

## Présentation du livre

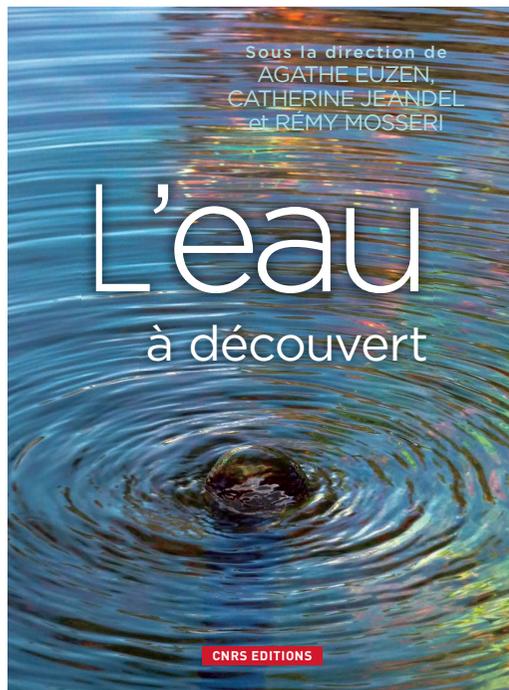
par Agathe Euzen

Chercheur CNRS - LATTs  
Directrice adjointe scientifique INEE - CNRS

13 avril 2016, Paris



*Quelle est l'origine de l'eau ?  
Quels rôles dans l'histoire de la planète ?  
Dans le développement de la vie ? Allons-nous  
manquer d'eau ? Comment les sociétés  
l'utilisent-elles ? L'eau est-elle source de  
conflits ? Quels risques pour la santé ?*



> **146 ARTICLES**

> **365 PAGES**

*Pour préparer cet ouvrage et choisir les auteurs, un comité de pilotage pluridisciplinaire a été formé, composé de :*

*Claire Albasl, chimiste*

*Paul Arnould, géographe*

*Gudrun Bornette, écologue*

*Hélène Budzinski, écotoxicologue*

*Thierry Caquet, écotoxicologie*

*Nathalie Dörfliger, hydrogéologue*

*Agnès Ducharne, hydrologue*

*Katla Fajerweg, électrochimiste*

*Patrick Flammarion, écotoxicologue*

*Stéphane Ghlotli, géographe*

*Bertrand Gullot, physico-chimiste*

*Ghislain de Marsilly, géologue*

*Olivier Petit, économiste*

*Jean-Luc Probst, hydrologue et géochimiste*

*Jean-Luc Trancart, hydrologue*

## **200 CONTRIBUTEURS**

## **PLUS DE 40 DISCIPLINES...**

Agronome, Anthropologue, biogéochimiste, biologiste, chimiste, climatologue, didacticien, écologue, économiste, écotoxicologue, ethnogéographe, géographe, géochimiste, géologue, glaciologue, historien du climat, historien d'art, hydraulicien, hydrologue, juriste, mathématicien, mécanicien des fluides, médecin, métallogéniste, modélisateur, philosophe, physicien de l'atmosphère et du climat, physico-chimiste, prospectiviste, océanographe, micrométéorologue, paléoclimatologue, paléohydrologue, physicien de l'atmosphère, physico-chimiste, sédimentologue, sociologue, socio-économiste, socio-géographe, sciences de gestion, stratigraphe palynologue, urbaniste.

# Introduction générale

Agathe Euzen, Catherine Jeandel et Rémy Mosseri

Après trois ouvrages de la même série traitant du climat, de l'énergie et du développement durable, il nous a semblé utile, voire indispensable, de compléter cet ensemble par un nouvel ouvrage collectif consacré à l'eau, compte tenu de l'enjeu majeur qu'elle représente pour le XXI<sup>e</sup> siècle.

Avec la croissance démographique et une urbanisation galopante, préserver cet élément vital, tant pour satisfaire les besoins des populations et leur santé que pour les écosystèmes, nécessite une gestion spécifique de cette ressource sur et entre les territoires. Indispensable au développement de l'agriculture pour nourrir les communautés humaines, elle l'est aussi pour le développement industriel, la production d'énergie... Sans compter le rôle essentiel dans le maintien des mondes vivants et de la biodiversité. Or, dans ce contexte de changement global et avec le changement climatique, l'exacerbation des phénomènes de sécheresses, d'inondations et autres événements extrêmes, a de lourdes conséquences sur les sociétés et leur environnement.

Faire face à ces réalités, tout en se préoccupant de la question de la disponibilité de la ressource et de son accessibilité pour satisfaire les besoins essentiels des populations humaines, est au cœur des Objectifs du dévelop-

pement durable, qui viennent poursuivre les Objectifs du millénaire pour le développement s'achevant en 2015. Les enjeux liés aux milieux aquatiques ainsi qu'à l'eau et l'assainissement font l'objet d'objectifs pour garantir le bien-être humain et le respect de l'environnement. Ainsi, la question de l'eau, à l'échelle globale, s'accompagne de sa nécessaire gestion sur les territoires et de la préservation de sa qualité, qui se dégrade avec les activités humaines. La restauration de la qualité des milieux est d'ailleurs l'une des priorités pour chacun des États européens, en cette année 2015, qui marque l'une des échéances de la

Directive cadre européenne sur l'eau. L'apport des travaux des scientifiques dans ce domaine, tant dans l'approfondissement de la connaissance du fonctionnement du système Terre et de ses interactions, que dans la mise en place de dispositifs de mesures ou dans l'élaboration d'indicateurs et de systèmes de restauration des milieux, par exemple, est particulièrement important pour son appui aux gestionnaires, techniciens et décideurs. La question de l'eau n'est en effet pas dissociable de ces changements globaux, dans la mesure où elle joue un rôle essentiel dans la régulation du climat de la Terre. L'eau



Fontaine des Quatre Parties du Monde, Paris. © Kmlz. ■

est, par conséquent, l'un des enjeux de la conférence internationale sur le climat (COP 21) de décembre 2015.

C'est ainsi, dans ce contexte, que nous avons envisagé la construction de cet ouvrage, visant à apporter un éclairage sur chacun des domaines et des approches que couvre le large spectre de la thématique de l'eau et de ses liens avec la santé, la biodiversité, les usages, la géopolitique, les sociétés, les risques, l'agriculture, la ville...

L'eau reste, sur le plan fondamental, une substance aux propriétés physico-chimiques souvent originales et encore insuffisamment comprises. Son histoire sur Terre n'est pas dissociable de l'histoire de la planète elle-même et de son climat. La vie, qui en est sortie, ne peut s'en passer. Les sociétés ont accompagné leur développement d'une maîtrise de l'eau, que ce soit pour s'approvisionner, la distribuer, ou encore la traiter. Ainsi, garante de la pérennité et du développement du monde vivant, l'eau est reconnue comme patrimoine commun de l'humanité, qui doit être préservé pour les générations futures. L'élément eau devient alors un objet social, économique et même politique, lorsque'il s'agit de prendre en considération les conflits d'intérêts qu'elle suscite parfois entre les individus et entre les communautés, à l'échelle locale comme à l'échelle globale...

Comprendre et proposer des solutions à ces défis majeurs est l'une des intentions de cet ouvrage. Elle ne peut en effet être envisagée sans la présentation, par le monde académique qui mène ces recherches, de multiples ressorts, avancées, verrous et perspectives qu'elle suscite. Il convient aussi de montrer l'articulation subtile entre les niveaux de connaissance, qui vont d'une compréhension globale de phénomènes à leur description fine, mobilisant ainsi une grande diversité

d'outils, plus ou moins spécialisés, à la fois conceptuels et expérimentaux.

