

# Guide technique de l'assainissement

Collecte - Épuration - Conception - Exploitation

Régis Bourrier  
Marc Satin  
Béchir Selmi

RÉFÉRENCE  
TECHNIQUE

EDITIONS

**LE MONITEUR**



**5<sup>e</sup> édition**

# Guide technique de l'assainissement

**Collecte - Épuration - Conception - Exploitation**

## **Régis Bourrier**

Ingénieur hydraulicien, ancien directeur de SETEGUE, expert chez IC-Eau Environnement

## **Marc Satin**

Ingénieur spécialiste des techniques de l'environnement appliquées à l'eau et à l'assainissement  
Directeur de projet chez IC-Eau Environnement et expert auprès d'Adage Environnement

## **Béchir Selmi**

Ingénieur principal du génie rural spécialisé en génie sanitaire  
Directeur et fondateur d'IC-Eau Environnement

**5<sup>e</sup> édition**

**Régis Bourrier**, ingénieur hydraulicien, a été chargé de grands projets d'infrastructures et de génie urbain, avant de diriger le service informatique d'un bureau d'études important. Il a ensuite créé et dirigé Sétégue devenue Guigues Environnement, société de conseil et d'ingénierie dans les domaines de l'eau, de l'assainissement et de l'environnement. Expert chez IC-Eau Environnement.

**Marc Satin**, ingénieur, spécialiste des techniques de l'environnement appliquées à l'eau et l'assainissement, est directeur de projet chez IC-Eau Environnement et expert auprès d'Adage Environnement. En plus d'une expertise réglementaire, il apporte aux maîtres d'ouvrage son expérience de très nombreux systèmes d'assainissement et de leurs impacts sur les milieux aquatiques.

**Béchir Selmi**, ingénieur principal du génie rural spécialisé en génie sanitaire, est le directeur-fondateur d'IC-Eau Environnement. En plus d'une expertise dans le domaine des services délégués, il conseille les maîtres d'ouvrage dans la conception, le suivi des travaux et l'exploitation des stations d'épuration et des usines d'eau potable.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tous les membres d'IC-Eau Environnement qui ont contribué, chacun selon ses compétences et avec un esprit d'équipe remarquable, à la bonne conception de cet ouvrage.

La rédaction de cette édition a été soutenue par IC-Eau Environnement.

**Directrice des éditions :** Claire de Gramont

**Directeur éditorial :** Thierry Kremer

**Éditrice :** Carole Trochu

**Édition et coordination des illustrations :** Alain Bouteville

**Conception de la maquette et de la couverture :** Catherine Lattuca

**Réalisation de la couverture :** STDI (Charlène Gartion, David Poidvin)

**Mise en page :** STDI (Gaëlle Guyard)

**Réalisation des illustrations :** Jean-Pierre Saux, STDI (Shishu Vilmain)

**Édition déléguée :** Le borogove (Marie-Alexandre Perraud) et Hapax (Cédric Béal)

**Fabrication :** Anne-Lise Lapoire

© Groupe Moniteur (Éditions du Moniteur), Antony, 2017

ISSN : 1257-9823

ISBN papier : 978-2-281-11924-4



*Nous alertons nos lecteurs sur la menace que représente, pour l'avenir de l'écrit, le développement massif du « photocopillage ». Le Code de la propriété intellectuelle interdit expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit.*

*Or, cette pratique s'est développée dans de nombreux cabinets, entreprises, administrations, organisations professionnelles et établissements d'enseignement, provoquant une baisse des achats de livres, de revues et de magazines.*

*En tant qu'éditeur, nous vous mettons en garde pour que cessent de telles pratiques.*

Aux termes du Code de la propriété intellectuelle, toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle, de la présente publication, faite par quelque procédé que ce soit (reprographie, microfilmage, scannérisation, numérisation...) sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Toutefois, l'autorisation d'effectuer des reproductions par reprographie peut être obtenue auprès du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, tél. : 01 44 07 47 70, fax : 01 46 34 67 19.

---

# Sommaire

---

Avant-propos .....	7
Liste des sigles et des abréviations .....	9

<b>Partie 1</b>	<b>Données fondamentales</b> .....	13
1	L'assainissement des agglomérations .....	15
2	Le milieu naturel dit « milieu récepteur » .....	23
3	Organisation et réglementation .....	55
4	Systèmes de collecte des eaux usées et des eaux pluviales .....	99
5	Analyses de sites : contextes physiques, hydrologiques et humains .....	109
6	Aspect quantitatif des eaux usées .....	143
7	Aspect quantitatif des eaux pluviales .....	157
8	Aspect qualitatif des eaux usées et pluviales .....	199
9	Planification et schéma directeur .....	221

<b>Partie 2</b>	<b>Composantes d'un système de collecte</b> .....	231
10	Équipements sanitaires en domaine privé .....	233
11	Conception des réseaux : principes hydrauliques .....	251
12	Conception et dimensionnement des réseaux .....	275
13	Éléments constitutifs des réseaux et ouvrages .....	305
14	Déversoirs d'orage .....	339
15	Stations de pompage et équipements associés .....	351
16	Gestion des eaux pluviales et maîtrise du ruissellement .....	395
17	Pollution des ruissellements et écoulements par temps de pluie .....	435

<b>Partie 3</b>	<b>Composantes d'un traitement</b> .....	477
<b>18</b>	Prétraitement et élimination des sous-produits.....	479
<b>19</b>	Traitement primaire .....	503
<b>20</b>	Élimination de la pollution carbonée .....	515
<b>21</b>	Élimination de l'azote et du phosphore, traitements complémentaires .....	553
<b>22</b>	Traitement et élimination des boues.....	599
<b>23</b>	Dimensionnement d'une station d'épuration.....	665
<b>Partie 4</b>	<b>Réalisation et exploitation d'un système d'assainissement</b> .....	697
<b>24</b>	Étude diagnostique et schéma directeur.....	699
<b>25</b>	Exécution des travaux.....	737
<b>26</b>	Gestion fonctionnelle et automatisme .....	837
<b>27</b>	Exploitation, entretien et réhabilitation des ouvrages.....	923
<b>28</b>	Économie de l'assainissement : coûts et modalités d'écogestion .....	967
	Index .....	1023
	Table des matières.....	1041

---

## Avant-propos

---

L'eau est essentielle pour l'homme. Elle l'est également pour les activités agricoles, industrielles et touristiques. Cependant, elle subit de nombreuses dégradations causées précisément par le fonctionnement des sociétés humaines.

L'eutrophisation des eaux de surface (douces et côtières) affecte depuis plusieurs décennies tous les bassins sans exception, de la mer Baltique à la mer Méditerranée. Aujourd'hui, si en France, les pollutions classiques dues aux rejets urbains commencent à être maîtrisées, on constate d'autres sources de dégradations, plus insidieuses, plus difficiles à détecter, mais tout aussi préoccupantes pour la santé humaine et la qualité des milieux aquatiques. Les eaux souterraines subissent, pour nombre d'entre elles, une dégradation d'autant plus grave que, même après l'arrêt de leur pollution, il faudra très longtemps pour constater une faible amélioration de leur qualité.

Par ailleurs, les inondations qu'entraînent les crues des rivières semblent s'aggraver sous le double effet de l'augmentation de la concentration urbaine et de la poursuite de l'imperméabilisation des sols qui favorisent un ruissellement aggravé.

Aussi les politiques nationales et communautaires de l'environnement sont-elles appelées à définir des objectifs de qualité appropriés pour garantir la protection des milieux et retrouver le bon état des masses d'eau, sans toutefois interdire tout développement économique. Les sciences et techniques évoluant souvent plus vite que le

droit, les réglementations et les directives, ces objectifs de qualité doivent être constamment améliorés et adaptés aux conditions locales et aux spécificités des ouvrages d'assainissement.

Dans ce contexte, ce livre propose un large éventail de conseils techniques, de recommandations et de formulations concernant les dispositions constructives de l'assainissement. Il a nécessité une grande patience et une grande énergie pour en rassembler et analyser les données. Seule la motivation d'une équipe spécialisée, en permanence confrontée à la réalité multiple du terrain, a permis la réalisation d'un guide aussi vaste, sans toutefois que l'exhaustivité soit atteinte.

Les données fondamentales restituées dans leur cadre, les fonctionnalités des systèmes d'assainissement, les choix techniques et économiques à effectuer pour les agglomérations de toutes tailles, les systèmes et composants des réseaux, les calculs de dimensionnement à l'aide de l'outil informatique, tels sont quelques-uns des principaux thèmes traités ici.

À travers une démarche méthodologique claire et tenant compte des nouvelles technologies, d'importants développements permettront au lecteur de trouver des solutions attendues. L'ensemble du livre lui donnera en outre la vision globale indispensable pour bien aborder tout problème d'assainissement et préparer l'avenir.

Régis BOURRIER, Marc SATIN, Béchir SELMI



Partie 1

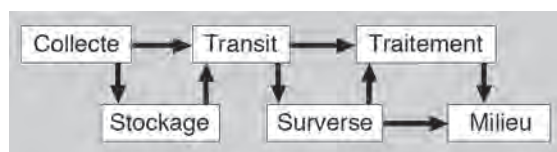
## **Données fondamentales**





# L'assainissement des agglomérations

L'assainissement des agglomérations a pour but d'assurer la collecte, le transit, au besoin la rétention de l'ensemble des eaux pluviales et usées, et de procéder aux traitements avant leur rejet dans le milieu naturel, par des modes compatibles avec les exigences de la santé publique et de l'environnement (fig. 1.1). Le terme de « système d'assainissement » est utilisé.



