

The background features a large, stylized splash of water in shades of blue and white. Scattered throughout are several circular icons, each containing a different image related to water and chemistry: a water tap with a green plant, a person in a lab coat pouring liquid, a molecular structure with a water droplet, a hand holding a globe with a tap, a wastewater treatment plant, and a close-up of a water filter.

Mercredi 6  
novembre 2024

Chimie et  
eau

Recueil des  
résumés



Fondation de la Maison de la Chimie

Maison de la Chimie  
28 bis rue Saint-Dominique 75007 Paris





## RÉSUMÉS des CONFÉRENCES

(dans l'ordre du programme)

	Pages
<b>CONFÉRENCES PLENIÈRES d'OUVERTURE</b>	
<b>Marie-Hélène AUBERT</b> <i>L'eau, enjeu vital, ressources et tensions.</i>	03
<b>Bertrand DECHARME</b> <i>Le cycle continental de l'eau et la ressource mondiale associée : évolution récente et projections futures.</i>	04
<b>TABLE RONDE : Préserver la ressource - Eaux potables et industrielles</b>	
<b>Patrick CLERET</b> <i>Préserver la ressource eau - Exemple de la Chimie.</i>	06
<b>Patrick RENCK</b> <i>Actions concrètes de réduction des prélèvements d'eaux industrielles.</i>	07
<b>Christelle PAGOTTO</b> <i>Des stations d'épuration toujours plus performantes pour réutiliser les eaux.</i>	08
<b>Fabrice LETENEUR - Jérôme MONTAGNIER</b> <i>Cas concret de réutilisation d'eaux industrielles dans l'industrie laitière.</i>	09
<b>Jean-Baptiste THUBERT</b> <i>Osiose Inverse : de la fabrication des membranes à l'exploitation des méga-usines ; réalisations et perspectives.</i>	10

## RÉSUMÉS des CONFÉRENCES

(dans l'ordre du programme)

### SESSIONS DE L'APRÈS-MIDI

#### Eau et Innovation

	Pages
<b>Cécile MIÈGE</b> <i>Les micropolluants organiques : méthodologies innovantes pour mieux les explorer dans les rejets et les milieux aquatiques.</i>	11
<b>Laurent MOULIN</b> <i>Traitement des contaminants dans les usines de potabilisation.</i>	13
<b>Thomas THIEBAULT</b> <i>Les techniques analytiques pour évaluer la santé des populations par les eaux usées.</i>	14
<b>Andrea FLOSSMANN</b> <i>L'ensemencement des nuages, progrès et limites.</i>	15
<b>Alain DUPUY</b> <i>Chimie et eaux souterraines.</i>	16

## CONFÉRENCES PLENIÈRES D'OUVERTURE

### L'Eau, enjeu vital, ressources et tensions.

Marie-Hélène AUBERT

*Inspectrice générale honoraire de l'environnement et du développement durable  
Ancienne parlementaire*

Sans eau, aucune vie et activité humaine possible, on l'oublie souvent. Bien qu'encore sous-estimé, l'accès à l'eau douce a toujours été un enjeu stratégique pour les sociétés humaines et les nations, et ce depuis l'Antiquité. Mais la répartition des ressources en eau sur la planète, par ailleurs non extensibles, est très inégalitaire, de même que l'accès à l'eau potable et l'assainissement des eaux usées. Pour ces raisons, l'eau constitue aujourd'hui un objectif essentiel (le 6<sup>ème</sup>) au sein des 17 Objectifs de Développement Durable de l'Agenda 2030, adopté par l'Assemblée générale des Nations Unies en septembre 2015.

À l'ère moderne, les ressources en eau et les infrastructures dédiées à leur acheminement, à leur potabilisation et à leur assainissement, vitales pour les populations, sont devenues progressivement des cibles et même des armes de destruction, lors de conflits armés qui touchent gravement les sociétés civiles, comme on le voit actuellement en Ukraine ou au Proche Orient, contrairement aux conventions internationales sur le droit de la guerre.

Le réchauffement climatique aggrave encore les tensions liées à l'eau, dans les régions du monde les plus touchées par des sécheresses ou des inondations à des niveaux jamais atteints, devenues parfois inhabitables, alors que la demande en eau explose avec la pression démographique et des modèles économiques extrêmement consommateurs.

L'eau devient ainsi un enjeu crucial de sécurité collective, dans tous les sens du terme, qui nécessite de nouvelles stratégies de coopération et de dialogue transversal à tous les niveaux, et une hydro-diplomatie renforcée.