L'objectif de cet ouvrage est précisément d'essayer de rendre accessible cet ensemble de connaissances, et quand cela est possible, de décrire les lieux d'interface où celles-ci tentent de se conjuguer en fertilisation croisée. Le comité éditorial de cet ouvrage se devait donc d'être largement pluridisciplinaire. Il a travaillé plusieurs mois pour identifier, sans atteindre l'exhaustivité, les sujets à privilégier, ainsi que les auteurs, pris parmi les meilleurs spécialistes du secteur académique. La quantité et la diversité des sujets relatifs à l'eau ont contraint le comité éditorial à faire le choix de privilégier les eaux douces continentales. La question de l'océan a été restreinte aux rôles qu'il joue aux interfaces avec l'atmosphère (évaporation-précipitation) et avec les continents (estuaires, littoraux...). L'océan comme ressource d'eau est aussi discuté, dans le cadre des dispositifs de traitement de l'eau, en particulier le dessalement.

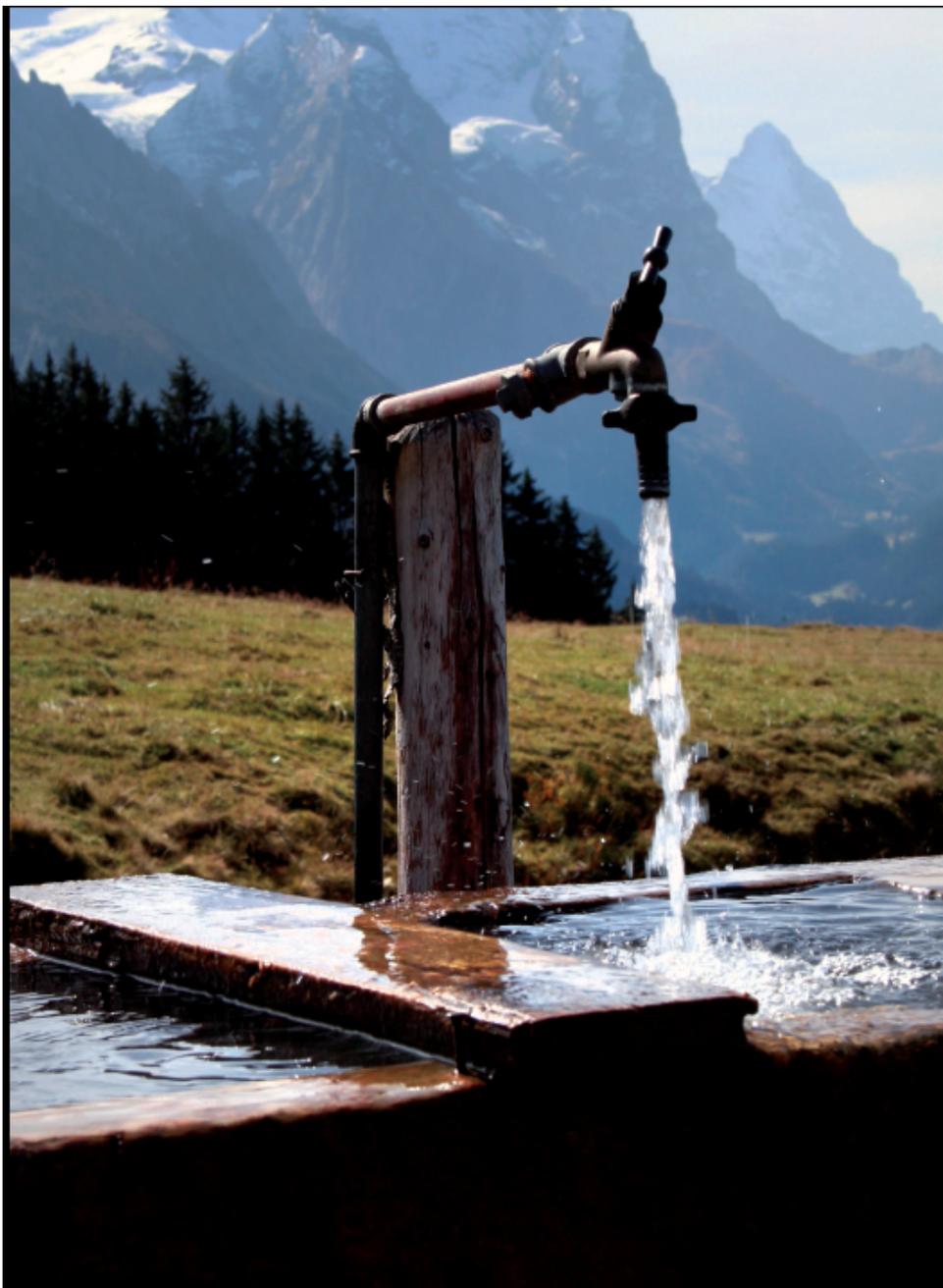
Après avoir présenté les grandes problématiques et les enjeux liés à l'eau dans la première partie de l'ouvrage, il s'agit de donner les éléments fondamentaux pour comprendre l'eau, sous sa forme H<sub>2</sub>O, dans tous ses états, au chapitre deux. Omniprésente sur la Terre, elle est au cœur d'un cycle et prend des formes différentes selon les milieux qu'elle compose et qu'elle traverse, ce que montre le troisième chapitre. Considérée comme une ressource, le

chapitre quatre invite à comprendre comment l'eau est captée, prélevée, canalisée, stockée et encore traitée et transformée, pour satisfaire la grande diversité des usages qu'en ont les populations pour se développer. Mais ces usages ne sont pas sans incidence sur la qualité de l'eau, ce qui impacte les milieux et la santé humaine, comme le montre le chapitre cinq. Le chapitre six permet de comprendre comment les sociétés se sont organisées, depuis les temps anciens jusqu'à aujourd'hui, autour de cette ressource vitale, tant en milieu urbain que rural. Enfin, le dernier chapitre s'attache à montrer jusqu'où l'eau est prégnante pour chaque individu et pour les sociétés à travers les représentations et ouvre vers les perspectives qu'offre la recherche dans le domaine de l'eau.

Cet ouvrage n'aurait pu être réalisé sans de multiples soutiens. Nous tenons tout d'abord à remercier le projet et comité CNRS, qui a soutenu le projet et accepté de préfacier l'ouvrage. Nous souhaitons aussi remercier les membres du comité éditorial pour la richesse de leur grande implication, la richesse des échanges et leur contribution dans la structuration de l'ouvrage, chacun des auteurs pour leur enthousiasme dans ce projet et leur mobilisation en un temps record, et aussi CNRS Éditions qui a accompagné la réalisation jusqu'à sa parution. Mais tout cela n'aurait pas suffi sans le dynamisme et le professionnalisme d'Elsa Godet, qui a mis l'ensemble de ses compétences et toute son efficacité au service de la réalisation de ce bel ouvrage.

## Références bibliographiques

- C. JEANDEL et R. MOSSERI (dir.) – *Le climat à découvert*, CNRS Éditions, 2011.
- R. MOSSERI ET C. JEANDEL (dir.) – *L'énergie à découvert*, CNRS Éditions, 2013.
- A. EUZEN, L. EYMARD et F. GAILL (dir.) – *Le développement durable à découvert*, CNRS Éditions, 2013.