**Fig. 1.1. Grandes étapes de l'assainissement**

L'assainissement revêt donc des aspects très complexes, à la fois techniques, sanitaires, écologiques, législatifs et économiques. Les préoccupations actuelles se tournent vers une nécessaire maîtrise :

- des fonctionnements des systèmes de collecte et de traitement, qui doivent être perçus dans leur ensemble. En effet, aujourd'hui, la plupart des réseaux fonctionnent encore selon des modes en partie surannés : les applications de contrôle des déversements, les dispositifs de régulation, etc., ne sont engagés que dans de rares collectivités ;
- des pollutions domestiques, pluviales et industrielles générées dans le temps et dans l'espace, en y intégrant nécessairement les contrôles, les traitements à la source, les rétentions et les restitutions différées ;
- des rejets en termes de bilan global, tenant compte de la part résiduelle des eaux traitées et des surverses par temps de pluie, en fonction de la capacité des milieux récepteurs et de leurs objectifs de qualité ;
- de la gestion des patrimoines, des interventions d'entretien et des coûts d'investissement et d'exploitation, à optimiser.

La démarche actuelle doit donc consister à aborder les problèmes dans leur ensemble, en étudiant de façon permanente, les relations entre la structure, le fonction-

nement du système d'assainissement et l'acceptabilité du milieu récepteur.

Si, en France, l'émergence d'une civilisation urbaine date du Moyen Âge, le très fort accroissement de la population urbaine s'est produit avec l'industrialisation du pays et son décollage économique à partir du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Ainsi, la population urbaine ne représente que 24 % des Français en 1846 : elle passe à 73 % en 1975 et à 82 % en 2009.

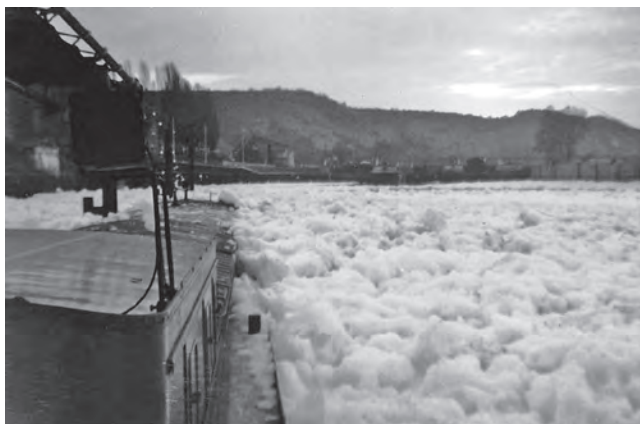
Cette urbanisation rapide de la population française correspond à un développement des villes, en nombre d'habitants et en extension spatiale, avec des impacts majeurs sur les cours d'eau, et plus généralement sur les milieux aquatiques.

Même si les nuisances dues aux rejets des villes sont connues depuis l'Empire romain, cette transformation de la société, depuis environ 180 ans, a généralisé, accru et concentré ces rejets d'eaux résiduelles et de matières solides vers le milieu aquatique.

Ces rejets, dus à l'activité humaine, engendrent la pollution des divers compartiments de l'hydrosphère (eaux superficielles, eaux souterraines, eaux marines), avec toutes les conséquences que cela entraîne aux plans de l'hygiène publique et de la protection de l'environnement.

Depuis près de 50 ans, une prise de conscience collective s'est opérée avec le développement du courant écologiste – nous sommes passés du mouvement hygiéniste et hydraulique à une approche plus environnementaliste. Pourtant, alors que la quasi-totalité des communes françaises dispose d'un réseau public d'alimentation en eau potable, il y a moins de 10 ans certaines des plus importantes agglomérations ne possédaient pas de système d'assainissement digne de ce nom. Encore aujourd'hui, de nombreux systèmes d'assainissement présentent des performances très insuffisantes.

Si aujourd'hui on ne voit plus de grands cours d'eau recouverts de mousse comme dans les années 1960 (photo 1.1), la pollution est plus insidieuse, moins visible, mais toujours due aux activités humaines, rejets des agglomérations, des industries ou des exploitations agricoles.



**Photo 1.1. Mousse due à des détergents non épurés et rejetés par les égouts<sup>(1)</sup>** (source : Agence de l'eau Seine-Normandie – © Omer Dourlen)

L'importance des dégâts économiques et écologiques générés par la pollution de l'eau en provenance des agglomérations a conduit les pouvoirs publics à inciter, parfois de façon encore insuffisante, les collectivités locales à améliorer leur système d'assainissement.

Malgré les efforts faits depuis une vingtaine d'années, notamment sur les stations d'épuration, l'assainissement des agglomérations doit rester une priorité. Il convient de ne pas se satisfaire du seul bon rendement de traitement de la pollution collectée. Le bon fonctionnement du réseau de collecte, l'optimisation des conditions de branchement, la limitation des surverses par temps de pluie sont autant de facteurs qui viendront compléter les efforts réalisés en matière d'épuration. C'est donc à juste titre que l'on évoque le « couple réseau-station ».

En effet, les causes de l'insuffisance des performances des systèmes d'assainissement se situent souvent dans la déficience de la collecte, mais aussi dans la défaillance ou la vétusté des canalisations et des branchements existants, induisant des exfiltrations d'eaux usées et infiltrations d'eaux parasites dans les réseaux, des déversements intempestifs et des surcharges hydrauliques.

L'amélioration « pointilleuse » des systèmes actuellement en service est donc une priorité pour améliorer la qualité des milieux aquatiques et poursuivre les actions engagées, de façon à tendre vers une efficacité maximale des investissements déjà consentis.

En outre, cette amélioration ne pourra passer que par une gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement,

(1) Photographie prise dans les années 1960 à l'aval du barrage de Poses sur la Seine. Cette mousse était aussi spectaculaire que dangereuse pour la navigation et toxique pour la vie aquatique.

car certains ouvrages commencent à dater. En plus de dysfonctionnements récurrents, la vétusté contribue à dégrader les performances des systèmes d'assainissement. La nécessité de renouvellements importants va être une source de dépenses importantes dans les décennies à venir, ceci dans un contexte économique de plus en plus contraint, d'autant que les ressources financières classiques des services d'assainissement diminuent.

## **1.1 Un regard global sur l'assainissement en France**

La prise en compte des problèmes d'environnement, en particulier la détérioration de la qualité des cours d'eau, a entraîné une accélération des réalisations d'équipements d'assainissement. Si, dans les années 1970, on construisait en France « une station d'épuration par jour », on ne se préoccupait que de l'élimination de la pollution particulière, parfois carbonée. C'est aussi de cette époque que datent de très nombreux programmes de mise en place (par tranches) des réseaux, dans de très nombreuses communes françaises.

D'après les dernières données disponibles<sup>(2)</sup>, le patrimoine français de l'assainissement s'établirait comme résumé dans le tableau 1.1.

Sur les quelque 400 000 km de canalisations d'assainissement sont recensés environ  $\frac{1}{4}$  d'unitaire et  $\frac{1}{4}$  de réseau eaux pluviales, ce qui signifie environ 200 000 km de réseau séparatif eaux usées.

Sur la base de la valeur à neuf des équipements, le réseau constitue la composante la plus importante du patrimoine assainissement, soit environ les trois-quarts, ce qui justifie amplement l'importance de se préoccuper de la partie « collecte » d'un système d'assainissement. Pour l'année 2007, le total des dépenses liées aux domaines de l'eau potable et de l'assainissement s'élevait à près de 21,6 milliards d'euros, dont 13,1 (soit 60 %) pour l'assainissement<sup>(3)</sup>.

### **REMARQUE**

L'importance des fourchettes de valeurs résulte des nombreuses incertitudes sur la valorisation des installations ainsi que des durées de vie des ouvrages prises comme hypothèses pour le calcul.

(2) Ernst & Young, *Étude de calcul de la récupération des coûts des services liés à l'utilisation de l'eau pour les bassins hydrographiques français en application de la directive cadre sur l'eau*, OIEau (Office international de l'eau), avril 2012.

(3) Rapport de la commission des comptes à l'économie de l'environnement, édition 2011.

**Tab. 1.1. Le patrimoine français de l'assainissement et sa valorisation**

Paramètres <sup>(1)</sup>	Stations d'épuration	Réseaux en zone urbaine	Réseaux en zone rurale	Branchements
Dénombrement	18 830 unités	284 000 km	111 000 km	18,6 millions d'abonnés
Valeur à neuf (Md€)	Entre 23 et 26	Entre 126 et 173		Entre 18 et 26
(1) Le nombre de stations d'épuration d'une capacité supérieure à 2 000 EH était, en 2008, de 3 280, soit moins de 20 % du parc français.				

Pour environ 65 millions d'habitants, la France possède 17 228 services d'assainissement collectif (Observatoire<sup>(4)</sup> 2009 – Eaufrance), disposant d'une capacité épuratoire globale de 93,9 millions d'équivalent-habitants (EH). La gouvernance de l'assainissement, très morcelée, n'est pas toujours apte à disposer des moyens humains et financiers suffisants pour répondre aux enjeux de la fiabilisation de l'assainissement, telle que le nécessitent à la fois le service à l'usager et la protection de l'environnement, comme le montrent les deux exemples ci-dessous :

- Le bilan de l'Observatoire 2009 montre un niveau moyen français de l'indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux qui s'établit, en effet, à 56 points/100 pour l'ensemble des services d'assainissement collectif. En clair, en moyenne, les services d'assainissement maîtrisent insuffisamment la structure et le fonctionnement de leurs systèmes d'assainissement. Si cette connaissance médiocre permet, malgré tout, des actions de court terme, elle n'autorise que difficilement la gestion de moyen terme (programmation pluriannuelle) et encore plus difficilement la planification stratégique de long terme.

- Ceci semble confirmé par un autre résultat de l'Observatoire 2009, qui établit un taux moyen français de renouvellement de 0,71 % : il signifie (en schématisant) qu'il faudrait, à effort constant, 140 ans pour renouveler entièrement les canalisations. Or :

- d'une part, ce chiffre se fonde sur un faible échantillon de services ayant répondu à l'enquête ;
- d'autre part, les services les plus motivés pour répondre à l'enquête sont vraisemblablement les plus engagés dans une gestion patrimoniale.