#### **Références :**

- Rapport annuel des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, L'eau pour la prospérité et la paix, mars 2024 (accessible gratuitement en ligne)
- Franck Galland, Guerre et eau, L'eau, enjeu stratégique des conflits modernes, Ed. Robert Laffont, 2021

**Mots Clés :** ODD 6, Guerres de l'eau.



## Le cycle continental de l'eau et la ressource mondiale associée : évolution récente et projections futures.

Bertrand DECHARME, Maya Costantini, Jeanne Colin

*Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), Météo-France,  
CNRS, Université de Toulouse*

Dans cet exposé, nous parlerons de la partie continentale du cycle de l'eau et de l'évolution récente et future de la ressource mondiale en eau. Ce cycle est un processus concomitant sans début ni fin qui lie les mécanismes régissant le stockage et les transferts d'eau entre les océans, l'atmosphère et les surfaces continentales. Le changement climatique engendre une accélération de ce cycle directement liée à l'augmentation de la température moyenne de la Terre. À l'échelle mondiale, cette accélération se traduit par une modification des précipitations et de l'évapotranspiration, ce qui pourrait creuser d'ici la fin du siècle les inégalités d'accès à la ressource en eau entre différentes régions du monde. Les modèles climatiques prévoient une augmentation des précipitations dans certaines régions et une diminution dans d'autres, avec des conséquences variées sur les ressources en eau (1,2). Les régions arides pourraient devenir encore plus sèches, et inversement pour les régions humides.

Cependant, le changement climatique n'est pas le seul élément perturbateur de ce cycle continental de l'eau. L'être humain, comme tout être vivant, a besoin d'eau pour vivre. Contrairement aux autres animaux, il ne s'en sert pas uniquement pour s'hydrater, mais également pour s'alimenter (agriculture), créer de l'énergie, faire tourner des industries, éteindre des incendies, laver des voitures, etc. Elle peut même avoir des usages récréatifs (jeux d'eau, golfs, piscines...) ou répressifs (canons à eau lors de manifestations). Toutes ces utilisations, plus ou moins indispensables, représentent une quantité phénoménale d'eau que les humains puisent dans les réserves hydrologiques. La plus grosse partie de ces réserves en eau douce, environ 70%, n'est pas exploitable car elle est gelée dans les glaciers continentaux et les calottes polaires groenlandaises et antarctiques. Près de 29% est profondément enfouie dans les aquifères, ces formations géologiques du sous-sol constituées par des roches poreuses ou fracturées contenant les eaux souterraines. Seulement 1% est stockée dans les eaux de surface, c'est à dire les lacs, les barrages, les rivières, les marais et les sols superficiels (3).

On estime que 70% de l'eau douce prélevée dans ces réservoirs (surfaces et aquifères) est dédiée à l'agriculture, majoritairement pour l'irrigation. L'industrie utilise 20% de cette eau et les 10% restants servent à notre usage domestique (4). Ces prélèvements en eau ont un impact sur la partie continentale du cycle hydrologique, modifiant les stocks et les flux. Nous montrerons dans cette conférence que dans certaines régions du monde, ces prélèvements en eau, essentiellement liés à l'irrigation, induisent une dette hydrique mondiale qui devrait continuer inexorablement à croître jusqu'à la fin du siècle (2). La combinaison des impacts du changement climatique et des prélèvements anthropiques pourrait donc menacer la durabilité de la ressource en eau dans plusieurs régions du monde.



**Références :**

1. Costantini M, Colin J, Decharme B. Projected Climate-Driven Changes of Water Table Depth in the World's Major Groundwater Basins. *Earth's Futur* [Internet]. 2023 Mar 1 [cited 2023 Nov 8];11(3):e2022EF003068. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2022EF003068>
2. Costantini M. Étude de l'évolution de la ressource mondiale en eau dans un contexte de changement climatique [Internet]. [Toulouse]: Université Toulouse 3 Paul Sabatier; 2023 [cited 2024 Jul 3]. Available from: <http://thesesups.ups-tlse.fr/5999/1/2023TOU30356.pdf>
3. Hornberger GM, Raffensperger JP, Wiberg PL, Eshleman KN. *Elements of physical hydrology*. Baltimore and London, 302 pp.: Johns Hopkins University Press; 1998. 302 p.
4. Siebert S, Burke J, Faures JM, Frenken K, Hoogeveen J, Döll P, et al. Groundwater use for irrigation - A global inventory. *Hydrol Earth Syst Sci*. 2010;14(10):1863–80.