- PREMIÈRE PARTIE -

## Les grandes thématiques et les enjeux d'aujourd'hui

**Origine de la vie**

**Climat**

**Cycle**

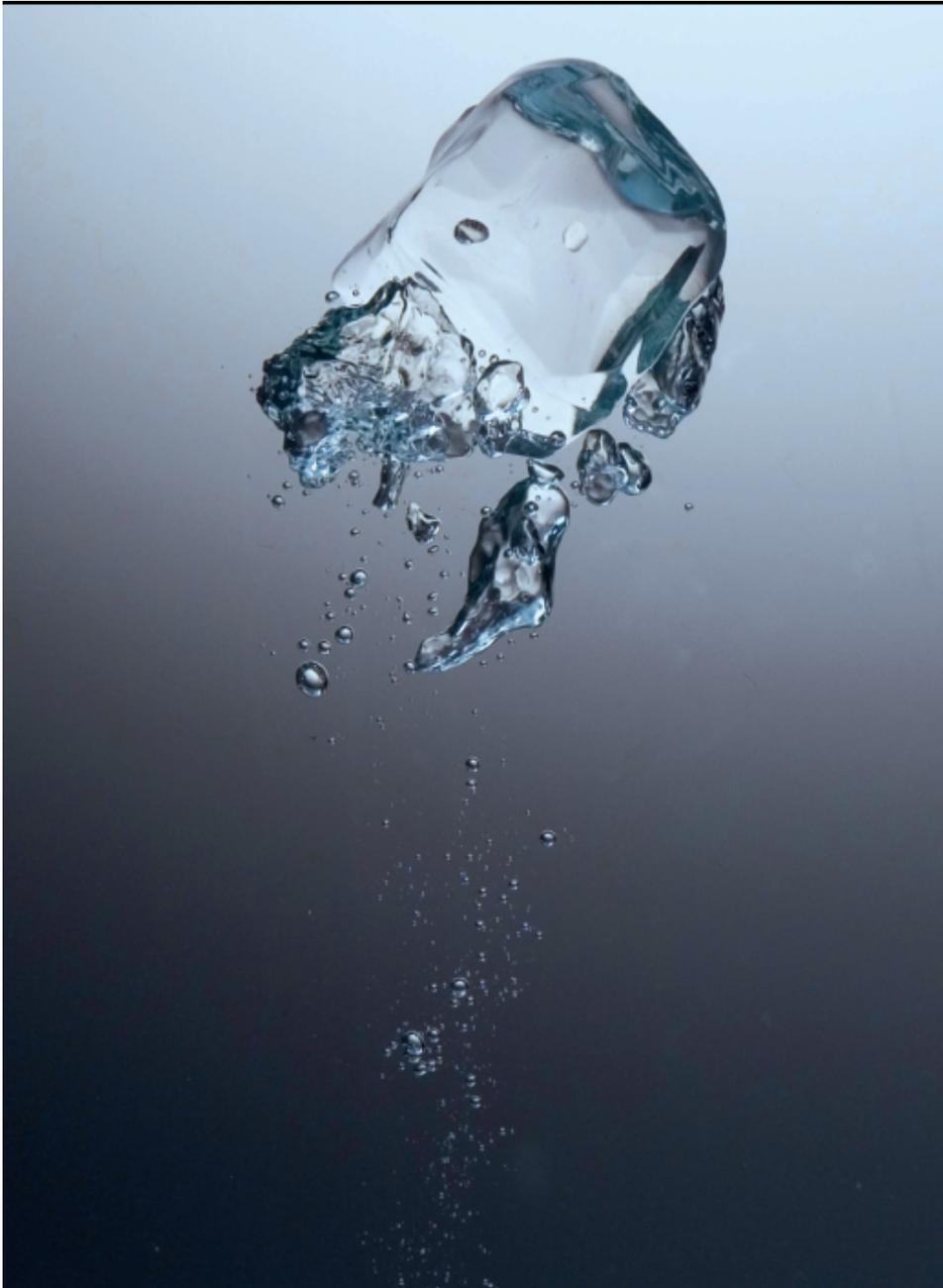
**Risques**

**Ville**

**Santé**

**Ressource**

**Bien commun**



- DEUXIÈME PARTIE -

# H<sub>2</sub>O: aspects fondamentaux

**Etats**

**Pureté**

**Goutte**

**Fluide**

**Neige**

**Propriétés**

**Vivant**



- TROISIÈME PARTIE -

# Eau et milieu

**Répartition spatiale**

**Dynamiques temporelles**

**Cours d'eau**

**Zones humides**

**Bassin versant**

**Masses d'eau**

**Ecosystèmes**

**Observer**

**Adaptation du vivant**



- QUATRIÈME PARTIE -

## Usages de l'eau

**Agriculture**      **Techniques**  
                                 **Impacts**

**Energie**      **Transport**

**Eau urbaine**

**Conflits**      **Loisir**



- CINQUIÈME PARTIE -

# Qualité de l'eau

**Normes**

**Mesurer**

**Pollution**

**Impacts**

**Ecotoxicologie**

**Recycler**

**Rendre potable**

**Hygiène**

**Maladie**



- SIXIÈME PARTIE -

# Eau et société

**Territoires**      **Histoire**

**Accès**              **Droit**              **Gestion**

**Empreinte**                      **Politique**

**Risques**

**Transferts**                      **Partager**



- SEPTIÈME PARTIE -

# Représentations et perspectives

**Imaginaires**

**Peinture**

**Modélisation**

**Enseignement**

**Participation**

**Recherche**



- HUITIÈME PARTIE -

## Compléments

**Glossaire ... et ses 500 mots**

**Contributeurs... sont 200**

**Laboratoires et instituts... 115**

# Glossaire

## 500 mots

Les mots du glossaire sont signalés par un astérisque dans le texte.

**ABIOTIQUES.** Facteurs physico-chimiques influençant le fonctionnement d'un écosystème (température de l'air, teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère).

**ACIDES GRAS VOLATILS.** Acides à chaîne carbonée courte (comme les acides acétique, propionique et butyrique).

**ACIDES HUMIQUES.** Acides issus de la dégradation des matières végétales dans les sols ou les milieux aquatiques.

**ACIDES NUCLÉIQUES.** Molécules de grandes tailles (macromolécules) formées d'unités (nucléotides). Il en existe deux types : les acides ribonucléiques (ARN) et les acides désoxyribonucléiques (ADN).

**ACIDIFICATION.** Modification de l'état naturel acide-base d'une eau par l'apport d'acides.

**ACRYLAMIDE.** Produit de synthèse (toxique) utilisé notamment dans l'industrie des plastiques.

**ACTIVITÉ ENZYMATIQUE.** Mesure de l'effet catalytique d'une enzyme, basée sur la quantité de substrat transformée par unité de temps.

**ADDUCTION.** Action de transporter de l'eau de son lieu de captage (source) ou de pompage (nappe, rivière) jusqu'à son

lieu d'utilisation, via de conduites et d'ouvrages (aqueduc), et des systèmes de stockage (réservoir, château d'eau).

**ADÉNINE.** Un des éléments constitutifs des nucléotides qui sont les unités élémentaires des acides nucléiques\*.

**ADSORBANT.** Support imprégné de réactif chimique.

**ADSORPTION.** Fixation d'un composé vers un solide où il se fixe.

**AÉROBIE.** Désigne les phénomènes ou des êtres vivants dont l'existence exige la présence d'oxygène.

**AFFLEUREMENT.** Ensemble de structures géologiques unitaires apparaissant en surface.

**AFFOUILLEMENT.** Érosion, sous l'effet du courant, des berges d'un cours d'eau.

**ÂGE DU BRONZE.** Époque de la préhistoire où se fait la production de bronze, un alliage de cuivre et d'étain. En France, il est daté de la fin du III<sup>e</sup> millénaire avant J.-C. et s'étend jusqu'à environ 800 av. J.-C.