Il est donc à craindre que la réalité soit encore plus inquiétante, comme l'ont constaté les auteurs, sur divers territoires regroupant de 30 à 80 communes, où des taux moyens de renouvellement inférieurs à 0,3 % sont enregistrés.

Autre exemple de ce souci, l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse recense environ 900 stations d'épura-

tion qui n'auraient pas fait l'objet de travaux de rénovation lourde depuis 20 ans, notamment en milieu rural.

Et si, d'une manière générale, sur la dernière décennie, des sommes très importantes ont été mobilisées (exemple : 1 milliard d'euros entre 2008 et 2012 par l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse), elles l'ont été en majorité sur les plus grandes stations d'épuration.

De plus, les calendriers réglementaires ont été trop négligés par les collectivités, puisque plusieurs infractions ont été relevées par l'Europe. Ainsi, ayant notamment constaté un retard important de la France sur la mise en conformité à l'échéance 1998 de la directive « eaux résiduaires urbaines » (dite ERU) du 21 mai 1991, pour les stations d'épuration les plus importantes (capacité supérieure à 10 000 EH et rejet en zone sensible ou côtière), la Cour de justice européenne a condamné la France, en novembre 2013, pour non-respect de l'échéance de 2000 de cette même directive. Et encore, cette condamnation ne concerne que le système de traitement, omettant la réalité des systèmes de collecte.

D'après le CGDD (Commissariat général au développement durable), 32 % des communes françaises, de petite taille principalement, ne disposaient pas de réseau de collecte en 2008 (tab. 1.2).

Sur la base des chiffres du tableau 1.2, on constate qu'environ 15 % de la population française (soit environ 5 millions de logements ou 12 millions d'habitants) était en 2008 équipée en assainissement non collectif, mais sans précision quant au niveau de conformité des installations. En effet, les enquêtes fines réalisées lors des « zonages assainissement » permettent de constater que le terme de « système d'assainissement non collectif » recouvre aussi des équipements sommaires, inefficaces ou non conformes.

Les SPANC font les mêmes constatations (voir § 3.6.9), mais il n'est pas encore possible de disposer de données globales consolidées au niveau de la France. Le nombre de logements équipés d'un système d'assainissement non collectif n'a globalement pas évolué en une dizaine d'années. D'ailleurs, la part de l'assainissement non collectif subsistera en France, où la densité de population est faible et où l'on compte beaucoup de résidences secondaires et de hameaux isolés.

(4) Observatoire national des services publics d'eau et d'assainissement, Eaufrance ([services.eaufrance.fr/observatoire](http://services.eaufrance.fr/observatoire)).

**Tab. 1.2. Nombre de logements selon le type d'assainissement en 2008 (CGDD n° 210, avril 2011)**

Nombre de logements (millions d'unités)	Avec traitement			Sans traitement			Part des logements sans raccordement au réseau de collecte ni assainissement autonome
	<i>Raccordés à une station d'épuration</i>	<i>Avec assainissement autonome</i>	<i>Total</i>	<i>Raccordés au réseau de collecte, mais pas à la station d'épuration</i>	<i>Sans raccordement au réseau de collecte ni assainissement autonome</i>	<i>Total</i>	
France métropolitaine	26,0	4,6	30,6	0,4	0,6	1,0	1,8 %
France entière	26,3	5,0	31,3	0,4	0,7	1,2	2,0 %

Le nombre de logements concernés par une station d'épuration continue de progresser : le pourcentage de la population dite « équipée en collectif » vaut environ 81 %. Toutefois, ce taux représente la population « raccordable » à un système d'assainissement, sans que cela signifie que le raccordement soit effectif ou efficient. Le taux français moyen de raccordement effectif des branchements à l'assainissement collectif, c'est-à-dire la population « raccordée » est un chiffre aujourd'hui inconnu.

L'accroissement de la part de l'assainissement collectif repose sur l'extension de la collecte, encore trop souvent décidée sur des critères de confort plus que sur des besoins environnementaux. En effet, hormis dans certains contextes géologiques et hydrogéologiques particuliers, un assainissement non collectif conforme présente des qualités environnementales similaires à celles d'un assainissement collectif.

Enfin, outre les déficiences des assainissements collectif et non collectif – que ne montrent pas les données statistiques globales, mais qui sont connues par les études sectorielles (type études diagnostiques ou schémas directeurs) –, le tableau 1.2 montre la persistance d'environ 2 % de la population sans aucun assainissement.

Ainsi, en raison d'une collecte encore déficiente ou faute d'un traitement suffisant des diverses pollutions, la qualité des eaux naturelles ne s'améliore que très lentement, même si les rejets des agglomérations ne sont pas les seuls à contribuer à la dégradation du milieu, l'agriculture, l'industrie et les infrastructures y ayant aussi une grande part de responsabilité).

En 2009, d'après l'Onema<sup>(5)</sup>, 45 % des masses d'eau de surface respectent les conditions du « bon état », ce qui signifie vraisemblablement que l'objectif 2015 d'atteindre

64 % de « bon état » sur le territoire métropolitain, suivant la directive-cadre sur l'eau du 23 octobre 2000 (dite DCE<sup>(6)</sup>) ne sera pas atteint.

## 1.2 Situation des équipements d'assainissement en Europe

D'après l'Agence européenne pour l'environnement, seulement 52 % des masses d'eau de l'Europe atteindront un bon état écologique d'ici 2015, montrant que l'objectif fixé par la directive-cadre sur l'eau risque de ne pas être atteint, et cela même si la qualité des eaux s'est nettement améliorée au cours des deux dernières décennies.

Ainsi, au moment de l'adoption de la directive ERU (1991, voir § 3.6), les situations suivantes étaient rencontrées :

- rejets d'eaux usées directement et sans traitement de grandes agglomérations (Bruxelles, Milan, Marseille...) ;
- évacuation en mer des boues issues du traitement des eaux usées (Irlande, Espagne...).

Malgré l'importance des délais consentis pour les actions de mises en conformité, le rattrapage de leur retard s'est avéré très difficile pour de nombreux États (dont la France), pour des raisons économiques, mais aussi du fait d'un certain manque de volonté politique, que ce soit au niveau national ou local.

De fait, la mise en œuvre de la directive DERU a généré de nombreux contentieux avec les États, puisqu'en 2011 (c'est-à-dire en 20 ans) au moins 37 ont été recensés, pour au moins 12 États sur les 15 adhérents à l'Union Européenne à la date de l'adoption (fig. 1.2).

(5) Office national de l'eau et des milieux aquatiques.

(6) Directive-cadre transposée en droit français par la loi n° 2004-338 du 21 avril 2004.

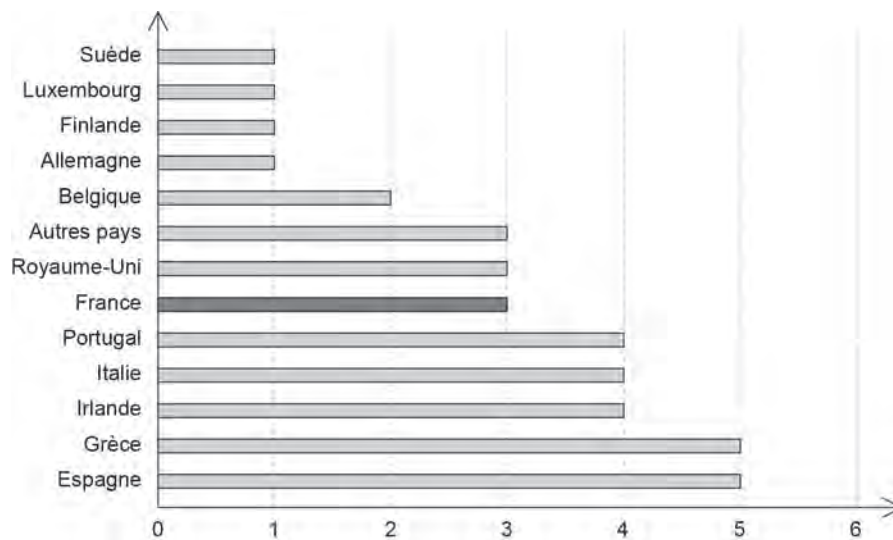


Fig. 1.2. Nombre d'affaires contentieuses en lien avec la DERU, par pays

Pour information, sont présentés ci-dessous quelques éléments sur les systèmes d'assainissement des pays européens. S'agissant de données moyennes, parfois déjà un peu anciennes, il ne s'agit que d'illustrations sommaires et non pas d'une analyse comparative entre pays. Notons, en cohérence avec les exigences de la DERU du 21 mai 1991, que les ouvrages d'épuration au sein de la Communauté européenne réalisent aujourd'hui, pour la plupart d'entre eux (et sur les capacités les plus importantes), un traitement de type secondaire, c'est-à-dire qu'ils possèdent un étage biologique.

– D'après un document de 2002 (Department for Environment, Food and Rural Affairs), le **Royaume-Uni** (63 millions d'habitants) possède environ 347 000 km de réseaux, unitaires en très grande majorité. Desservant environ 96 % de la population, ils alimentent environ 9 000 stations d'épuration. Comme ce pays a été le premier, il y a plus d'un siècle, à s'équiper massivement en réseaux d'assainissement, il est confronté, peut-être plus tôt que les autres pays européens, à la problématique du renouvellement à long terme. La gestion de l'assainissement par temps de pluie est également au cœur des préoccupations, les stations d'épuration de Londres et Whitburn ont été déclarées en 2013 non conformes par l'Europe en raison de leurs débordements beaucoup trop fréquents par temps de pluie.

– En **Allemagne** (82 millions d'habitants), les réseaux sont majoritairement unitaires, avec des taux de raccordement divers, selon qu'il s'agit d'anciens Länder (ouest, taux 95 %) ou de nouveaux Länder (est, taux 63 %). L'assainissement non collectif concerne en Allemagne un

nombre de personnes beaucoup plus faible qu'en France, du fait de la plus grande densité de population outre-Rhin. Plus de 95 % de la population est raccordée à un réseau d'assainissement public (Statistisches Bundesamt, 2007).