**Mots Clés :** Cycle de l'eau, Changement climatique, Prélèvements anthropiques, Ressources en eau.

## TABLE RONDE : Préserver la ressource - Eaux potables et industrielles

### Préserver la ressource eau - Exemple de la Chimie.

Patrick CLERET

Directeur des affaires techniques - France Chimie

- Rappel du volume total prélevé par la Chimie : 1,3 milliard m<sup>3</sup>/an (chiffres 2021) avec les répartitions suivantes :
  - Eaux de surface 650 Mm<sup>3</sup>
  - Eaux souterraines 300 Mm<sup>3</sup>
  - Eaux de mer 325 Mm<sup>3</sup>
  - Eau de distribution 50 Mm<sup>3</sup>
- Donner les principales utilisations de l'eau dans notre secteur : essentiellement pour le refroidissement des installations et des masses réactionnelles et le lavage des unités. À un degré moindre pour produire de la vapeur et comme matière première dans nos procédés.
- -Expliquer que la Chimie a déjà réduit de 30% ses prélèvements entre 2000 et 2020 mais que cela n'est pas suffisant. Expliciter les raisons qui font que c'est un sujet majeur pour nous (impact des aléas climatiques sur nos activités, engagement de la chimie dans le développement durable et la RSE, impact économique, ...).
- -Expliquer la stratégie d'efficacité hydrique et le plan d'actions associé que France Chimie a construit depuis 2022 à destination de ses adhérents :
  - Établissement d'une grille d'autoévaluation avec une centaine de questions pour que chaque site puisse identifier là où il doit axer son plan d'actions.
  - Élaboration d'un Guide pratique de l'eau rappelant les nouveaux enjeux de l'eau mais regroupant également une vingtaine de fiches thématiques (quelques exemples concrets seront donnés en séance) pour aider chaque site en fonction des actions qu'il compte lancer et quelques retours d'expérience.
  - Support initial aux 22 sites de la chimie du Top 50 des plus gros préleveurs industriels français pour établir leur feuille de route pour atteindre l'objectif que le gouvernement leur a fixé de réduction d'au moins 10% des prélèvements d'ici 2030.
  - Renfort de l'équipe dès mi-2023 pour accentuer la dynamique au-delà des 22 plus gros préleveurs et embarquer dans ce projet de plus petites entreprises.
  - Établissement d'un Plan de Sobriété Hydrique pour la filière Chimie et Matériaux.

**Mots Clés :** Efficacité hydrique, Préservation de la ressource en Eau, Responsabilité, Engagement, Chimie.

## Actions concrètes de réduction des prélèvements d'eaux industrielles.

Patrick RENCK

Responsable Environnement - ALSACHIMIE

La réduction des prélèvements d'eaux en milieu industriel peut s'avérer très complexe surtout dans un contexte avec des installations interconnectées et anciennes dont la conception n'a pas été prévue pour optimiser les flux d'eau.

L'efficacité hydrique nécessite donc une stratégie globale, systémique et intégrée qui peut se comparer aux méthodes utilisées pour améliorer l'efficacité énergétique.

Il est important de noter que quantité et qualité de l'eau sont indissociables pour étudier et engager des actions d'améliorations.

La première phase consiste souvent à acquérir ou améliorer la compréhension des flux physiques et le processus de gestion de l'eau. Cet état des lieux, qui doit aboutir sur un schéma procédé global, est primordial pour combiner les actions suivantes :

- Contrôle de l'intégrité du réseau interne de distribution soit par des moyens spécifiques (recherche de fuites) soit en réalisant la balance comptable entrées/sorties.
- Vérification que l'ensemble des flux utilisés sont mesurés avec la précision requise et avec des instruments adaptés et fiables.
- Amélioration de la performance des installations de traitement, distribution et utilisations de l'eau.
- Évolution des utilisations de l'eau par des procédés plus sobres ou en modifiant des installations.
- Amélioration du pilotage des équipements de production (régulations sur les échangeurs, réduction de la quantité d'eau lors des phases transitoires, ...).
- Réorganisation et valorisation des effluents (tri des effluents, réutilisation d'effluents sans traitement, ...).
- Valorisation éventuelle des eaux pluviales (réutilisation pour certaines opérations de lavage, ...).
- Réflexion sur les différentes opérations utilisant de l'eau afin d'apporter des modifications de pratiques opératoires (limitation des quantités d'eau lors des opérations de lavage, ...).
- Sensibilisation et formation des exploitants et de tous les acteurs ayant un impact sur les quantités d'eau utilisées.

La stratégie doit également comporter un volet sur les impacts indirects de la réduction des prélèvements d'eau (concentration des effluents, conformité réglementaire, ...).

Enfin, la réussite nécessite impérativement l'implication de l'ensemble des collaborateurs de l'entreprise.

**Mots Clés :** Efficacité hydrique, Valorisation, Eaux pluviales, Optimisation, Pilotage.

## Des stations d'épuration toujours plus performantes pour réutiliser les eaux.

Christelle PAGOTTO

*Direction technique, Veolia Eau France*

Dans un contexte de changement climatique et de bouleversement du cycle de l'eau, divers impacts sur les services d'eau et d'assainissement sont attendus, notamment des tensions sur les ressources en eau. Des adaptations vont ainsi être nécessaires : sobriété des usages, recours à de nouvelles ressources dites non conventionnelles (eaux de pluie, eaux usées traitées, ...).