**AGENT.** Pour l'écotoxicologie, l'individu ou le milieu à un agent responsable

# Contributeurs

## 200

Les laboratoires et instituts sont présentés en page 361

**Luc ABBADIE.** Écologue, Professeur à l'Université Pierre et Marie Curie, Paris.  
[abbadie@biologie.ens.fr](mailto:abbadie@biologie.ens.fr)

**Gwenael ABRIL.** Biogéochimiste, Directeur de recherche au CNRS, EPOC, Bordeaux.  
[g.abril@epoc.u-bordeaux1.fr](mailto:g.abril@epoc.u-bordeaux1.fr)

**Claire ALBASI.** Chimiste, Directrice de recherche au CNRS, LGC, Toulouse.  
[claire.albasi@ensiacet.fr](mailto:claire.albasi@ensiacet.fr)

**Vazken ANDRÉASSIAN.** Hydrologue, Directeur adjoint scientifique à l'Irstea, Antony.  
[vazken.andreassian@irstea.fr](mailto:vazken.andreassian@irstea.fr)

**Philippe APTEL.** Chimiste, Directeur de recherche retraité du CNRS, Toulouse.  
[aptel.philippe@numericable.fr](mailto:aptel.philippe@numericable.fr)

**Luc AQUILINA.** Hydrobiogéochimiste, Professeur à l'Université de Rennes 1, Géosciences, Rennes.  
[luc.aquilina@univ-rennes1.fr](mailto:luc.aquilina@univ-rennes1.fr)

**Fabien ARNAUD.** Sédimentologue géochimiste, Directeur de recherche au CNRS, Directeur du laboratoire EDYTEM, Chambéry.  
[fabien.arnaud@univ-savoie.fr](mailto:fabien.arnaud@univ-savoie.fr)

**Florent ARTHAUD.** Écologue, Maître de Conférences à l'Université Savoie Mont Blanc, CARRTEL, Chambéry.  
[florent.arthaud@univ-savoie.fr](mailto:florent.arthaud@univ-savoie.fr)

**Olivia AUBRIOT.** Géographe, Chargée de Recherche au CNRS, Centre d'études géographiques du CNRS, Villeurbanne.  
[oaubriot@vjf.cnrs.fr](mailto:oaubriot@vjf.cnrs.fr)

**Olivier AUMONT.** Biologiste marin, Chargé de recherche au CNRS, LOCEAN, IPSL, Montpellier.  
[olivier.aumont@ird.fr](mailto:olivier.aumont@ird.fr)

**François BACHE.** Sociologue, Opportunity Capture Limited, Adelaide, Australie.  
[fbache@gmail.com](mailto:fbache@gmail.com)

**Adrien BONNEU.** Ingénieur, Chercheur scientifique et modélisateur, Chercheur Acceptables Avenir, Toulouse.  
[adrienbonneau@acceptable.fr](mailto:adrienbonneau@acceptable.fr)

**Rémi BARBIER.** Sociologue, Professeur à l'ENGEES, Strasbourg.  
[remi.barbier@engees.unis-tl.fr](mailto:remi.barbier@engees.unis-tl.fr)

**Catherine BARON.** Économiste, Professeur à l'Université de Toulouse 1, LEREPS, d'Études Politiques, Toulouse.  
[baron@univ-tlse1.fr](mailto:baron@univ-tlse1.fr)

**Olivier BARRETEAU.** Sciences de gestion, Chercheur à l'Irstea, G-EAU, Montpellier.  
[olivier.barreteau@irstea.fr](mailto:olivier.barreteau@irstea.fr)

**Denis BARTOLO.** Professeur à l'École Normale Supérieure de Lyon, Lyon.  
[denis.bartolo@ens-lyon.fr](mailto:denis.bartolo@ens-lyon.fr)

# Laboratoires et instituts

## 115

**ARTDEV.** Acteurs, Ressources et Territoires dans le Développement, CNRS/Université Montpellier 3/CIRAD/Université Montpellier/Université de Perpignan Via Domitia.  
<http://art-dev.cnrs.fr>

**B & PMP.** Biochimie et Physiologie Moléculaire des Plantes, CNRS/INRA/Supagro/Université de Montpellier.  
[www1.montpellier.inra.fr/ibip/bpmp](http://www1.montpellier.inra.fr/ibip/bpmp)

**BRGM.** Bureau de Recherches Géologiques et Minières.  
[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**CAOR.** Centre de robotique, Mines ParisTech.  
[caor-mines-paristech.fr](http://caor-mines-paristech.fr)

**CARTEL.** Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques des Écosystèmes Limniques.  
[www6.dijon.inra.fr/tbonon](http://www6.dijon.inra.fr/tbonon)

**CEA.** Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies renouvelables.  
[www cea.fr](http://www cea.fr)

**CEBC.** Centre d'Études Biologiques de Chizé, CNRS.  
[www.cebc.cnrs.fr](http://www.cebc.cnrs.fr)

**CEFE.** Centre d'Écologie fonctionnelle et Évolutive, CNRS/Université de Montpellier/Université Paul-Valéry Montpellier/École Pratique des Hautes Études.  
[www.cefe.cnrs.fr](http://www.cefe.cnrs.fr)

**CEH.** Centre d'Études Himalayennes, CNRS.  
[www.vjf.cnrs.fr/himalaya](http://www.vjf.cnrs.fr/himalaya)

**CETAPS.** Centre d'Études des Transformations des Activités Physiques et Sportives, Université de Rouen.  
<http://staps.univ-rouen.fr/le-Laboratoire-cetaps-191625.kjsp>

**CIRAD.** Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement.  
[www.cirad.fr](http://www.cirad.fr)

**CIRAIG.** Centre International de Référence sur le Cycle de Vie des Produits, Procédés et Services.  
[www.ciraig.org](http://www.ciraig.org)

**CLERSÉ.** Centre Lillois d'Études et de Recherches Sociologiques et Économiques, CNRS/Université de Lille.  
<http://clerse.univ-lille1.fr>

**CNRM-GAME.** Centre National de Recherches Météorologiques - Groupe d'étude de l'Atmosphère Météorologique, CNRS/Météo-France.  
[www.cnrm.meteo.fr](http://www.cnrm.meteo.fr)

**CNRS.** Centre National de la Recherche Scientifique.  
[www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)

**CRAL.** Centre de Recherche sur les Arts et le Langage, CNRS/EHESS.  
<http://cral.ehess.fr>

**CRH.** Centre de Historiques, CNRS/Université de Caen.  
<http://crlh.ehess.fr>

**CRHQ.** Centre de Histoire Quantitative, Université de Caen.  
<http://www.crhq.cnrs.fr>

**CSTB.** Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.  
[www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

**CURAPP.** Centre de Recherches Agronomiques et Politiques, CNRS/Université de Caen.  
[www.u-picardie.fr/curapp](http://www.u-picardie.fr/curapp)

**D3E.** Direction de Développement et d'Écologie, BRGM.  
[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**EABX.** Écosystèmes et changement climatique, IRSTEA.  
[www.irstea.fr/epbx](http://www.irstea.fr/epbx)

**EAWAG.** Institut Suisse de Sciences et de Technologie Aquatiques, Écoles Polytechniques Fédérales Suisse.  
[www.eawag.ch/fr](http://www.eawag.ch/fr)

**ÉCOLAB.** Écologie et Environnement, Université Paul Sabatier, École Nationale Supérieure de Toulouse.  
[www.ecolab.omp.eu](http://www.ecolab.omp.eu)

## 5. Eau, climat et biodiversité

Bernard Dupré, Luc Abbadie et Jérôme Viers

La planète Terre, en raison de sa position particulière autour du Soleil, présente de l'eau en surface sous forme liquide, solide et gazeuse. Cette eau provient du dégazage de la Terre par le biais du volcanisme et de l'intense bombardement météoritique qu'a connu la planète, principalement entre 4,5 et 4 milliards d'années avant notre ère. D'après les données isotopiques obtenues sur des roches très anciennes, la Terre était à cette époque beaucoup plus chaude qu'actuellement. Puis, le climat a connu une alternance de périodes froides et chaudes, ce qui a conduit à une modification de la distribution de l'eau entre ses trois phases. Les données de terrain montrent, par exemple, qu'il y a 700 millions d'années, le climat devait être particulièrement froid, avec une planète probablement entièrement gelée. Des périodes très chaudes ont aussi été révélées de la même manière, avec des climats tropicaux aux pôles. Ces grandes variations climatiques sont le résultat de l'insolation que nous recevons du Soleil, mais aussi de nombreux paramètres, tels que la position des continents, la mise en place des grandes provinces basaltiques libérant des gaz à effet de serre ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ...).