D'après S. Neitzke (Bäuerle und Partner, 2006), on dénombre environ 500 000 km, dont 234 000 km en unitaire et 155 000 km en eaux usées, dont 85 % ont un diamètre inférieur à 800 mm. Le grès représente près de la moitié (46 %) des canalisations DN < 800. Il faut ajouter entre 2 à 3 fois le linéaire public pour prendre en compte les canalisations privées, y compris les branchements des particuliers.

Sur la base d'une connaissance approfondie du réseau d'assainissement en Allemagne (environ  $\frac{3}{4}$  du linéaire inspectés), il est estimé qu'il y aurait environ 20 % à réhabiliter à court et moyen termes, soit un besoin en investissement de l'ordre de 50-55 Md€.

L'état des ouvrages se dégradant continuellement, les approches de gestion patrimoniale se développent rapidement, pour pouvoir faire face aux besoins de renouvellement des canalisations.

– En **Italie** (61 millions d'habitants), les systèmes d'assainissement, très nombreux il y a une vingtaine d'années, ont été regroupés pour une gestion de l'eau collective par bassin versant, réforme difficile et de longue haleine qui devrait permettre, à terme, de n'identifier plus qu'une centaine de maîtres d'ouvrage dans tout le pays. À ce jour, environ 10 000 unités de traitement sont en place sur le territoire italien.



En 2008, 82 % de la population était raccordable à une station d'épuration, pour un traitement global moyen de 60 % des eaux usées avec des filières efficaces (OCDE 2013). Toutefois, il apparaît une forte hétérogénéité régionale, avec des déficits de raccordements et de performances très différents entre le nord et le sud. Là encore, le vieillissement des ouvrages pose le problème du renouvellement et des financements associés à trouver pour y faire face. Déjà, plus de la moitié des dépenses publiques de l'assainissement est destinée au renouvellement des infrastructures.

– En **Espagne** (47 millions d'habitants), il est considéré que 80 % de la population urbaine est desservie par un réseau d'égouts et jusqu'à 93 % dans les grandes villes. Les réseaux sont le plus souvent unitaires, avec des difficultés liées aux débordements par temps de pluie. Les stations d'épuration traitent environ 66 % de la charge polluante générée. L'importance des travaux engagés dans les dernières décennies n'a pourtant pas permis de respecter les diverses échéances de la DERU (OCDE 2004). En effet, quelque 800 agglomérations espagnoles de plus de 2 000 habitants sont concernées par l'absence ou l'insuffisance forte de stations d'épuration (Atta<sup>(7)</sup>, 2007).

– Les données **belges** ne concernent ici que la Wallonie (3,5 millions d'habitants), montrant une région où 87 % de la population est desservie par 19 000 km de réseaux d'assainissement, ceux-ci alimentant 373 stations d'épuration. Les autorités considèrent qu'il reste près de 4 000 km de réseaux à construire, ainsi qu'environ 450 unités de traitement (Portail environnement de Wallonie 2010).

Sur le reste du territoire belge sont réparties 225 stations d'épuration en région flamande et 2 pour Bruxelles-Capitale.

Pour ses retards vis-à-vis de la DERU, la Belgique a été condamnée en 2013 par la Cour de justice européenne.

– En **Suisse** (8 millions d'habitants) il existe environ 850 stations d'épuration, dont les 2/3 sont de capacité supérieure à 2 000 EH. Elles sont alimentées par un linéaire de 40 000 à 50 000 km de canalisations publiques. En 2005, il était considéré que 97 % des personnes vivant en Suisse étaient raccordées à une station d'épuration. L'assainissement non collectif ne devrait concerner à terme plus que 2 % de la population (Office fédéral de l'environnement OFEV).

(7) Association technologique pour le traitement de l'eau.

### 1.3 Responsabilité des collectivités locales en matière d'assainissement

En France, eu égard à la loi du 5 avril 1884, constituant le texte fondamental de l'organisation municipale, et au Code des communes, la commune est responsable de l'hygiène publique en vue d'assurer dans la cité la prévention de maladies épidémiques. Le déversement des eaux usées est soumis à diverses dispositions de nature législative ou réglementaire visant notamment la police des eaux et la protection de la santé publique.

Dans le cadre des diverses lois « sur l'eau » (3 janvier 1992, 30 décembre 2006), le Code général des collectivités territoriales (CGCT, remplaçant le Code des communes depuis une quinzaine d'années) a été profondément modifié. Il impose aux communes dont le territoire est compris dans une agglomération dite « d'assainissement », d'être équipées d'un réseau de collecte et d'un traitement secondaire, et aux collectivités de prendre en charge les dépenses relatives aux systèmes d'assainissement collectifs.

C'est ainsi que la commune est devenue, devant la loi, le premier acteur dans l'assainissement, place qu'elle occupait déjà depuis longtemps dans les faits.

Dans la dernière décennie, le transfert de la compétence « assainissement » a suivi l'important développement de l'intercommunalité, notamment les communautés de communes et communautés d'agglomération. Nombreux sont aujourd'hui les établissements publics de coopération intercommunale en charge de l'assainissement, même si les pouvoirs de police associés sont, dans leur grande majorité, restés aux maires.

### 1.4 Structure d'un système d'assainissement

La résolution de tous les problèmes, fort complexes, que comporte ce type d'équipement public nécessite une organisation communale ou intercommunale, administrative, technique et structurelle.

En schématisant (ce que l'on nomme le « petit » cycle de l'eau), on situe en amont toutes les installations de captage-alimentation-distribution d'eau potable nécessaires à satisfaire les besoins de l'homme, et on retrouve en aval l'eau polluée par l'homme et ses activités. Entre ces deux pôles, on localise tous les usages de l'eau qu'il faut appréhender sous la forme d'effluents à prendre en charge. Là commence la structure d'un équipement d'assainissement, qui comporte les éléments constitutifs examinés ci-après.

• *Les équipements sanitaires et « d'accès au système »* sont constitués du branchement et de l'équipement sanitaire

des immeubles, bâtiments publics, locaux d'activités, etc., et de l'équipement d'engouffrement des eaux pluviales. On distingue :

- pour les eaux usées, les raccordements des appareils aux canalisations intérieures du domaine privé recueillant les eaux-vannes et ménagères, les interfaces (dites « boîtes de branchement ») avec le réseau public, qui assurent l'évacuation et offrent également un accès de contrôle ;

- pour les eaux pluviales, les regards en pied de chute, les gargouilles, les siphons de cour, les bouches à grille, les avaloirs et autres dispositifs similaires, placés en des points précis du drainage des espaces revêtus et des voiries. Certains d'entre eux peuvent assurer la décantation des sables, le piégeage des flottants et la rétention des hydrocarbures.

- *Les réseaux* (thalwegs du ruissellement, émissaires à ciel ouvert, collecteurs gravitaires, conduites sous pression ou en dépression) assurent la continuité de l'écoulement et le transfert des effluents. La configuration d'un réseau, le plus couramment ramifiée, peut aussi être maillée. Au cours du temps, il peut avoir subi des changements de structure, des renforcements, des interconnexions et se trouver finalement constitué d'ouvrages hétérogènes, ce qui rend le système complexe d'un point de vue fonctionnel.

- *Les ouvrages ponctuels, intermédiaires ou particuliers* font référence aux regards de visite, aux « chambres » et autres dispositifs, situés en des points névralgiques du réseau. Ils ont des rôles fonctionnels spécifiques : accès pour l'entretien et l'exploitation, régulations des débits, prétraitement de pollutions, déversements en cas d'orage, pompages de relèvement et de refoulement, et, enfin, traitement et élimination de la pollution avant rejet au milieu.

- *Les secteurs (ou bassins) de collecte* sont représentés, selon l'échelle où l'on se place, par les parcelles, les rues, les îlots d'habitation, les zones d'activités, etc., tous espaces où se génèrent les flux d'eaux usées ou pluviales, et correspondant aux branches des réseaux qui en assurent la desserte.

- *Les bassins versants et les unités techniques* sont des secteurs géographiques limités par des contextes soit hydrologique, soit topographique, soit institutionnel, à l'aval desquels aboutissent les effluents à épurer et à rejeter dans un exutoire vers le milieu récepteur (plan d'eau, rivière, mer).

La structure d'un équipement d'assainissement met en évidence :

- l'aspect statique de l'organisation spatiale des composants et de la configuration du système ;

- l'aspect dynamique du rôle et de la fonctionnalité des liaisons hydrauliques dans le transit, la régulation et l'épuration des flux ;

- l'aspect temporel des nécessités d'évolution et d'amélioration quantitatives et qualitatives.

## 1.5 L'assainissement, un système en perpétuelle évolution

Les systèmes d'assainissement dépendent à l'évidence de l'occupation des sols et, réciproquement, les choix d'urbanisme ne peuvent pas se faire sans tenir compte des contraintes d'assainissement. Comme tous les autres équipements dont l'urbanisation dépend, l'assainissement concourt au confort des usagers et à la sécurité des personnes et des biens, mais également à la réduction des nuisances et des pollutions, tout en participant à lutte contre les déséquilibres écologiques.

Aussi un système d'assainissement peut-il difficilement demeurer statique, en raison des évolutions liées aux modifications permanentes du tissu urbain et aux nouvelles exigences de protection des milieux naturels.

Si, le plus souvent, le système d'assainissement se trouve en décalage avec l'accroissement de l'urbanisation et des activités, il l'est encore plus fréquemment avec l'acceptabilité du milieu naturel.