Le « plan eau » adopté par le gouvernement au printemps 2023 annonce ainsi 53 mesures pour l'eau. Parmi ces mesures, une vise à favoriser le recours aux eaux non conventionnelles avec un objectif de 1 000 projets à horizon 2027.

Jusqu'à présent, la réutilisation des eaux usées traitées restait peu développée en France comparée à d'autres pays européens (Espagne, Italie, ...) : elle représente en effet moins de quelques pourcents des eaux usées traitées produites. Divers freins existaient tels que relevés par l'ASTEE : freins d'ordre réglementaire, économique, acceptabilité ...

Suite au plan eau, plusieurs grands chantiers réglementaires apportent à présent plus de souplesse. L'usage des eaux usées traitées peut être envisagé après une démarche d'autorisation préalable, pour de l'irrigation agricole, l'arrosage d'espaces verts, des usages urbains, ... sous réserve de respecter certaines prescriptions en matière de seuils de qualité (pour les microorganismes notamment), conditions d'usage, ...

Aussi, des solutions techniques se développent pour mieux traiter les eaux usées et notamment les désinfecter (UV, ultrafiltration, ...) et atteindre les qualités d'eau requises. Cela permet ainsi de faire des eaux usées une nouvelle ressource pour divers usages.

Pour illustrer ce qui peut être fait, divers REX (Retours d'Expériences) seront présentés (Sainte-Maxime (arrosage espaces verts et golfs), Romans sur Isère (usages internes sur la station d'épuration), ...).

### **Références :**

- *Plan eau, 2023, Dossiers de presse. [Disponible en ligne](#)*
- *ASTEE, 2023, Favoriser le recours aux eaux non conventionnelles, synthèse des travaux, 5 Tomes. [Disponible en ligne](#)*

**Mots Clés :** Changement climatique, Réutilisation des eaux usées traitées.

## **Cas concret de réutilisation d'eaux industrielles dans l'industrie laitière.**

**Fabrice LETENEUR**<sup>a</sup>, Jérôme MONTAGNIER<sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> *Président Syprodeau, Président néEAU*

<sup>b</sup> *Membre Syprodeau / Directeur Général DR.KUEKE*

La France connaît une situation de crise dans l'approvisionnement en eau notamment depuis 2022.

Les consommateurs et les industriels doivent donc miser sur la sobriété.

Les entreprises industrielles dépendent de l'eau pour fonctionner et se développer : les problématiques liées à la qualité de l'eau représentent un risque croissant pour les exploitations.

Le secteur agroalimentaire, dépendant de ressources en eau, se mobilise pour une évolution du cadre réglementaire s'agissant de la réutilisation des eaux non conventionnelles.

L'approche est de réduire, réutiliser et recycler avec un objectif de 100% de réduction de la consommation.

Le plan Eau permet la levée des barrières réglementaires avec la parution des décrets et arrêtés.

Différents types d'eau sont rencontrés dans l'industrie agro-alimentaire.

Le REUSE/REUT permet selon ces types d'eau une réutilisation des eaux issues des matières premières, des processus recyclés, des eaux usées traitées recyclées. La réutilisation d'autres types d'eau spécifique reste interdite.

Il existe aussi des freins économiques : le coût de l'eau est minimum pour un industriel mais l'eau recyclée est rarement compétitive.

Des politiques publiques devraient être mises en place pour inciter les entreprises à investir dans des solutions innovantes de meilleure gestion de l'eau.

### **Références :**

- Décret du 29 août 2023 - les usages et conditions d'utilisation des eaux pluviales et des eaux usées traitées.
- Décret du 24 janvier 2024 – cadre général de la production et de l'utilisation des eaux réutilisées pour la préparation de denrées alimentaires.
- Décret du 8 juillet 2024 autorisant l'utilisation de certaines eaux recyclées comme ingrédient entrant dans la composition des denrées alimentaires finales.
- Arrêté du 8 juillet 2024 mettant en œuvre les décrets du 24 janvier 2024 et 8 juillet 2024.

**Mots Clés :** Reuse, Reute, Recyclage, Eau.



## Osmose Inverse : de la fabrication des membranes à l'exploitation des méga-usines ; réalisations et perspectives.

Jean-Baptiste THUBERT<sup>a,b</sup>, Hervé BUISSON<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Directeur Technique et Innovation, <sup>b</sup> Veolia Water Technologies

L'osmose inverse, procédé de séparation membranaire, est largement utilisée pour purifier l'eau en éliminant les contaminants dissous. Ses applications principales incluent le dessalement de l'eau de mer, traitant plus de 100 millions de m<sup>3</sup> par jour à l'échelle mondiale, la production d'eau ultrapure, le traitement des eaux usées (notamment pour la réutilisation des eaux usées traitées). Le marché global de l'osmose inverse est estimé à plus de 8 milliards de dollars par an, avec une croissance annuelle d'environ 7%.

