on de l'air ? Citer les deux raisons principales.

.....

.....

.....

.....

- 3 Lors de la troisième étape, que fait-on des boues récupérées après traitement des eaux usées ?

.....

.....

.....

.....

Activité 2

Par le passé, la chloration des eaux usées était effectuée avant leur libération dans l'environnement. Dorénavant ceci est proscrit en France et d'autres techniques sont éventuellement réalisées après le traitement biologique et avant le rejet à la rivière, comme par exemple l'ultrafiltration et l'utilisation d'ultra-violets. La chloration, en utilisant du dichlore Cl_2 ou de l'hypochlorite de sodium NaClO , est toujours effectuée pour la production de l'eau potable.

Les eaux et extraits de Javel® sont des solutions aqueuses d'hypochlorite de sodium NaClO généralement obtenues en faisant réagir le dichlore Cl_2 sur l'hydroxyde de sodium (parfois appelé soude caustique) NaOH . Ces solutions contiennent aussi du chlorure de sodium NaCl formé au cours de la réaction :



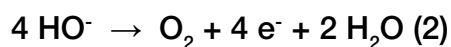
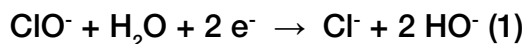
- 1 Ajuster l'équation chimique ci-dessus.

.....

- 2 D'après cette équation chimique ajustée, que peut-on en déduire ? Cocher les deux bonnes réponses.

- La quantité de matière en dichlore (Cl_2) consommé est inférieure à celle en hydroxyde de sodium (NaOH).
- La quantité de matière en dichlore (Cl_2) consommé est égale à celle en hydroxyde de sodium (NaOH).
- La quantité de matière en dichlore (Cl_2) consommé est supérieure à celle en hydroxyde de sodium (NaOH).
- La quantité de matière en dichlore (Cl_2) consommé est inférieure à celle formée en hypochlorite de sodium (NaClO).
- La quantité de matière en dichlore (Cl_2) consommé est égale à celle formée en hypochlorite de sodium (NaClO).
- La quantité de matière en dichlore (Cl_2) consommé est supérieure à celle formée en hypochlorite de sodium (NaClO).

Toute solution aqueuse d'ions hypochlorite ClO^- est instable en présence d'eau. Voici les deux demi-équations électroniques en milieu basique (présence d'ions HO^-) mises en jeu :



3 L'ion hypochlorite ClO^- est-il un oxydant ou un réducteur ? Justifier.

.....

.....

.....

4 D'après la demi-équation (1), donner le couple rédox associé à l'ion ClO^- .

.....

.....

.....

5 En déduire l'équation associée à l'instabilité de l'ion hypochlorite ClO^- en utilisant les demi-équations électroniques (1) et (2). Expliciter la démarche.

.....

.....

.....

À noter!

En réalité cette réaction est lente, c'est la raison pour laquelle il est possible d'acheter et de conserver de l'eau de Javel® chez soi. On observera que l'eau de Javel® est vendue dans des récipients opaques pour éviter l'action de la lumière qui accélère la réaction de décomposition. De même, il est indiqué sur l'emballage de la stocker à un endroit frais. En effet la chaleur accélère aussi la réaction. Malgré tout, la concentration en hypochlorite qui est l'espèce désinfectante, virulicide et bactéricide, diminuera petit à petit au cours du temps.

C. Que faire des eaux usées traitées ?

La majeure partie des eaux usées traitées est rejetée dans les cours d'eau, mers et océans en France.

La réutilisation des eaux usées traitées (REUT) est toutefois possible dans divers domaines suivant les textes réglementaires européens en vigueur, interdisant par exemple son emploi comme source d'eau potable.

Connaître la réglementation - Que faut-il savoir ?