Les capacités auto-épuratoires d'un cours d'eau sont constantes, elles ne peuvent évoluer pour suivre le développement urbain : celui-ci impose alors au système d'assainissement d'accroître ses performances d'élimination de la pollution, pour maintenir constant aussi le flux rejeté au milieu. Or, cette course-poursuite est coûteuse et complexe. Aussi, comme le développement économique prime, les investissements pour le système d'assainissement sont souvent décidés « en retard ». Pour répondre à cette distorsion, on a pu voir, ces dernières années, dans de trop rares cas, l'État interdire la délivrance de nouveaux permis de construire tant que la station d'épuration n'avait pas été mise aux normes par la collectivité concernée.

La perpétuelle évolution d'un système d'assainissement impose de se soucier des implications dans l'espace et dans le temps. En effet, la conception d'un système d'assainissement implique des choix qu'il sera difficile d'infléchir ensuite, notamment du fait de son caractère gravitaire. Pourtant, il convient de les transformer de façon permanente pour s'adapter à l'évolution du contexte et des besoins en prenant conscience des enjeux d'avenir pour la collectivité et pour le milieu.

Il découle de cette logique la nécessité d'une connaissance locale sans cesse renouvelée, d'une maîtrise du développement des systèmes et d'une gestion optimale des réseaux et installations associées. C'est donc en termes de bilan de l'eau que l'on doit penser le fonctionnement global de l'assainissement, prenant en compte, les notions de pollution résiduelle et de préservation des milieux naturels.





## Le milieu naturel dit « milieu récepteur »

La totalité de l'eau présente sur notre planète constitue l'hydrosphère, et les estimations de son volume varient de 1 350 à 1 700 millions de kilomètres cubes, l'incertitude provenant surtout des inconnues quant aux réserves en eau souterraine. La répartition des diverses formes de l'eau (%) s'établit comme indiqué au tableau 2.1.

**Tab. 2.1. Répartition des diverses formes d'eau (%)**

Forme d'eau	Répartition
Océans	97,2
Glaces	2,1
Eaux souterraines	0,6
Lacs et rivières	0,02
Vapeur atmosphérique	0,002

Ainsi, l'eau douce ne représente que moins de 3 % du volume total de l'hydrosphère. Moins de 0,03 % de l'eau de notre planète s'avère directement disponible. Cette répartition n'est qu'une image, car l'eau est en perpétuel mouvement (fig. 2.1) : toute eau vient des océans et y retourne tôt ou tard par un cycle hydrologique continu, le « grand cycle de l'eau ».

Lorsque les précipitations atteignent la surface du sol, trois phénomènes sont possibles :

- *l'infiltration* : réhydratation des sols, puis stockage en nappe, éventuellement résurgences ;
- *l'évapotranspiration* : évaporation au niveau du sol, dont l'efficacité est fortement amplifiée par les végétaux qui évacuent de grandes masses d'eau par leur système foliaire ;
- *le ruissellement* : écoulement en surface sur un sol peu perméable et/ou saturé.

Il convient donc de parler de flux. Considérant une pluviométrie moyenne sur le territoire français métropolitain d'environ 0,75 m/an, le volume annuel d'eau tombé est de 440 milliards de m<sup>3</sup>. Mais environ 60 % de ce volume retourne à l'atmosphère par évapotranspiration, ce qui

laisse 170 à 180 milliards de m<sup>3</sup>/an s'écoulant dans les 513 000 km du réseau hydrographique français ou vers les nappes souterraines.

Ce schéma naturel, simple dans son énoncé, est modifié par les activités humaines car, en France, les prélèvements sont de l'ordre de 40 milliards de m<sup>3</sup>/an, avec une consommation nette correspondante (sans retour liquide au milieu naturel) de 8 milliards de m<sup>3</sup>/an.

Si, au regard de ces chiffres, il n'est pas possible de dire que la France manque d'eau, il faut néanmoins noter que la part d'eau réellement disponible s'établit en moyenne à 85 milliards de m<sup>3</sup>, et qu'il existe des disparités régionales et saisonnières, qui vont s'aggraver avec le changement climatique. De plus, à l'horizon de 30 à 40 ans, l'offre de la ressource en eau va décroître tandis que la demande (démographie) va augmenter, générant des tensions de plus en plus fortes. D'ailleurs, ces dernières années, il est constaté une systématisation des arrêts « sécheresse », pris par les préfets, dès que les rivières ou les nappes atteignent des niveaux trop bas.

Cette eau est un élément indispensable à la vie, représentant le constituant inorganique prépondérant dans la matière vivante. En règle générale, l'eau intervient à 75 % dans la composition pondérale de la cellule vivante (elle représente 65 % du poids d'un homme adulte), cela illustre bien l'importance de l'eau pour toutes les créatures vivantes, végétales ou animales.

Or l'eau disponible pour l'homme se situe majoritairement dans les nappes souterraines et les cours d'eau, là où s'effectuent justement les prélèvements, mais aussi les rejets. Toute action, quantitative ou qualitative, sur tout ou partie du grand cycle de l'eau, peut le perturber à plus ou moins long terme et entraîner ainsi des modifications difficilement réversibles.

C'est dans ce cadre que le milieu récepteur des rejets de l'activité humaine doit être étudié, vis-à-vis des altérations qu'il risque de subir.

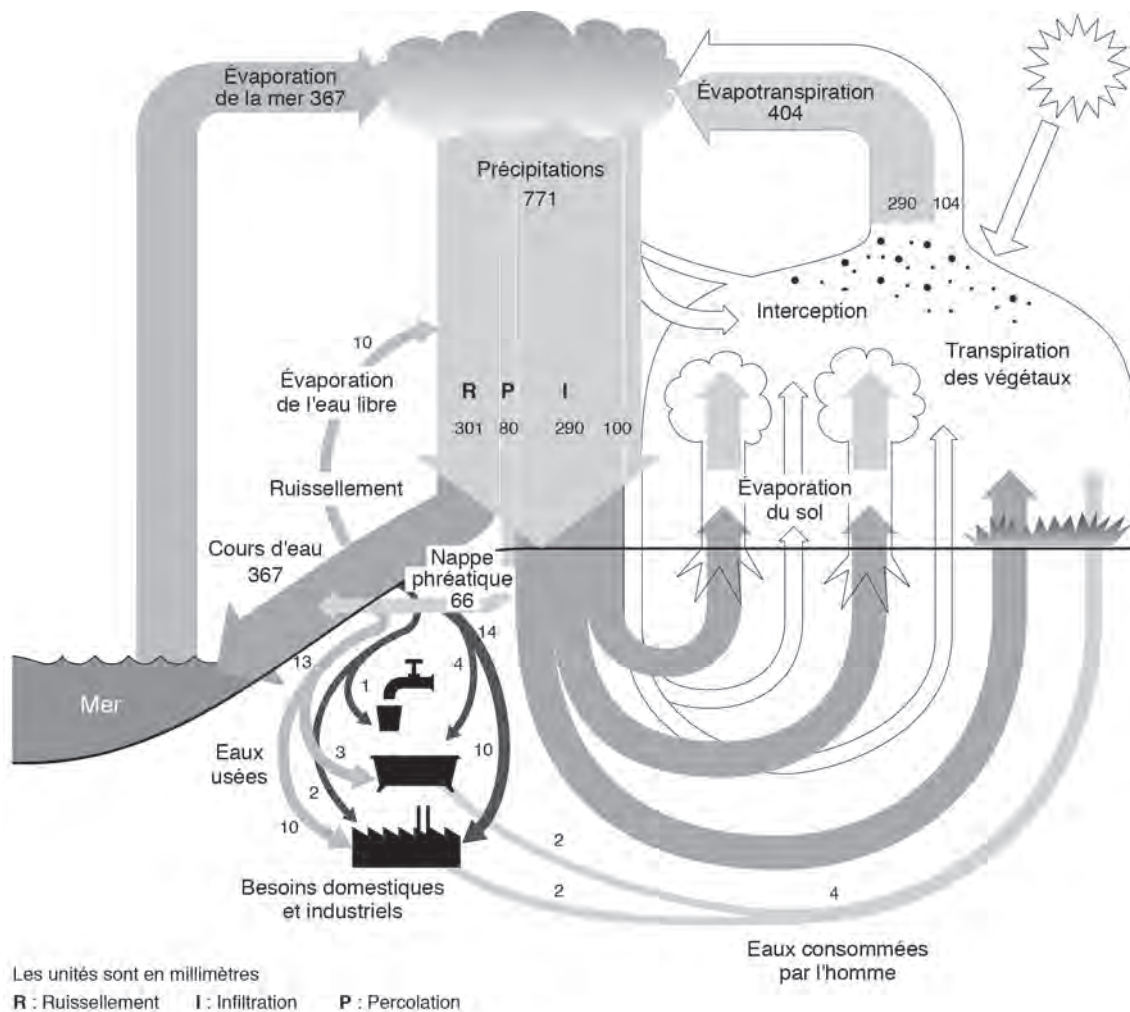


Fig. 2.1. Cycle de l'eau (source : Paul Duvigneaud, *La Synthèse écologique*)

## 2.1 Un milieu vivant

Un cours d'eau, depuis le plus petit des rus jusqu'au fleuve, n'est pas seulement un tronçon de réseau hydrographique transportant de l'eau courante et assurant l'évacuation des précipitations vers un niveau plus aval ; c'est un écosystème complexe, caractérisé par des communautés de végétaux et d'animaux adaptés à la vie aquatique.

C'est aussi un axe structurant du paysage, ainsi qu'un support à toutes les activités humaines, économiques et ludiques. Cet aspect est maintenant fortement souligné, à l'exemple de la Datar qui, en 2002, dans son étude *Aménager la France de 2020*, prône le « retour des villes vers les cours d'eau » et insiste sur « leur dimension environnementale ». La réouverture des cours d'eau, canalisés en souterrain des villes, commence à être un véritable enjeu d'aménagement urbain, comme le montrent les actions engagées, par exemple en Île-de-France pour la

Bièvre ou le Petit Rosne. Même sur des rivières encore à ciel ouvert mais « corsetées » dans des lits en béton, leur restauration (renaturation) permet de rendre un caractère plus naturel aux berges. Tout ceci suppose de maîtriser le régime hydraulique et la qualité des eaux de ces cours d'eau, sujets directement en prise avec le présent ouvrage, notamment en milieu urbain.