Les membranes d'osmose inverse, généralement fabriquées à partir de polymères synthétiques comme le polyamide ou l'acétate de cellulose, font l'objet d'avancées constantes. L'utilisation de nanomatériaux pour améliorer la perméabilité et la sélectivité, ainsi que le développement de membranes anti-encrassement, représentent les innovations récentes les plus notables, permettant d'atteindre des taux de rejet de sel supérieurs à 99,8%.

L'intégration de l'osmose inverse dans les filières de traitement de l'eau implique un prétraitement, le procédé lui-même, et un post-traitement. Veolia, leader mondial dans ce domaine, a démontré l'efficacité de cette approche intégrée dans des projets majeurs dans le monde entier (Australie, Moyen Orient, Afrique du nord...). L'optimisation de ces filières est cruciale pour maximiser l'efficacité et minimiser les coûts opérationnels, qui peuvent varier de 0,5 à 1,5 \$/m<sup>3</sup> d'eau produite.

La consommation énergétique demeure un défi majeur, représentant environ 30 à 50% des coûts opérationnels. Veolia a relevé ce défi dans des projets comme l'usine de Sur à Oman, où des systèmes de récupération d'énergie innovants ont permis de réduire la consommation à moins de 3 kWh/m<sup>3</sup>. L'intégration d'énergies renouvelables (énergie solaire, éolienne...) illustre les avancées en matière de développement durable.

Les perspectives futures de l'osmose inverse s'orientent vers le développement de membranes intrinsèquement plus performantes ou pilotées de manière plus "intelligentes", l'amélioration continue de l'efficacité énergétique, et une intégration plus poussée avec d'autres technologies de traitement. Les méga-usines de dessalement par osmose inverse, dont certaines atteignent des capacités de production de plus de 1 million de m<sup>3</sup>/jour, joueront un rôle crucial dans la sécurité hydrique mondiale, de même que celles de réutilisation des eaux usées. Veolia, avec son expertise dans la conception et l'exploitation de telles installations, est bien positionné pour relever les défis futurs de la durabilité environnementale et économique dans ce secteur en pleine expansion.

**Mots Clés :** Osmose Inverse, Dessalement, Réutilisation des Eaux Usées.

## Session Eau et Innovation

### Les micropolluants organiques : méthodologies innovantes pour mieux les explorer dans les rejets et les milieux aquatiques.

Cécile MIÈGE

Directrice de recherche en chimie environnementale - INRAE, UR RiverLy

Les **micropolluants organiques** sont des molécules issues de l'industrie chimique que l'on retrouve fortuitement dans l'Environnement dans lequel ils ont une action toxique à des concentrations infimes ( $< \mu\text{g.L}^{-1}$  dans les eaux,  $< \mu\text{g.kg}^{-1}$  dans les particules en suspension ou sédimentées). On peut citer comme exemples : les pesticides à usage phytosanitaire ; les molécules à usage tensioactif (e.g. alkylphénols, alkylbenzènes sulfonates, ...) ; les molécules à usage retardateur de flammes (e.g. polychlorobiphényles-PCB, polybromodiphényléthers-PBDE, ...) ou imperméabilisant et antiadhésif (e.g. perfluorés-PFAS, ...) ; les molécules pharmaceutiques et hormones à usage thérapeutique ; les filtres UV et agents humectant à usage cosmétique ; les colorants à usage agroalimentaire ; les molécules à usage de conservateur (e.g. parabènes dans les cosmétiques, ...), etc. Ce type de **pollution chimique** représente la **5<sup>ème</sup> limite planétaire** (sur 9) franchie selon les scientifiques du SRC (Stockholm Resilience Center, Persson *et al.*, 2022<sup>1</sup>), et est considéré comme l'un des principaux facteurs responsables du **déclin de la biodiversité** selon la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, rapport 2019<sup>2</sup>).

Un premier défi pour étudier ces micropolluants concerne leur échantillonnage dans les rejets et les milieux aquatiques. Il doit être représentatif dans le temps et dans l'espace, c'est-à-dire qu'il doit permettre de comprendre ou d'intégrer la variabilité temporelle ou spatiale. Sur ce sujet, **l'échantillonnage intégratif** par piège à particule<sup>3</sup> pour les matières en suspension ou par échantillonneur passif<sup>4</sup> pour la phase dissoute sont pertinents et se développent.