Ce qu'il est possible de faire et principaux textes applicables
(EUT sortie station d'épuration urbaine)



Les champs d'application possibles pour les eaux usées traitées © Mme Pagotto Christelle

Mais la réutilisation des eaux usées traitées soulève cinq enjeux principaux :

- 1. Les enjeux environnementaux :**
 - o réduction de la pression sur les ressources en eau ;
 - o préservation des écosystèmes.
- 2. Les enjeux de santé publique :**
 - o qualité et sécurité de l'eau ;
 - o perception du risque.
- 3. Les enjeux économiques :**
 - o coût des infrastructures et des technologies ;
 - o création d'une économie circulaire.
- 4. Les enjeux sociaux et éthiques :**
 - o acceptabilité sociale ;
 - o inégalités d'accès à l'eau.
- 5. Les enjeux réglementaires et législatifs :**
 - o normes et régulations.
 - o gestion des risques liés à la contamination.

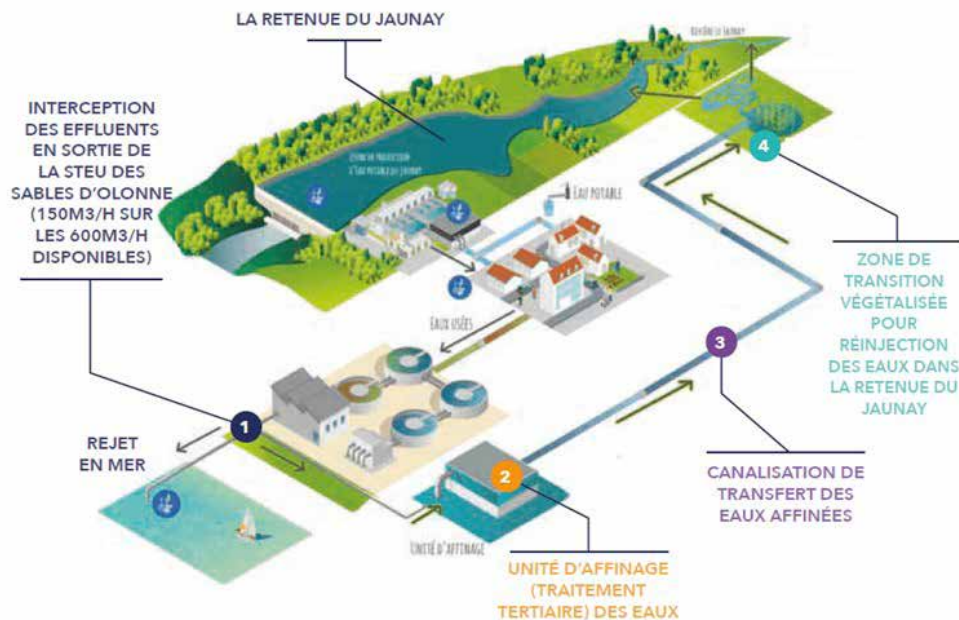
Activité 3

En France, comme dans le reste du monde, il faut innover pour épurer nos eaux usées.

Plutôt qu’être rejetée et perdue en plein océan, une partie des eaux, en sortie de station d’épuration des Sables d’Olonne, est d’abord récupérée pour subir un traitement complémentaire au sein d’une unité d’affinage. Les eaux affinées sont ensuite acheminées sur 27 km via une canalisation en direction du barrage du Jaunay où elles circuleront au sein d’une zone végétalisée. Les eaux sont alors mélangées à celles de la rivière et transitent lentement dans la retenue du Jaunay.

Elles terminent leur circuit par l’usine de production d’eau potable du Jaunay qui rendra l’eau consommable pour les usagers.

Vous pouvez prendre connaissance du programme Jourdain en cliquant [ici](#). Une fiche téléchargeable est aussi disponible [là](#).



Le programme Jourdain © Vendée Eau

À partir de toutes les informations à votre disposition, cocher l’unique proposition juste à chaque fois.