### L'eau, régulatrice du climat

La vie s'est développée principalement dans les océans, avec l'apparition d'organismes très simples. Elle s'est ensuite complexifiée très progressivement et il a fallu attendre près de 4 milliards d'années pour que la végétation se développe sur les continents. Cette « colonisation » des continents par les végétaux a modifié de nombreux cycles, notamment ceux du carbone et de l'eau. En effet, la végétation a la capacité de stocker ou d'échanger du  $\text{CO}_2$  avec l'atmosphère. De plus, par sa capacité à pomper de l'eau au niveau des racines dans le sol et à en réémettre par les feuilles (processus d'évapotranspiration, cf. III.19), elle impacte profondément le cycle de l'eau. À titre d'exemple, dans les régions tropicales, où il pleut environ 1 500 mm d'eau par an, 1 150 mm repartent dans l'atmosphère et seuls 350 mm sont exportés par le biais des rivières jusqu'à l'exutoire\* des bassins versants.

S'il est admis que le climat modifie le cycle de l'eau, le rôle essentiel joué par l'eau comme régulateur

du climat est beaucoup moins bien connu. Les observations de l'évolution des étoiles du même type que le soleil ont permis d'établir que l'insolation solaire reçue par la Terre a augmenté de 25 % depuis sa formation. Par ailleurs, l'activité volcanique qui libère du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère n'a pas été constante. Sans mécanisme régulateur, il serait impossible d'expliquer l'évolution des climats de notre planète. La Terre, du fait de l'augmentation de l'insolation qu'elle reçoit du soleil, devrait se réchauffer, ce qui n'est pas observé.

Le mécanisme régulateur, tel qu'il a été proposé il y a très longtemps par Jacques-Joseph Ebelmen, puis par James Walker, dans les années 1980, a été confirmé depuis par des études récentes sur l'altération des roches silicatées (granite, gneiss, basaltes...). L'altération a pour effet de libérer des ions  $\text{Ca}^{++}$  contenus dans les minéraux silicatés, qui sont transportés par les fleuves et les rivières, puis précipitent sous forme de carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) marins ou continentaux. Ce mécanisme a comme conséquence de consommer du  $\text{CO}_2$  atmosphérique. Parmi les paramètres qui contrôlent l'intensité de l'altération se trouvent,

entre autres, la quantité d'eau et la température, tous deux étant des paramètres climatiques.

Cette longue histoire des interactions entre le climat et le cycle de l'eau va sans doute connaître de nouveaux et rapides changements dans les décennies à venir. En effet, avec le réchauffement du climat, les océans et les continents émettront plus d'eau vers l'atmosphère. Globalement, la tendance est donc à l'augmentation des précipitations. Mais, la distribution temporelle, et surtout géographique, des pluies sera modifiée par rapport à la situation actuelle. D'une manière générale, le contraste entre les régions sèches et humides, et entre les saisons sèches et humides, augmentera. En France, par exemple, les étés devraient être plus secs et les hivers plus humides. Par ailleurs, les événements pluvieux extrêmes devraient augmenter en intensité et en fréquence aux latitudes moyennes et dans les régions tropicales.

### Réponse du vivant au changement global

De nombreuses composantes du bilan hydrique seront donc modifiées à brève échéance, en particulier le ruissellement et l'évapotranspiration\*, ce qui jouera sur la disponibilité en eau pour les sociétés humaines, comme pour l'ensemble des organismes vivants. S'il faut s'attendre à des inondations plus fréquentes et plus violentes dans les régions tropicales, notamment pendant la saison des moussons, un grand nombre de pays connaîtront une raréfaction de la ressource en eau, saisonnière ou permanente. La France, par exemple, devrait subir des étages plus sévères en raison de débits moyens annuels des cours d'eau inférieurs de 20 % en moyenne d'ici 2070, jusqu'à 40-60 %



Aux latitudes moyennes, les événements pluvieux extrêmes devraient augmenter dans les années à venir. © W. Kay. ■

dans les bassins Adour-Garonne ou Seine-Normandie. Des restrictions de prélèvements seront inévitables, qui impacteront négativement la production d'électricité et les rendements agricoles, voire le trafic fluvial, comme en 2003 sur le Rhin. Les nappes phréatiques\* auront plus de mal à se recharger et leur niveau devrait baisser, d'une dizaine de mètres sous certains plateaux du sud-ouest. Les zones humides, très riches en espèces, régresseront et, du fait de la sécheresse des sols, la productivité primaire\* de bien des écosystèmes sera plus faible qu'actuellement.

La disponibilité en eau et la température sont deux déterminants majeurs de la distribution des espèces, en milieu aquatique comme en milieu terrestre. Les organismes vivants répondent de deux manières aux changements climatiques : l'adaptation à moyen et long termes et le déplacement à court terme. Dans les rivières, la truite commune tend actuellement à régresser à la périphérie de son aire de distribution actuelle, alors que le

vairon gagne du terrain un peu partout. Le saumon, espèce migratrice, pourrait disparaître totalement de certains bassins d'ici 2100, dans le cas du scénario climatique le plus pessimiste.

Les végétaux terrestres, ainsi que les espèces animales et les micro-organismes qui leur sont associés, devront migrer de 100 à 150 km vers le nord en un siècle. Bien des êtres vivants perdront la course de vitesse avec les zones climatiques. Ainsi, les taux d'extinction prévisibles dépendent pour une large part des capacités de migration. Dans le cas des plantes européennes, par exemple, le taux d'extinction passe de 7 % sous l'hypothèse d'une capacité de migration sans limite, et à 22 % sous l'hypothèse d'une absence totale de capacité de migration. Les assemblages d'espèces seront donc très différents de ce que nous connaissons aujourd'hui, et les écosystèmes connaîtront très probablement une période de désorganisation, transitoire mais intense, avant d'emprunter de nouvelles trajectoires d'évolution.

### Références bibliographiques

- J. GAILLARDET, M. ROTARIU, M. STEINBERG et J. TRICHET – *Les climats passés de la Terre*, P. DE WEVER (dir.), Vuibert, 2016.
- J.-F. DECONINCK – *Paléoclimats. L'enregistrement des variations climatiques*, Vuibert, 2014

# 23. La continuité écologique des corridors fluviaux

Céline Le Pichon et Kris Van Looy

## Les enjeux de connectivité

Le corridor fluvial est un continuum (réseau) écologique linéaire, constitué du cours d'eau (de sa source à la mer), de sa vallée alluviale, du milieu sous-fluvial et des zones humides associées. Les éléments du corridor fluvial sont connectés par des flux d'eau, permanents ou temporaires, dans les dimensions longitudinales (gradient amont/aval), latérales (connexion avec les berges, le lit majeur), verticales (échanges avec les milieux sous-flu-

viaux). Les contraintes hydrologiques et morphologiques locales créent une diversité de conditions, qui génère une mosaïque complexe d'habitats spécifiques. Maintenir l'intégrité de cette « mosaïque » continue d'habitats aquatiques et terrestres est une condition nécessaire pour préserver le fonctionnement global de l'écosystème rivière et la biodiversité qu'il abrite. Le corridor rivulaire, situé à l'interface du milieu terrestre et aquatique, est un espace remarquable par ses fonctions écologiques spécifiques: sa structure physique agit sur les milieux aquatiques (ombrage, apports de matière

organique, stabilisation des berges...), il fournit des habitats et des couloirs de circulation pour de nombreuses espèces (poissons, mammifères, arthropodes, avifaune...). Cet écotone est important aussi pour son ensemble de services écosystémiques\* rendus (zone tampon interceptant les polluants agricoles, zones de stockage lors des crues...).