Un second défi concerne l'analyse de ces molécules, qui est réalisée avec des **techniques chromatographiques couplées à la spectrométrie de masse** (basse ou haute résolution, LRMS ou HRMS). Différentes stratégies d'analyses sont envisageables pour différents niveaux d'informations : i) les **analyses ciblées** permettent de couvrir jusqu'à une cinquantaine de molécules par méthode, et d'avoir une information très précise sur leur identité et leur concentration ; ii) les **analyses suspectées**<sup>5</sup> permettent de couvrir plusieurs centaines de molécules, et d'avoir une information plus globale, sur leur présence ou absence, avec un indice de confiance plus ou moins fort sur leur identité ; iii) les **analyses non ciblées**<sup>5</sup> permettent de couvrir plusieurs milliers de signaux issus de l'HRMS, correspondant à des molécules non identifiées et non nommées, et d'avoir une information encore plus globale et exhaustive.

**Mots Clés :** Molécules d'origine anthropique, Échantillonnage intégratif, Analyses moléculaires non ciblées, Chromatographie, Spectrométrie de masse.

### Références :

1. L. Persson, B.M. Carney Almroth, C.D. Collins, S. Cornell, C.A. de Wit, M.L. Diamond, P. Fantke, M. Hassellöv, M. MacLeod, M.W. Ryberg, P. Sjøgaard Jørgensen, P. Villarrubia-Gómez, Z. Wang, M.Z. Hauschild. Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environ Sci Technol.* 2022; 56(3):1510-1521. doi: [10.1021/acs.est.1c04158](https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158). Epub 2022 Jan 18. PMID: 35038861; PMCID: PMC8811958.
2. S. Díaz, J. Settele, E.S. Brondízio, H.T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneeth, P. Balvanera, K.A. Brauman, S.H.M. Butchart, K.M.A. Chan, L.A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S.M. Subramanian, G.F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y.J. Shin, I.J. Visseren-Hamakers, K.J. Willis, and C.N. Zayas (eds.). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES (2019): IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages.
3. [zabr.assograie.org/wp-content/uploads/2022/03/Fiche\\_outil\\_ZABR\\_PAP.pdf](http://zabr.assograie.org/wp-content/uploads/2022/03/Fiche_outil_ZABR_PAP.pdf)
4. [aquaref.fr/chimie/eip-echantillonnage-integratif-passif](http://aquaref.fr/chimie/eip-echantillonnage-integratif-passif)
5. S. Merel, C. Margoum, K. Rocco, M. Coquery, C. Miège. Intérêt pour la directive cadre européenne sur l'eau de l'analyse chimique non-ciblée de micropolluants organiques dans les milieux aquatiques. *Sciences Eaux & Territoires* 37 (2021), 110-113, [dx.doi.org/10.14758/SET-REVUE.2021.4.20](https://dx.doi.org/10.14758/SET-REVUE.2021.4.20), [hal.inrae.fr/hal-03602658](https://hal.inrae.fr/hal-03602658)

## Traitement des contaminants dans les usines de potabilisation.

Laurent MOULIN

*Responsable du département R&D, DRDQE, Eau de Paris*

Malgré les efforts déployés pour protéger la qualité de ces ressources en eau potable, un certain nombre de contaminants chimiques et microbiologiques d'origine anthropique se retrouvent dans l'eau et nécessitent des traitements spécifiques pour garantir la qualité et la sécurité sanitaire de l'eau distribuée. Les pollutions touchent aussi bien les eaux souterraines et les eaux de surface, même si elles sont souvent différentes. À Eau de Paris par exemple (l'établissement public responsable de la production et de la distribution de l'eau potable pour l'ensemble de Paris intra-muros) la ressource en eau est issue à parts égales des eaux de surface et des eaux souterraines, traitées de façon différentes.

Les avancées technologiques récentes dans le domaine de l'analyse de l'eau, telles que les spectromètres de masse toujours plus performants ou l'introduction de techniques de biologie moléculaire, ont profondément modifié la manière dont les contaminations sont identifiées et quantifiées. Cela a conduit à un renforcement des processus de traitement afin de répondre à ces nouvelles préoccupations. À travers plusieurs exemples, que ce soit en chimie (suivi des métabolites, par exemple) ou en microbiologie (notamment la surveillance des pollutions virales), nous examinerons comment les usines de traitement de l'eau se sont adaptées pour éliminer ces composés récemment identifiés et comment ces nouvelles méthodes analytiques ont été intégrées dans les pratiques de suivi de la qualité de l'eau.