1 Quel est l’objectif principal du programme Jourdain ?

- A) Réduire la consommation d’eau potable en Vendée.
- B) Réutiliser les eaux usées traitées pour la recharge d’un cours d’eau servant à la production d’eau potable.
- C) Développer l’irrigation agricole en Pays-de-la-Loire.
- D) Supprimer le rejet d’eaux usées dans l’océan Atlantique.

2 Quel pourcentage du débit d’eau traité à la station du Petit Plessis des Sables-d’Olonne sera réutilisé ?

- A) 10 %
- B) 25 %
- C) 50 %
- D) 75 %

3 Où l'eau affinée est-elle rejetée avant d'atteindre la rivière du Jaunay ?

- A) Dans l'océan Atlantique.
- B) Directement dans la retenue du Jaunay.
- C) Dans une zone végétalisée.
- D) Dans un réservoir souterrain.

4 Quelle est la capacité de traitement prévue après 2027 sous réserve d'autorisation ?

- A) 300 m³/h
- B) 450 m³/h
- C) 600 m³/h
- D) 1000 m³/h

E. Conclusion

Épurer les eaux usées est une démarche indispensable pour préserver la santé publique et protéger l'environnement. La réutilisation des eaux usées traitées présente des avantages considérables, mais nécessite une gestion rigoureuse pour garantir la qualité, la sécurité, et l'acceptation de cette pratique à large échelle. En France, nous en sommes encore loin par rapport à d'autres pays, car nous rejetons près de 99 % de nos eaux usées traitées. Il faudra donc convaincre tous les acteurs, dont la population, du bien-fondé de la réutilisation de nos eaux usées traitées.



La réutilisation des eaux usées et traitées en Europe © M. Mahey

Pour en savoir plus

- Conférence Chimie et eau... du 06/11/2024 – La Maison de la Chimie.
- Des stations d'épuration toujours plus performantes pour réutiliser les eaux - Christelle PAGOTTO et Stanislas POURADIER DUTEIL - Veolia Eau France
- Dossier Chimie et eau, origines et détections de micropolluants DGESCO / NATHAN / MAISON DE LA CHIMIE – Éric Bausson - Mediachimie

Activité 1

1. Par décantation, on peut séparer les composés non miscibles ou d'autres insolubles dans l'eau. Les sables, plus denses que l'eau sont au fond du bassin et les graisses moins denses sont au-dessus de l'eau.

2. De l'air est insufflé dans le bassin de boues activées. Cela permet d'apporter aux bactéries aérobies le dioxygène dont ils ont besoin et de brasser les boues pour assurer un contact intime entre le milieu vivant, les éléments polluants et l'eau ainsi oxygénée.

3. Les boues peuvent être épandues sur des terres agricoles, incinérées ou mises en décharge. Bien que non cité sur le schéma, elles peuvent aussi subir un processus biologique anaérobie qui consiste en une dégradation de la matière organique en l'absence de dioxygène par des micro-organismes, ce qui permet de générer du biogaz contenant majoritairement du méthane, qui pourra servir de source d'énergie.

Activité 2

1. $\text{Cl}_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{NaClO}$

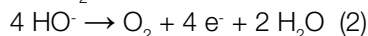
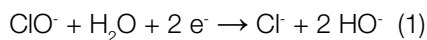
2. Voici les deux réponses en lisant correctement l'équation chimique ajustée ci-dessus :

- La quantité de matière en dichlore (Cl_2) consommé est inférieure à celle en hydroxyde de sodium (NaOH).
- La quantité de matière en dichlore (Cl_2) consommé est égale à celle formée en hypochlorite de sodium (NaClO).

3. L'ion hypochlorite ClO^- est un oxydant car il capte des électrons.

4. D'après $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^- + 2 \text{HO}^-$ (1), le couple oxydant / réducteur contenant l'élément chlore est $\text{ClO}^- / \text{Cl}^-$.