Que l'on fasse référence aux fonctionnalités biologiques intrinsèques des milieux aquatiques ou, de façon plus anthropocentrique, aux usages de l'eau par l'homme, une eau « de qualité » est toujours nécessaire : elle doit permettre la vie, le développement et la reproduction des organismes aquatiques, mais aussi la fabrication d'eau potable, l'irrigation, l'abreuvement et tous les loisirs et sports liés à l'eau.

Sur certains thèmes le public et les collectivités locales sont particulièrement attentifs, comme le montre l'impact médiatique des pavillons bleus et des pavillons noirs

lorsqu'il s'agit de baignade, ou encore du dépassement de la norme en nitrate de l'eau potable.

### 2.1.1 Ruisseaux, rivières et fleuves

Il est difficile de définir un cours d'eau car, depuis sa source jusqu'à son débouché en mer, il est soumis à de grandes variations d'aspect. De même, la limite de l'écosystème « cours d'eau » est floue, car la transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre s'effectue souvent par une zone humide qu'il convient d'associer au cours d'eau. Enfin, les saisons influent sur la vie du cours d'eau, tant sur son débit (de l'étiage à la crue) que sur sa qualité (température, par exemple).

L'ensemble de ces fluctuations géographiques et saisonnières conditionne la vie dans le cours d'eau ; par exemple, certains animaux, qui ne peuvent pas vivre dans un torrent, se plaisent dans une rivière de plaine à écoulement lent. Ainsi, à chaque endroit du cours d'eau, sur les berges et jusque dans le lit majeur, des formes de vie s'établissent, chacune recherchant les conditions optimales pour son développement.

#### 2.1.1.1 Lit et berges : l'hydromorphologie

##### Caractéristiques physiques longitudinales

De la source à la mer, les conditions de pente varient, passant d'un pourcentage de 4 à 8 % à moins de 0,01 %, influençant nettement la forme du lit, en plan comme en profil (tab. 2.2).

**Tab. 2.2. Étude des pentes de deux cours d'eau**

Pente de la Loire (%)		Pente du torrent La Sallanches (%)	
De la source à 100 km	0,78	De la source à 4 km	16
De 100 à 400 km	0,12	De 4 à 5,5 km	9
De 400 km à la mer	0,02	De 5,5 km à l'Arve	3

Les fortes pentes induisent des vitesses importantes et donc un transport actif de matières grossières (grosses ou petites pierres) ou fines (sables, graviers). C'est ainsi que les fonds des cours d'eau pentus sont couverts de cailloux. À l'inverse, lorsque la vitesse décroît, la sédimentation se fait plus efficace, et le fond se recouvre de fins dépôts.

Apparaît ici la notion de rugosité du fond et des berges, celle-ci, en augmentant, entraîne une diminution de la vitesse. Ainsi, pour schématiser, plus les matériaux du fond sont fins, moins la rugosité est importante.

En pratique, la vitesse d'un cours d'eau excède rarement 3 m/s (environ 11 km/h). Une rivière est considérée comme lente si sa vitesse est inférieure à 0,25 m/s (0,9 km/h). Au-dessus de 0,5 m/s (1,8 km/h), la rivière est dite rapide.

Le mode d'écoulement de la rivière est conditionné par la vitesse de l'eau et sa régularité. Un cours d'eau lent présente des couches d'eau parallèles à la surface (écoulement laminaire). L'augmentation de la vitesse et/ou de la rugosité provoque le passage à un écoulement turbulent, générateur de tourbillons.

L'énergie cinétique de l'eau permet de transporter vers l'aval des matériaux d'autant plus gros que la vitesse est grande. Une rivière de plaine transporte continuellement des sables, alors qu'un torrent peut déplacer des pavés. Lorsque l'énergie cinétique n'est pas entièrement consommée par les frottements et le transport, il y a érosion du lit. Ce creusement du lit entraîne une réduction de la pente par rapport à l'aval, donc la chute de la vitesse et, ainsi, l'arrêt de l'érosion. Dans le cas contraire, une accumulation de dépôts augmente la pente par rapport à l'aval, accroissant la vitesse et supprimant ainsi la sédimentation.

#### REMARQUE

La forme actuelle d'un lit est le résultat de mécanismes contradictoires sur de longues périodes, qui ont contribué à dessiner un profil adapté, établissant un équilibre dynamique pour assurer le transit optimal des débits liquides et solides. Ainsi, chaque rivière possède un fonctionnement hydromorphologique qui lui est propre et qu'il convient de respecter.

##### Caractéristiques physiques transversales

Le cours d'eau s'écoule habituellement dans une dépression de terrain : le lit mineur.

Deux zones se distinguent, selon l'importance du courant. À l'intérieur des méandres ou dans des élargissements, la vitesse chute considérablement, voire s'annule. La sédimentation y est active. Dans le milieu du lit mineur, la vitesse est plus grande ( $\geq 10$  cm/s) ; on parle de faciès lotique par opposition au faciès lentique.

Dès que le débit augmente, sous l'effet des précipitations, le lit mineur peut ne pas suffire à évacuer toute l'eau : il y a débordement, d'abord dans le lit moyen, puis dans le lit majeur.

La distinction entre lit moyen et lit majeur repose sur l'influence d'écoulement, c'est-à-dire que, par temps de crue, la masse d'eau présente une vitesse maximale au droit du lit mineur et possède une vitesse résiduelle sur le lit moyen, alors que celle-ci est quasi nulle dans le lit majeur.

Une plantation dense en bordure du cours d'eau dans le lit moyen intègre celui-ci au lit majeur, puisque la présence des arbres, annule la vitesse et contribue exclusivement au stockage. Ce type d'occupation est une entrave à la libre circulation des eaux. La suppression de la plantation entraînerait de nouveau la possibilité d'une vitesse significative. Il peut se produire naturellement le contournement d'un espace boisé, créant un îlot submergé lors des crues.

**REMARQUE**

Une rivière se déplace naturellement dans son lit majeur, souvent à la faveur de grandes crues, mais aussi par petites touches, suite à l'érosion et à la sédimentation sur les berges. Ce déplacement constitue un espace de mobilité dont la préservation est un enjeu important dans la gestion globale et équilibrée de l'eau, préconisation fondamentale dans la plupart des SDAGE.

L'intérêt des zones temporairement inondées est primordial tant pour des raisons écologiques que de protection des secteurs habités. En effet, les zones humides, transition entre terre et eau, ne sont pas seulement riches du point de vue de la faune et de la flore, mais constituent une protection pour la qualité de la rivière. En outre, lorsque les zones naturelles d'expansion des crues sont supprimées, les eaux se répandent ailleurs, en particulier là où elles sont les plus dangereuses, en ville par exemple.

## Hydromorphologie et vie dans le cours d'eau

La vie aquatique et son bon développement sont largement corrélés aux paramètres hydromorphologiques car ce sont eux qui conditionnent la diversité et la qualité des habitats nécessaires aux espèces. Un bon état hydromorphologique nécessite l'alternance des faciès, la diversité de la granulométrie des fonds, l'absence de contraintes latérales, la succession de secteurs ombragés et ensoleillés et la libre circulation des sédiments.

**2.1.1.2 Qualité des eaux**

## Oxygène

La vie aquatique dépend en premier lieu de la teneur en oxygène dissous de l'eau, ce facteur étant en particulier lié à la vitesse (turbulence, donc réoxygénation) et à la température de celle-ci. L'apport d'oxygène dans l'eau se fait par contact entre l'air et le liquide. À l'interface des deux fluides, la couche extrême des molécules d'eau absorbe l'oxygène de l'air.

L'eau dissout l'oxygène, mais la teneur en oxygène ne peut pas dépasser une limite de saturation, qui se réduit au fur et à mesure de l'augmentation de la température et de l'altitude (tab. 2.3).

Lorsque l'oxygène dissous est mesuré en rivière, il convient soit de mentionner la température associée, soit de fournir directement le taux de saturation. Si à 10 °C la teneur est de 11,26 mg/l, le taux est de 100 %, mais il serait de 80 % pour une teneur de 9 mg/l.

**REMARQUE**

Dans certains cas bien particuliers (eutrophisation par exemple), le taux de saturation peut être supérieur à 100 %.

L'oxygène dissous est indispensable à la vie aquatique, puisque la respiration recouvre des mécanismes par

**Tab. 2.3. Saturation de l'eau douce en oxygène dissous en fonction de la température (altitude zéro)**

Température de l'eau (°C)	O <sub>2</sub> (mg/l)
0	14,64
5	12,74
10	11,26
20	9,08
30	7,56
40	6,43

lesquels les cellules vivantes oxydent les molécules organiques et les dégradent en composés minéraux pour produire de l'énergie.

C'est à ce titre que l'oxygène dissous intervient aussi dans les phénomènes de biodégradabilité. Ce terme recouvre donc la transformation par des micro-organismes de la matière organique en produits minéraux.

La biodégradabilité d'une substance exprime son aptitude à être décomposée par des micro-organismes décomposeurs (bactéries, champignons, etc.). Les produits d'origine naturelle sont pour la plupart facilement biodégradés, ce qui se traduit par une consommation d'oxygène dissous.

Ainsi, tout apport de produits organiques dans un cours d'eau fournit un aliment aux micro-organismes et dans le même temps leur fait consommer l'oxygène présent. Il s'agit du pouvoir auto-épurateur du milieu naturel, qui peut traiter une certaine quantité de matières organiques et retrouver ensuite son équilibre.