## Les techniques analytiques pour évaluer la santé des populations par les eaux usées.

Thomas THIEBAULT

*Maître de Conférences à l'EPHE-PSL et membre de l'UMR METIS*

Depuis les années 1970, l'impact des rejets d'eaux usées sur la qualité physico-chimique et écologique des milieux aquatiques a été documenté et deux grands mouvements en parallèle ont permis de le limiter, d'un côté l'amélioration de la collecte des eaux usées brutes, et de l'autre l'amélioration des traitements épuratoires dans les stations de traitement des eaux usées. Si des améliorations peuvent encore être apportées, les chercheurs et les opérateurs tournent leur regard de plus en plus vers les eaux usées brutes, considérées comme des mines d'or. Riches en nutriments et en énergie, les eaux usées ont le potentiel d'être considérées non plus seulement comme un déchet, mais comme une ressource. De plus, les eaux usées brutes contiennent un signal moléculaire très diversifié et concentré, car non atténué par les stations d'épuration. Aussi, l'utilisation de cette information moléculaire (contaminant organique, bactéries, virus) pour évaluer l'état de santé des populations s'est fait jour au tournant des années 2000 notamment sur les usages de drogues. Estimer des usages en produits illicites est, par nature, une gageure. Si des entretiens ou des estimations à partir des volumes saisis par les autorités sont classiquement utilisés, la quantification de l'usage de substances illicites reste relativement imprécise, les eaux usées ont donc été proposées en 2001 pour réaliser cette estimation collective dans le but d'un suivi dit objectif, effectué depuis lors à l'échelle européenne. « Dites-moi ce que vous excrétez, je vous dirai ce que vous consommez ».

La pandémie de Covid19 a par la suite provoqué un engouement international autour de cette approche alors que l'analyse rétrospective des eaux usées, notamment à Barcelone et à Milan a démontré la présence de matériel génétique de Sars-Cov2 dès la fin 2019, avant les premiers diagnostics en 2020. Cette capacité de l'eau usée à permettre une veille épidémiologique (dans la mesure où l'on sait ce que l'on doit chercher !) a été exploitée entre 2020 et juillet 2022 dans les principales aires urbaines françaises, environ une quarantaine, dans le cadre du programme OBEPINE.

Aujourd'hui, le principal enjeu pour la communauté scientifique est de lier quantitativement un usage à la présence et la quantité d'une substance dans les eaux usées, ainsi que de poursuivre la diversification des traceurs à utiliser, comme les produits pharmaceutiques, le bol alimentaire ou encore le stress oxydatif. Toutefois, l'eau usée est une matrice complexe à analyser et l'identification de traceur spécifique et quantitatif n'est pas toujours aisée. Aussi, si le potentiel des eaux usées pour évaluer l'état de santé se fait jour, il demeure encore des obstacles à lever, analytiques et conceptuels, pour maximiser cette approche.

**Mots Clés :** Eau usée, Santé, Épidémiologie, Milieu urbain.

## L'ensemencement des nuages, progrès et limites.

Andrea I. FLOSSMANN

*Co-chair WMO/WWRP Expert Team on Weather Modification  
Université Clermont Auvergne*

Le souhait d'influencer la météo en notre faveur semble être codé dans nos gènes. Depuis le début de l'humanité on prie pour la pluie et un temps favorable.

Les progrès de la science nous ont aidé à comprendre le fonctionnement des nuages et le rôle des particules d'aérosol dans leur formation et développement. Récemment, le souhait de changer la météo est devenu urgent dû au changement climatique en cours. Le problème d'une disponibilité fiable de l'eau potable mène de plus en plus de pays à se lancer dans des campagnes de modification du temps en ajoutant des particules d'aérosol qui se substituent ou complètent les particules naturelles. Deux approches sont à distinguer :

Dans la *première*, des particules solubles et grosses sont ajoutées et vont former des gouttes suffisamment grandes pour déclencher la pluie. Dans la *deuxième*, on ajoute des particules qui servent à convertir des gouttes en cristaux de glace (ex : AgI) dans des zones du nuage proche du niveau 0°C dans le but de convertir l'eau en glace précipitante.

L'extrême variabilité naturelle des nuages rend la preuve de l'efficacité de l'ensemencement très difficile. 50 ans après la découverte de l'impact potentiel des particules sur l'évolution du nuage, la preuve scientifique restait introuvable. Seulement depuis les derniers 20 ans, des progrès ont finalement été faits. Dans un souhait de réduire la variabilité naturelle du nuage, une première étude convaincante a été menée dans les nuages hivernaux qui se formaient lors d'une ascension forcée d'air sur un relief montagneux. En utilisant AgI, la campagne a produit de la neige dans un bassin versant de réservoir d'eau. Dans des nuages convectifs des campagnes prometteuses sont en cours qui utilisent la procédure de double aveugle de la médecine et nécessitent un nombre important de cas à traiter.

La présentation va traiter les différentes approches possibles, les progrès, les limites, les verrous et risques des différentes méthodes. On discutera si la modification du temps a le potentiel d'un outil fiable dans un futur imminent.