La connectivité est un concept qui présente une composante structurelle, dépendante de la composition et de la configuration des mosaïques d'habitats, et une composante fonctionnelle qui tient compte des capacités de mouvements et des comportements de dispersion et de migration des organismes. Diverses espèces animales et végétales sont dépendantes de la connectivité fonctionnelle de ces corridors. Selon la complexité de leur cycle de vie, les espèces peuvent utiliser exclusivement les habitats aquatiques (poissons), terrestres (oiseaux) ou avoir besoin des deux types d'habitats selon leurs stades de développement (amphibiens, insectes) ou le type d'activité (loutre d'Europe). La continuité des corridors fluviaux peut être altérée ou rompue, de façon plus ou moins permanente par des obstacles physiques (barrages ou seuils), chimiques (rejets, pollutions) ou thermiques (rejets d'eau chaude, refuges d'eaux froides liés à la nappe phréatique\*). Les impacts de cette fragmentation sur la qualité chimique de

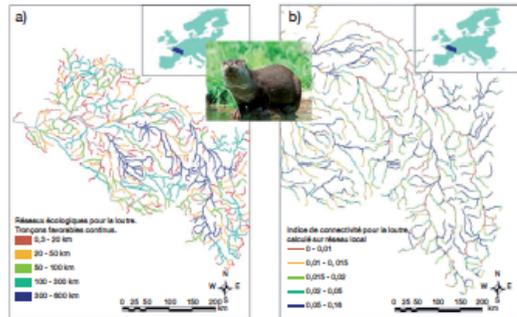


Fig. 1 – Cartographies des connectivités pour la loutre d'Europe sur le bassin de la Loire. a) Continuités de tronçons d'habitats favorables. b) Indice intégré de connectivité, calculé sur un voisinage local (2 tronçons amont et aval) et identifiant les trames écologiques pertinentes (couleurs froides sur la carte) pour une dispersion locale de l'espèce (mobilité quotidienne). ■

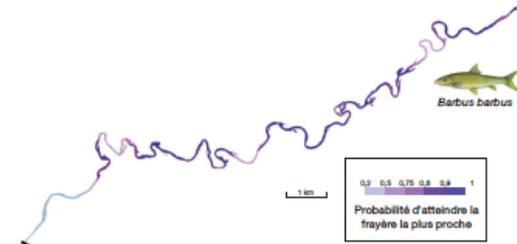


Fig. 2 – Modélisation de la probabilité d'atteindre la frayère\* la plus proche pour un barbeau de 15 cm dans un bief naturel de la Seine, délimité par deux barrages de navigation. ■

préserver (fortes probabilités) ou ceux (faibles probabilités) pour lesquels la restauration des habitats améliorerait la connectivité globale (figure 2). Ils permettent aussi de voir l'impact cumulé des obstacles sur un linéaire de cours d'eau et de tester l'effet de scénarios d'aménagement d'obstacles sur la continuité globale.

## Gestion et restauration

et aquatique. Désormais, les gestionnaires des milieux aquatiques doivent à la fois identifier les zones prioritaires pour le rétablissement de la continuité écologique\* et faire face à des usages antagonistes du milieu aquatique. Ces démarches de modélisation des continuités structurelles et fonctionnelles fournissent des éléments de compréhension nécessaires à la mise en place de politiques de préservation et de restauration de la continuité écologique, nécessaires au maintien des écosystèmes.

## continuité écologique

En 2007, le Grenelle de l'environnement a intégré réglementairement la connectivité fonctionnelle et a lancé un outil d'aménagement, baptisé « Trame Verte et Bleue (TVB) » pour résoudre les problèmes liés à la fragmentation des milieux naturels. Restaurer les continuités écologiques, définies à l'échelle nationale par la libre circulation des espèces et le transport naturel des sédiments, est un enjeu majeur pour la préservation de la biodiversité terrestre et aquatique. Désormais, les gestionnaires des milieux aquatiques doivent identifier les zones prioritaires pour le rétablissement de la continuité écologique\* et faire face à des usages antagonistes du milieu aquatique. Ces démarches de modélisation des continuités structurelles et fonctionnelles fournissent des éléments de compréhension nécessaires à la mise en place de politiques de préservation et de restauration de la continuité écologique, nécessaires au maintien des écosystèmes.

Analyse spatiale des habitats aquatiques - EAT, 50, 2007. SOUCHON – Le corridor à protéger. Descriptions cognitive ou opérationnelle, 14.

# 6. Les micropolluants et les nanoparticules

Hélène Budzinski et Julien Gigault

Les « contaminants chimiques » sont des composés d'origine synthétique ou naturelle introduits dans l'environnement par l'activité humaine. Ils sont en nombre quasi illimité, car l'utilisation de molécules, à la fois dans l'industrie, dans l'agriculture ou par les individus, a abouti à la contamination généralisée de l'environnement et, notamment, des milieux aquatiques. Ces molécules, appelées « micropolluants » (en raison de leurs concentrations de l'ordre du microgramme par litre), se retrouvent dans le milieu aquatique à des concentrations certes faibles, mais potentiellement efficaces d'un impact pour les organismes et les écosystèmes aquatiques.

Le Conseil de l'Union européenne et le Parlement européen ont adopté la Directive Cadre sur l'Eau (DCE\*) en octobre 2000, visant à protéger et/ou à restaurer la qualité des écosystèmes aquatiques. L'application de la DCE a conduit à un renforcement de la réglementation sur les micropolluants, avec des listes de substances prioritaires régulièrement révisées. Néanmoins, à côté des contaminants classés prioritaires depuis des années (les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques\*, les Polychlorobiphényles, les pesticides, les métaux lourds...), de nombreuses substances beaucoup moins étudiées, appelées polluants « émergents », ont fait

leur apparition. Il s'agit de composés dont la présence et l'impact sont peu ou pas documentés. En cela, ils s'opposent aux polluants dits « classiques », comme les pesticides, ou les substances prioritaires, pour lesquels la présence dans l'environnement est bien connue et l'impact avéré. Ces polluants émergents sont très variés : médicaments à usage humain ou vétérinaire, produits de soin corporels, détergents, retardateurs de flamme utilisés pour réduire le risque de combustion d'un matériau (figure)...

## Les micropolluants

La question des contaminants émergents est étroitement liée à la performance des méthodologies analytiques disponibles concernant leur surveillance dans les différents compartiments de l'environnement, notamment dans un milieu aussi dilué que le milieu aquatique. Ainsi, avec le développement des différentes techniques de spectrométrie de masse\* et de chromatographie\* couplées à des méthodologies de préparation de l'échantillon donnant accès à des protocoles de plus en plus performants et sensibles, de nombreuses classes de micropolluants, dont les médicaments et les produits de soin corporel, ont pu être détectés

à l'état de traces dans le milieu aquatique. Cependant, il reste nécessaire d'améliorer les procédures analytiques, notamment en termes de sensibilité et de gamme de composés détectés permettant de balayer une grande variété de classes chimiques de façon à mieux appréhender la notion d'exposition des organismes à ces mélanges complexes.

Actuellement, les médicaments font partie des composés les plus étudiés. De nombreuses données quant à leur présence dans les eaux de surface ont été publiées ces 15 dernières années. Une particularité de ce groupe de contaminants est que même s'ils ne sont pas persistants (c'est-à-dire non-résistants aux dégradations), ils peuvent être considérés comme des composés « pseudo-persistants » dans le milieu aquatique, du fait de leur introduction continue. De nombreuses études ont en effet montré que les composés pharmaceutiques sont introduits par les rejets des stations d'épuration (STEP, cf. IV.10), qui ne les éliminent pas complètement. Certains d'entre eux peuvent être présents à des niveaux allant jusqu'au microgramme par litre, dans les rivières, les ruisseaux, les lacs et même dans les eaux souterraines, certaines de ces ressources étant capées pour produire de l'eau destinée à la consommation humaine.

## Les nanoparticules

Depuis une dizaine d'années, les nanoparticules manufacturées\* (NPM) suscitent l'intérêt grandissant de la communauté scientifique. Cependant, leur emploi dans la vie courante (produits ménagers, cosmétiques, peintures...) soulève beaucoup d'interrogations. Il existe, en effet, un contraste saisissant entre cet intérêt considérable et les données fragmentaires collectées sur leur comportement dans l'environnement et leur impact. Étant donné les fortes

productions et utilisations des NPM ces dernières années, il est facile d'envisager un relargage massif de ces espèces nanométriques dans les différents écosystèmes, notamment aquatiques. Dans ce contexte, identifier et prédire leur devenir dans l'environnement représentent des enjeux économiques, environnementaux et sociétaux prioritaires. Les faibles données dont nous disposons nous permettent déjà d'identifier le caractère toxique des NPM et sa grande dépendance de l'échelle nanométrique. Contrairement à des contaminants chimiques « classiques », les nanoparticules présentent de nombreuses propriétés propres aux colloïdes\*, ce qui complexifie la détermination de leur présence, ainsi que leur caractérisation dans les systèmes naturels, car la caractérisation de leur impact demande d'explicitier au-delà de leur simple concentration, taille, forme et surface ce qui, à l'état de traces dans un milieu complexe, est encore un challenge..