**REMARQUE**

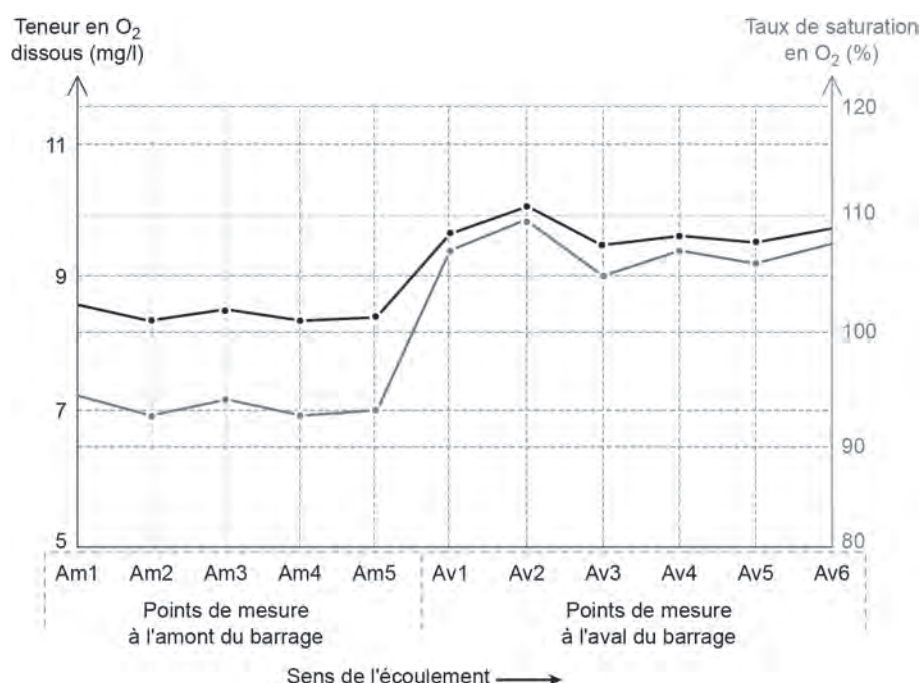
Les sources d'oxygène dans une rivière sont les suivantes :

- apport par l'amont ou par les affluents ;
- photosynthèse (production des végétaux aquatiques) ;
- réaération (turbulences, chutes, etc.) (fig. 2.2).

Les pertes d'oxygène sont dues aux phénomènes suivants :

- oxydation biologique des matières organiques carbonées et azotées ;
- décomposition bactérienne des sédiments ;
- respiration des plantes aquatiques ;
- demande chimique immédiate d'oxygène (rejets de substances particulières).

La consommation d'oxygène par l'autoépuration dans les cours d'eau dépend donc de la quantité des matières organiques déversées, de la durée de dégradation (oxydation) de ces matières et de la température de l'eau de la rivière. L'eau n'absorbe l'oxygène de l'air que jusqu'à saturation, et cette limite de saturation se réduit au fur et à mesure de l'augmentation de la température. En outre, la capacité d'absorption en oxygène par réaération varie selon les caractères du cours d'eau (données hydrauliques de l'écoulement, influence du vent et des vagues).



**Fig. 2.2. Mesure de l'oxygène dissous à l'amont et à l'aval du barrage de Créteil sur la Marne**  
(source : CETE Île-de-France, DRIEE)

**Tab. 2.4. Réaération naturelle d'un milieu aquatique**

Nature des cours d'eau	Absorption d'oxygène par la réaération (g d'O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /jour) pour un degré de saturation de ~					
	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %	0 %
Petit étang	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5
Lac de grande dimension	0	1	1,9	2,9	3,8	4,8
Cours d'eau à écoulement lent	0	1,3	2,7	4	5,4	6,7
Rivière importante	0	1,9	3,8	5,8	7,6	9,6
Cours d'eau à écoulement rapide	0	3,1	6,2	9,3	12,4	15,5
Torrent	0	9,6	19,2	23,6	38,4	48

Le calcul relatif à l'autoépuration a généralement pour objet d'apprécier, à l'avance, la teneur en oxygène en un endroit donné afin de vérifier si les procédés artificiels d'épuration envisagés avant rejet suffisent.

Le débit de la rivière ou, mieux, la surface liquide du cours d'eau, peut être pris pour base des calculs relatifs à l'absorption d'oxygène.

Les valeurs indiquées au tableau 2.4 sont admises comme ordre de grandeur pour l'absorption d'oxygène par la surface liquide à 20 °C. Généralement, pour une grande rivière, la vitesse de réaération oscille, pour un degré de saturation moyen, entre 3 et 4 g d'O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/jour.

Les organismes vivants sont en danger dans le cas où les apports d'oxygène sont inférieurs aux consommations.

#### Turbidité

Les écosystèmes aquatiques peuvent présenter une eau plus ou moins transparente. Cela se traduit par une teneur variable en fines particules, maintenues en suspension dans l'eau par le courant. Ces matières véhiculées par le cours d'eau – appelées débit solide – proviennent en majorité des efforts d'arrachement par frottement et érosion des berges. Une rivière en crue, qui coule avec une vitesse intense et sur des espaces habituellement secs, entraîne beaucoup de matières en suspension. Ces



particules peuvent en outre arriver jusqu'à l'écosystème aquatique par l'effet du ruissellement sur l'ensemble du bassin versant. Enfin, les rejets des activités humaines contribuent à ces apports de matières en suspension.

La figure 2.3 montre l'évolution, au fil des années et des saisons, de la turbidité de la Marne à l'aval de son bassin versant. Les pics de turbidité d'hiver ou de printemps sont essentiellement mesurés en période de crue ; le ruissellement sur la région parisienne, lors des ouvrages d'été, contribue aux pointes constatées à cette saison.

L'augmentation des teneurs en matières en suspension dans l'eau a des conséquences majeures sur la vie aquatique. Tout d'abord, elle entraîne une réduction de la transparence de l'eau, donc une moindre pénétration de la lumière, facteur primordial pour la photosynthèse réalisée par les végétaux des fonds. Ensuite, ces matières en suspension contiennent une part notable de substances organiques – qui demandent de l'oxygène pour être dégradées – voire des substances toxiques qui s'y adsorbent. Enfin, les matières en suspension peuvent perturber la vie aquatique en colmatant les zones de frayères et en gênant la respiration branchiale des animaux, et également compromettre l'aspect esthétique du cours d'eau.

#### Substances dissoutes

De par sa composition chimique, l'eau est un puissant solvant polaire, c'est-à-dire que de très nombreuses substances peuvent y être dissoutes dans les conditions naturelles d'un écosystème aquatique.

Les composés susceptibles d'être dissous dans l'eau, qu'ils soient naturels ou polluants, sont ioniques. Ils comprennent des éléments simples tels que le calcium, le fer, le chlore, le sodium, le magnésium, etc., ainsi que

des corps composés comme les sulfates, les carbonates, les phosphates et l'ammonium, ou d'autres beaucoup plus complexes comme les détergents.

Une partie de ces substances dissoutes provient de la mise en solution des roches mères ou des formations affleurantes, ce qui constitue la minéralisation naturelle de l'eau. En revanche, d'autres substances sont issues soit directement du fonctionnement de l'écosystème, soit des activités humaines (rejets).

L'ensemble des composés dissous dans l'eau prend une grande importance pour la vie aquatique, car certains sont indispensables (tel le calcium), alors que d'autres sont des toxiques (tels les nitrites).

#### 2.1.1.3 Habitants du cours d'eau

L'écosystème est un système fonctionnel qui inclut dans son environnement une communauté d'êtres vivants.

Ce qui est ici nommé environnement est constitué de tous les facteurs physiques et chimiques, tels que la forme du lit, la vitesse du courant, la température, la teneur en oxygène dissous, etc. : ce sont les facteurs abiotiques. Ils représentent le biotope ou, plus simplement, l'habitat. Quant aux organismes vivants et aux interactions qui les unissent, ils forment la biocénose.

Le fonctionnement de l'écosystème est fondé sur :

- les apports extérieurs (l'énergie solaire en particulier, mais aussi les substances arrivant par ruissellement) ;
- les exportations (prélèvements par la pêche, par exemple) ;
- les relations, notamment trophiques, entre producteurs (végétaux), consommateurs (herbivores et carnivores) et décomposeurs (champignons, bactéries).

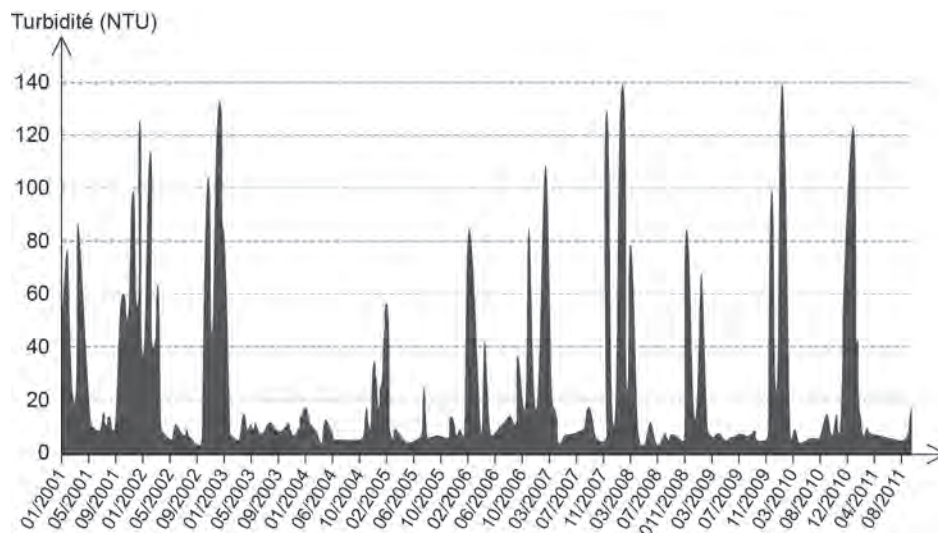
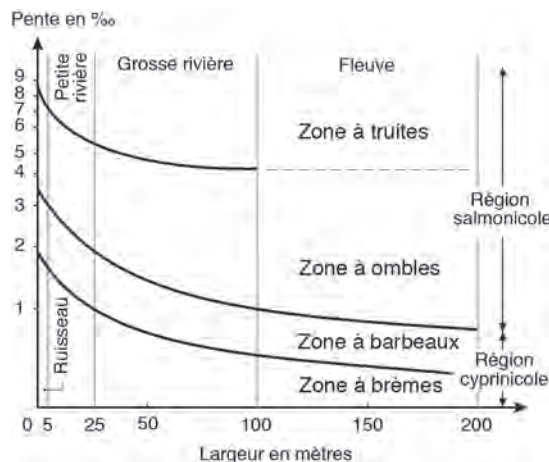


Fig. 2.3. Évolution sur 10 ans de la turbidité de la Marne (source : SAGE Marne Confluence)

Ainsi, dans un cours d'eau, chaque espèce recherche le biotope qui lui convient le mieux et, d'une manière générale, les organismes vivants se répartissent à la fois longitudinalement et transversalement.