5. Partons des deux demi-équations électroniques données :

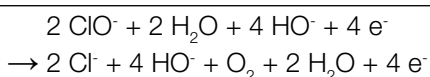
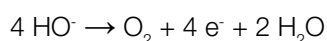
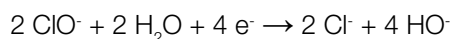


Pour échanger le même nombre d'électrons, ici quatre, il faut multiplier la demi-équation (1) par deux.

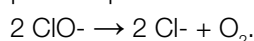
On obtient la demi-équation électronique suivante :



À celle-ci, on ajoute la demi-équation électronique (2) pour effectuer le bilan lors de l'échange de quatre électrons :



Nous obtenons après simplification :

**Activité 3**

1. B) Réutiliser les eaux usées traitées pour la recharge d'un cours d'eau servant à la production d'eau potable.

2. B) 25 %

3. C) Dans une zone végétalisée

4. C) 600 m³/h

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'obtention d'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.

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 (voir partie B de ce document)

Les eaux usées domestiques sont les eaux ménagères (salles de bains et cuisines) chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques... et les 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.

Les traitements des eaux usées ont pour but de les dépolluer avant de les rejeter dans la mer ou dans une rivière. Mais attention, cette eau dépolluée n'est pas potable!

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 sur le site Mediachimie :

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

- **Les eaux non conventionnelles (voir partie C de ce document)**

L'eau potable est très souvent utilisée pour des usages ménagers ou industriels ne nécessitant pas un tel niveau de pureté. La pression exercée sur les ressources en eau douce conduit à envisager, dès que c'est possible, dans une démarche de gestion durable, la réutilisation des **eaux dites non conventionnelles** que sont les eaux usées traitées (REUT) mais aussi les eaux de pluie issues des toitures, les eaux pluviales issues d'un ruissellement, les eaux de piscine, les eaux d'exhaure (eaux extraites de l'eau d'infiltration contenue dans le sol ou dans une cavité, typiquement de l'eau souterraine). Ces eaux peuvent être utilisées par exemple pour l'irrigation agricole, le nettoyage des voiries, l'arrosage d'espaces verts ou dans de nombreux usages industriels.

Aujourd'hui, seules 0,6 % des eaux usées traitées sont réutilisées en France alors qu'en Italie le pourcentage est de 8 %, 14 % en Espagne et 84 % en Israël. Le plan eau 2023 en France prévoit de porter ce pourcentage à 10 % en 2030.

Un futur possible d'utilisation des eaux dépolluées avant rejet : 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 :

- [Comprendre le programme Jourdain.](#)



Unité pilote des Sables d'Olonne pour la production d'eau potable à partir d'eaux usées traitées © Vendée Eau.

A. LES MÉTIERS

La filière française de l'eau représente un secteur économique de première importance, avec environ 124 000 emplois. 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. Les dernières innovations reposent sur l'évolution de la spectrométrie de masse, la chromatographie multidimensionnelle, la micro-extraction en phase solide...

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



Technicien du traitement de l'eau © Énergie recrute

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.

L'essentiel des métiers de l'eau



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.

À l'issue d'un bac général ou technologique, 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 aux métiers de l'eau 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 bioanalyses et contrôles ;
- BUT chimie ;
- BUT mesures physiques (option analyse).

On peut aussi citer comme licence professionnelle la 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 \(H/F\)](#)

Si l'on souhaite une sortie sur le marché du travail 5 ans après le bac, consulter l'entrée des parcours de formation sur Mediachimie [Bac +5/8 : vers les métiers d'ingénieurs et de chercheurs](#).

On pourra choisir une formation telles qu'une école d'ingénieur en chimie ou un master chimie avec une spécialisation en analyse ou contrôle et qualité

Ces formations permettront de conduire à des métiers comme par exemple ceux décrits par les fiches suivantes :

- [Responsable de laboratoire d'analyses / contrôle qualité \(H/F\)](#)
- [Ingénieur chimiste](#)
- [Responsable Assurance Qualité \(H/F\)](#)



Analyse qualité de l'eau en Métropole Nice Côte d'Azur © Métropole Nice

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](#)