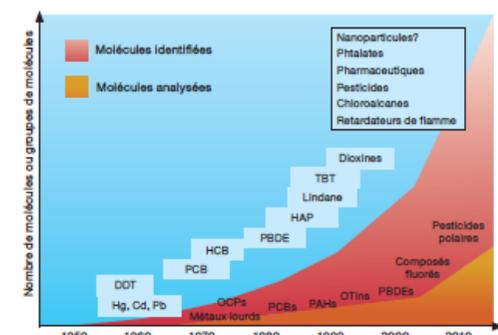
Une famille spécifique de nanoparticules carbonées, les fullerènes, retient d'autant plus l'intérêt que des récentes études ont montré leur présence dans des eaux de rivières, côtières et en sortie de STEP, allant jusqu'à plusieurs milliers de microgrammes par litre. Bien que totalement hydrophobes et ne se solubilisant que dans le toluène, ces espèces sont capables de s'agréger en milieu aqueux, ce qui leur permet de se stabiliser. Alors que le comportement du fullerène élémentaire peut s'expliquer par des paramètres propres aux contaminants organiques, celui des agrégats requiert la prise en compte d'autres paramètres physiques, comme la taille, la forme, la spéciation\* de surface... Parmi ces paramètres, certains

vont induire des interactions avec les contaminants déjà présents dans l'environnement et ainsi complexifier leur présence et donc leur cycle biogéochimique. L'association des NPM avec les colloïdes naturels est également un des éléments clés additionnels de la compréhension de leur devenir dans l'environnement. Des études ont montré que la matière organique naturelle peut aisément stabiliser les nanotubes de carbones en milieu aqueux et également contrôler les interactions entre les NPM et les contaminants organiques et minéraux. À l'état dispersé et donc stabilisé, le transport des NPM en milieu aqueux et dans les milieux poreux se voit considérablement augmenté, ainsi que leur biodisponibilité\* pour les bactéries et autres organismes vivants.

Que ce soit pour les micropolluants ou les nanoparticules, un des enjeux des années à venir sera de développer une meilleure connaissance de leurs produits de transformation. En effet, au-delà des contaminants classiques et émergents, il est important également de considérer les composés résultant de processus de transformation affectant les molécules et les nanoparticules parentes. De nombreux composés issus des transformations des molécules mères se retrouvent dans le milieu naturel et doivent également être pris en compte car parfois plus toxiques que les composés initiaux. Les difficultés relèvent soit des faibles concentrations, soit des interactions que ces contaminants ont avec les composés des milieux nécessitant la combinaison d'approches complémentaires spécifiques (connaissances de milieux, des contaminants, des outils analytiques...) et donc résolument une forte interdisciplinarité.

## Références bibliographiques

- M.-H. DÉVIER, P. MAZELLIER, S. AÏT-AÏSSA et H. BUDZINSKI – *New Challenges in Environmental Analytical Chemistry: Identification of Toxic Compounds In Complex Mixtures*, Comptes Rendus Acad. Sci. Chimie, 14, 766, 2011.
- J. GIGALT, B. GRASSL et G. LESPES – *Chemosphere*, 86, 177, 2012.



Augmentation du nombre de substances chimiques, identifiées et suivies, dans les écosystèmes aquatiques. D'après Roose *et al.*, 2011. ■

## 5. Nouveaux enjeux de l'accès à l'eau et à l'assainissement

Catherine Baron

L'année 2015 est une année charnière, qui correspond à la fois au bilan des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD), initiés en 2000 par les Nations Unies, et à l'émergence d'un nouveau paradigme, avec la formulation des Objectifs du Développement Durable (ODD), adoptés fin 2015 par l'Assemblée Générale des Nations Unies. Le contexte est propice à une mise en valeur des questions environnementales. En décembre 2015 se tiendra, à Paris, la 21<sup>e</sup> Conférence des Parties à la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (COP21), le secteur de l'eau étant fortement impacté par le dérèglement climatique. Les ODD devraient répondre à certaines limites des OMD, notamment concernant le manque de visibilité des enjeux d'eau et d'assainissement\*, intégrés dans l'objectif 7 : « *Assurer un environnement durable* ». Pour y remédier, diverses coalitions d'acteurs ont œuvré pour que l'eau et l'assainissement constituent un objectif en soi dans les ODD. Dans cette perspective, la problématique de l'accès à l'eau et à l'assainissement devient indissociable de la question environnementale.

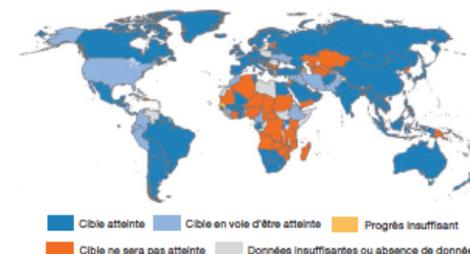
### Objectifs du Millénaire

D'après le Secrétaire général des Nations Unies, Ban Ki-moon, l'objectif de réduire de moitié, à l'échelle mondiale, le nombre de personnes vivant dans l'extrême pauvreté, ainsi que ceux n'ayant pas accès à une source d'eau améliorée aurait été atteint. Certes, à l'échelle mondiale, des progrès ont été réalisés : en 2012, 89 % de la population avait accès à une source d'eau dite « améliorée », c'est-à-dire protégée de toute contamination extérieure. Deux milliards de personnes supplémentaires bénéficieraient de cet accès depuis 1990 et plus de la moitié de la population mondiale disposerait d'un branchement à domicile. Mais environ 800 millions de personnes n'ont toujours pas accès à ces sources d'eau (cf. I.12). Ces chiffres globaux masquent les disparités entre régions du monde ; ainsi, le taux de couverture de l'Afrique subsaharienne est de seulement 64 % (figure). Des écarts existent entre pays, entre zones urbaines et rurales, et au sein des populations (selon des critères de genre, d'ethnies, souvent négligés). De plus, les données fines sur les taux d'accès dans des quartiers non régularisés sont rarement diffusées. De nombreuses autres critiques pourraient être mentionnées comme la non prise en compte des

taux de panne des infrastructures, la discontinuité du service, ainsi que les difficultés d'accès en fonction des saisons. Par ailleurs, les Nations Unies ont reconnu que 1,8 milliard de personnes consommeraient une eau contaminée par des matières fécales, et que 10 % des sources d'eau améliorées seraient à haut risque. De nombreux retards ont aussi été soulignés en matière d'assainissement : 64 % de la population mondiale utilise des installations sanitaires améliorées\*, avec seulement 30 % en Afrique subsaharienne. Enfin, un milliard de personnes (14 % de la population mondiale) pratique la défécation à l'air libre, avec d'importantes conséquences sanitaires.

Au-delà du bilan chiffré, il s'agit aujourd'hui de discuter dans quelle mesure les OMD incarnent l'émergence d'un nouveau paradigme de développement. Des ambiguïtés subsistent. L'approche sectorielle (dite « en silo ») développée dans les OMD est apparue comme contradictoire avec une approche intégrée, inhérente à une perspective de développement durable et de lutte contre la pauvreté, car elle engendrait des logiques concurrentielles entre secteurs. Par ailleurs, l'absence de concertation avec les pays et les populations bénéficiaires explique certains échecs dus au manque d'appro-

priation. Enfin, seuls les pays du Sud ont été ciblés par ces mesures, élaborées au niveau international. Malgré les critiques, d'aucuns soulignent la prise de conscience de nombreux décideurs qui intègrent désormais les enjeux liés à l'eau et, plus marginalement, à l'assainissement\* dans les politiques nationales. De plus, les OMD ont favorisé l'élaboration d'indicateurs de suivi et leur diffusion auprès des populations et de la société civile.