### **Références :**

*Flossmann, A.I., M. J. Manton, A. Abshaev, R. Bruintjes, M. Murakami, Th. Prabhakaran, Z. Yao: Review of Advances in Precipitation Enhancement Research; Bull. Atm. Met. Soc., 1465-1480, DOI: 10.1175/BAMS-D-18-0160.1, 2019.*

**Mots Clés :** Modification du temps, Provocation de la pluie.

## Chimie et eaux souterraines.

Alain DUPUY<sup>a, b</sup>, Christophe POINSSOT<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Directeur de Programme Scientifique Gestion des eaux souterraines  
Co-directeur du Programme de recherche OneWater - Eau Bien Commun  
<sup>a, b</sup> BRGM

Les eaux souterraines forment du point de vue volumique le deuxième plus grand réservoir d'eau non salée de notre planète avec 30% du volume total<sup>1</sup>, seulement devancé par les glaciers et calottes (~70 %) et largement devant les eaux de surface (~0,5%). À ce titre et du fait d'une accessibilité plus importante sur l'ensemble du territoire que les deux autres réservoirs, les eaux souterraines constituent une ressource essentielle pour la quasi-totalité des activités humaines fondées sur des eaux douces (près des 2/3 tiers de l'eau potable par exemple). C'est pourquoi il est important de suivre leur évolution quantitative comme qualitative, mission qui échoit pour une grande part au BRGM. Bien que globalement qualifiées d'eaux douces, la qualité des eaux souterraines peut varier significativement du fait de constituants naturels présents, ou par les nombreuses substances d'origine humaine introduites par les activités humaines. Quantité et qualité des ressources en eaux sont ainsi les deux faces de la science des eaux souterraines qu'est l'hydrogéologie, et explique la mobilisation de longue date du BRGM pour développer des méthodes d'analyse chimique performante et adaptée à cet environnement.

La chimie permet au travers de la géochimie et de l'hydrochimie de qualifier l'état d'une ressource en eau, d'une nappe ou d'un aquifère. Le suivi et l'évolution des molécules issues de nos activités et introduites dans les nappes et aquifères (i.e. nitrates, phytosanitaires, perturbateurs endocriniens, PFAS...) permet grâce aux développements analytiques et aux outils associés une caractérisation de plus en plus fine de la composition chimique d'une ressource. La chimie permet également d'appréhender l'évolution naturelle de la qualité d'une ressource en fonction de la nature des roches qui contiennent l'eau. La présence et la concentration de certains éléments peuvent ainsi déterminer l'usage final d'une ressource. La présence de sélénium, de fluor ou d'arsenic peut être strictement naturel dans certaines eaux souterraines, mais les valeurs de concentration peuvent en interdire l'usage pour la production d'eau pour l'alimentation humaine, ou aussi en autoriser l'usage à des fins médicales (eaux thermo-minérales).

La chimie a également permis d'appréhender une partie spécifique aux ressources en eau souterraine à savoir l'âge de l'eau. Ce volet de l'hydrogéologie<sup>2</sup> a particulièrement été développé via la chimie isotopique de la molécule d'eau, mais aussi d'éléments pouvant être présents dans les eaux comme les sulfates, le strontium, l'uranium, le thorium, le bore... Les traceurs isotopiques généralement utilisés en hydrogéologie associent des traceurs d'interaction eau-roche, de mélange et d'origine des eaux, de processus..., chaque traceur couvrant une ou plusieurs de ces caractéristiques. L'association de ces outils permet d'améliorer la connaissance sur le fonctionnement des systèmes aquifères et compléter ainsi la vision sur les circulations des eaux souterraines en complément des approches hydrodynamiques.

La chimie joue donc un rôle central dans la compréhension du fonctionnement des aquifères et des ressources en eaux qu'ils contiennent. L'hydrogéologie s'est essentiellement appuyée sur la chimie minérale au début, puis la nature des polluants anthropiques évoluant, la chimie organique a été associée à la caractérisation de la qualité des ressources.



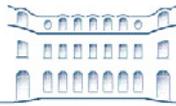
Elle forme le fondement du suivi des molécules et des métabolites actuellement rencontrées dans certaines ressources. Plus récemment encore la biochimie et ses développements dans les milieux naturels du sous-sol ont été utilisés pour la compréhension des circulations des eaux souterraines, la qualification qualitative des ressources en eau par la dégradation de certains métabolites ou encore la présence ou le suivi de certains microorganismes dans le sous-sol.

**Références :**

1 : OIEau, *La part d'eau douce sur Terre*, 2017

2 : L. Ortega et L. Gil, *L'Eau : Hydrologie isotopique. Bulletin de l'AIEA*, avril 2019, 2019

**Mots Clés :** Hydrogéologie, Qualité des ressources en eau, Contaminants.



**Fondation de la Maison de la Chimie**

Maison de la Chimie  
28 bis rue Saint-Dominique 75007 Paris