Progrès réalisés en 2012 dans le cadre de l'ODD relatif à l'eau potable : la plupart des pays d'Afrique n'atteindront pas l'ODD relatif à l'eau potable. Source : Joint Monitoring Program (JMP), 2014 ■

### Objectifs du Développement Durable

En 2015, une rupture intervient avec l'élaboration des Objectifs du Développement Durable (ODD). L'originalité réside dans l'articulation de deux enjeux majeurs du développement dans un agenda commun : la lutte contre la pauvreté, avec une vision renouvelée suite au bilan mitigé des OMD, et le développement durable dans le prolongement de Rio + 20 (2012). Est réaffirmée la nécessaire prise en compte des trois piliers du développement durable : l'équité sociale, l'efficacité économique et la soutenabilité environnementale. Néanmoins, les ODD ne pourront être à la fois universels, intégrés (équilibre des trois dimensions) et mis en œuvre localement, d'où la définition d'objectifs globaux et transversaux, déclinés en cibles au niveau national.

À la différence des OMD, ces nouveaux objectifs concernent tous les pays, et pas seulement ceux du Sud. L'enjeu est donc de combiner un souci d'universalité avec des spécificités locales, en tenant compte des vulnérabilités et des capacités de développement des pays. La question des moyens est centrale du point de vue du financement et du renforcement des capacités. Elle sera débattue à la conférence des Nations

Unies sur le financement du développement en juillet 2015.

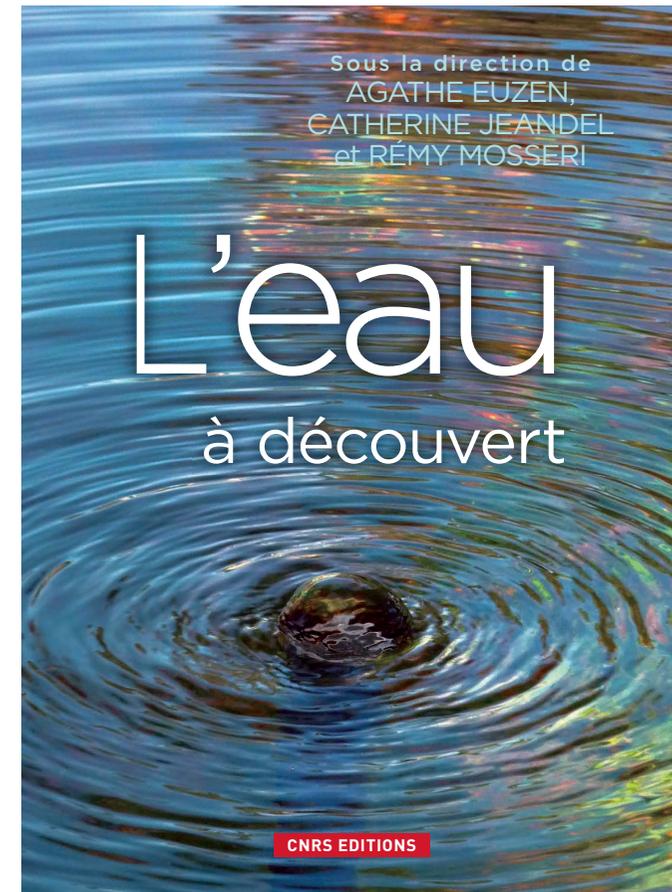
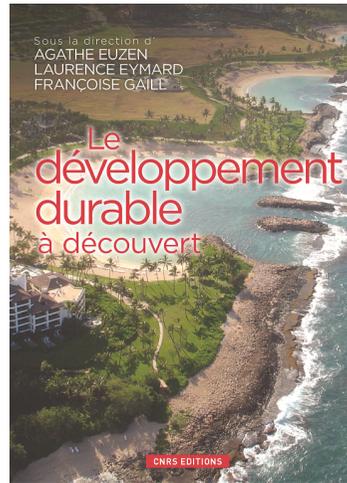
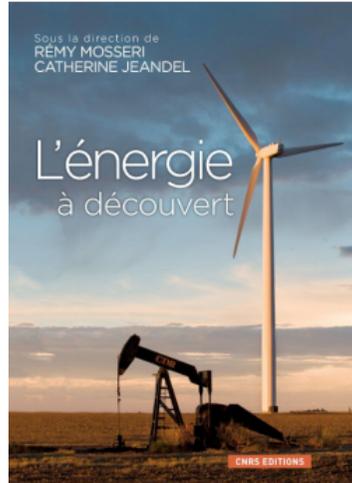
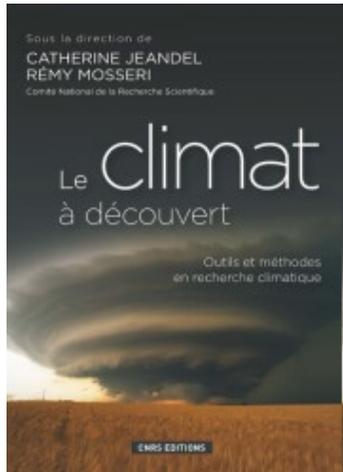
C'est donc suite à un long processus de négociation, en amont, que le Groupe de travail ouvert (Open Working Group créé par l'Assemblée générale des Nations Unies et représentant plus de 70 pays) a retenu 17 objectifs et 169 cibles en février 2015. La formulation de l'objectif 6 : « *Assurer un accès universel à l'eau potable et à l'assainissement, et gérer durablement les ressources en eau* » résulte de la mobilisation de coalitions d'acteurs du secteur de l'eau, impliqués à différentes échelles. La volonté de dépasser une approche sectorielle a justifié de concilier les enjeux de développement à ceux de soutenabilité, d'articuler la question du service d'eau potable à celle de la gestion de la ressource en eau. Cette vision systémique et transversale permet d'associer l'accès à l'eau potable et à l'assainissement aux enjeux d'alimentation, d'énergie, d'éducation, de santé, de genre, mais aussi aux

problématiques liées aux pollutions, et au maintien de la paix et de la sécurité. Les débats ont été tendus lorsqu'il s'est agi de hiérarchiser les priorités. Les questions relatives à l'eau agricole ont dominé, car portées par des lobbys puissants, au détriment de celles traitant des pollutions. Par ailleurs, en référence à la reconnaissance du droit à l'eau (cf. VI.6), l'accent a été mis sur l'équité et la lutte contre les inégalités dans l'accès, ainsi que le respect de la dignité, aspects difficilement mesurables, d'où des innovations indispensables afin d'évaluer et d'assurer le suivi des objectifs.

Les débats autour des ODD traduisent donc la difficulté à co-construire une vision systémique des liens entre développement économique, lutte contre les inégalités et environnement. La question de l'eau et de l'assainissement a fait émerger, de manière visible, des positionnements très diversifiés qui reflètent la pluralité des conceptions de la société et du bien commun.

### Références bibliographiques

- COALITION EAU – Joint Monitoring Program Publication, Rapport sur les progrès en matière d'accès à l'eau et à l'assainissement, [www.coalition-eau.org/actualite/publication-du-rapport-2014-sur-les-progres-en-matiere-daccès-a-leau-et-a-l'assainissement/?pdf](http://www.coalition-eau.org/actualite/publication-du-rapport-2014-sur-les-progres-en-matiere-daccès-a-leau-et-a-l'assainissement/?pdf), 27 mai 2014.
- T. VOITURIEZ – *A quoi servent les objectifs des développements durable ?* IDDRI, Working Paper, n°13, 2013.
- COALITION EAU – *Post 2015 : acteurs et processus*, Note de présentation, [www.coalition-eau.org](http://www.coalition-eau.org), 17 juin 2014.



***L'eau à découvert,***  
**un livre pour comprendre**  
**et proposer des solutions**  
**aux défis d'aujourd'hui**  
**et pour demain !**

[agathe.euzen@cnrs-dir.fr](mailto:agathe.euzen@cnrs-dir.fr)