De la source à la mer vivent des animaux adaptés aux eaux plus ou moins oxygénées, plus ou moins fraîches, plus ou moins rapides. Pour les poissons, le diagramme de Huet (fig. 2.4) résume ces conceptions, délimite un certain nombre de zones, chacune caractérisée par une espèce dominante de poisson, les espèces se remplaçant de l'amont à l'aval.



**Fig. 2.4. Diagramme de Huet indiquant les zones piscicoles en fonction de la largeur et de la pente des rivières** (source : Roger Dajoz, *Précis d'écologie*)

Les torrents de montagne et la partie supérieure des fleuves correspondent à la zone à truites, où les eaux sont agitées, froides et riches en oxygène. Les organismes vivants sont fixés au fond (algues, mousses, etc.) ou rampent près du fond (mollusques, éphémères, etc.). Les poissons comme la truite, le vairon ou le chabrot aiment les eaux vives.

Plus à l'aval, où le lit s'élargit, où le fond se couvre de sables et graviers, se trouve la zone à ombles communs. La faune est moins exigeante en ce qui concerne la fraîcheur de l'eau, et la vitesse moindre favorise plus d'organismes libres. Le chevaine et le goujon y vivent également.

En continuant vers l'aval, la zone à barbeaux correspond aux rivières de plaine, lentes, où la végétation est plus abondante et où le microplancton se développe.

La dernière partie du cours d'eau, la plus en aval, est la zone à brèmes, où vivent la tanche, le gardon et la grémille. La production végétale est surtout assurée par des algues unicellulaires en suspension dans l'eau, et le fond de la rivière est peu oxygéné.

Les deux premières zones sont classées comme régions salmonicoles, ainsi nommées car les poissons de la famille des salmonidés y prédominent.

La région cyprinicole, comprenant toutes les zones de l'aval, est occupée majoritairement par les cyprinidés, qui constituent la principale famille de poissons d'eau douce d'Europe.

## 2.1.2 Lacs et canaux

### 2.1.2.1 Lacs

Il s'agit notamment de lacs profonds (40 à 80 m, en France), d'un volume important, dont les eaux se renouvellent lentement (tous les 4 à 5 ans environ). En effet, les facteurs thermiques produisent le plus souvent une stratification saisonnière du lac en deux couches d'eau superposées, de propriétés fort différentes ; la couche supérieure chaude (épilimnion) est séparée de la couche inférieure froide et immobile (hypolimnion) par une couche intermédiaire (mésolimnion) où la variation de température est si rapide (thermocline) que tout mélange des eaux de l'hypolimnion avec celles de l'épilimnion est impossible (fig. 2.5).

En région tempérée par exemple, durant l'été, les eaux superficielles deviennent plus chaudes et donc plus légères. Elles circulent, agitées par le vent, et ne se mélangent pas aux eaux profondes, plus visqueuses. Il se crée une thermocline très efficace.

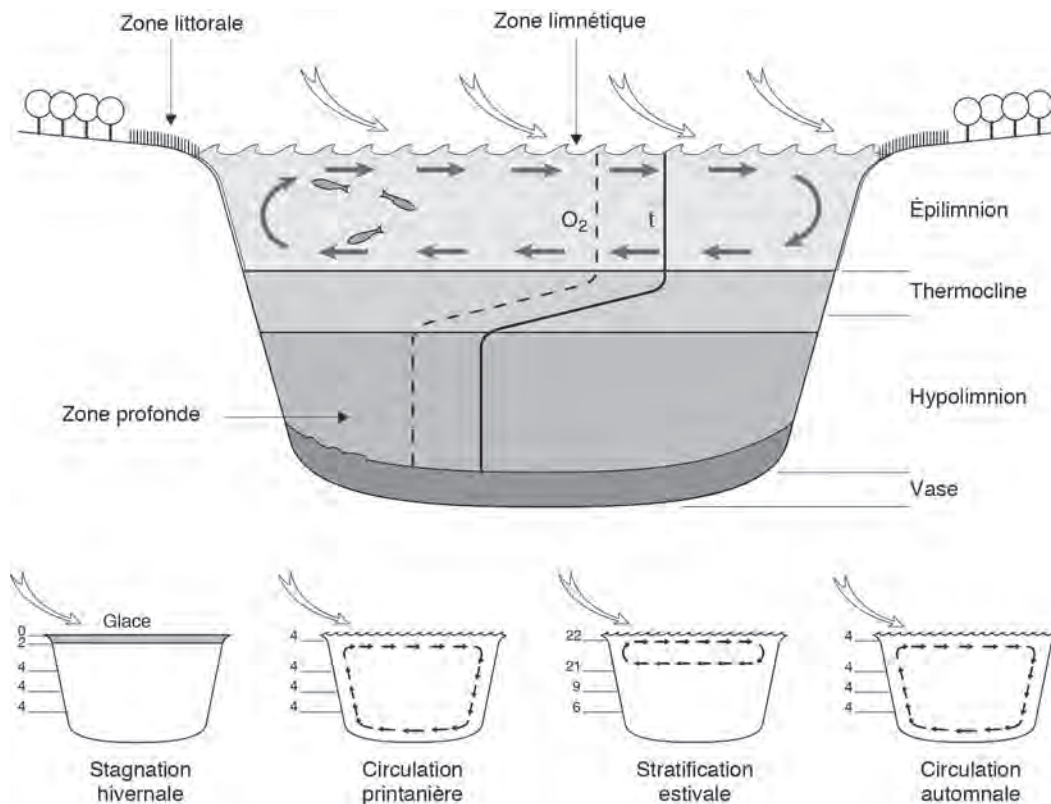
Les eaux de surface sont bien éclairées ce qui permet le développement abondant d'un phytoplancton dégageant beaucoup d'oxygène favorable à une vie animale prospère. En raison d'une forte consommation des bioéléments par les organismes, l'eau s'appauvrit progressivement. Les cadavres et les excréments sombrent dans la zone profonde peu éclairée. Ils sont décomposés et reminéralisés par les micro-organismes hétérotrophes de l'hypolimnion qui s'enrichit en bioéléments.

À la fin de l'été, la température des eaux de surface baisse et tend vers celle des eaux profondes de sorte que la thermocline disparaît. L'action du vent se manifeste progressivement jusqu'au fond du lac et l'eau, entièrement brassée, a une température et une composition chimique homogènes.

Ensuite va s'installer le repos hivernal : pour une température de 4 °C, l'eau atteint son maximum de densité. Cet état s'étend à toute la masse de l'eau du lac, surmontée cependant d'une couche plus froide et plus légère, qui, à 0 °C, se transforme en une couche de glace.

Puis, au printemps, la glace fond, l'eau de surface s'échauffe. Lorsqu'elle atteint 4 °C, l'action du vent reprend, ce qui fait réapparaître la thermocline.

Ainsi, le rythme annuel d'un lac est réglé par une dynamique essentiellement physique et climatique. En région tempérée, ce rythme comprend deux périodes de pleine circulation alternant avec deux périodes de stagnation.



**Fig. 2.5. Écosystème d'un lac – Structure et dynamique annuelle** (source : Paul Duvigneaud, *La Synthèse écologique*)

Ces milieux naturels ont souvent été le réceptacle des eaux résiduaires de nombreuses agglomérations implantées sur leurs rives. Même après épuration, le rejet des eaux résiduaires dans de tels milieux peut causer des difficultés, et générer en particulier le phénomène d'eutrophisation. Ce dernier provoque des conséquences graves et durables, puisqu'il aboutit à l'asphyxie des eaux. Il en était ainsi du lac Léman, le plus grand réservoir d'eau douce de l'Europe occidentale : avant que de grands travaux aient été engagés, les principaux agents responsables de son lent empoisonnement étaient les ions phosphatés.

Face à cette situation, le rejet à l'aval des lacs et des étangs constitue la seule solution définitive. Elle permet de concentrer les eaux résiduaires sur une seule station d'épuration, mais elle entraîne un allongement du réseau, suivant la localisation de l'urbanisation. Si cette solution est impossible, les rejets directs sont envisageables, mais doivent être soumis à des conditions plus sévères que ceux effectués dans les cours d'eau.

Concernant le lac Léman, la technique des traitements d'épuration poussée (traitements tertiaires) s'est généralisée, à l'image de la station de Thonon, équipée d'une unité de déphosphatation. À l'inverse, sur les lacs d'Annecy et du Bourget, un collecteur de ceinture a permis

la reprise de toutes les eaux des villes riveraines pour un rejet, après traitement secondaire, à l'aval du lac.

Ainsi sur le lac Léman, les concentrations en phosphore ont augmenté régulièrement entre 1960 et 1980, passant de 10 à 90 mg/m<sup>3</sup>. Le démarrage de la déphosphatation sur les stations d'épuration vers 1972 puis l'interdiction des phosphates dans les lessives en Suisse et la baisse des teneurs en France ont permis d'approcher les 40 mg Pt/m<sup>3</sup> en 1998 et les 20 mg Pt/m<sup>3</sup> en 2012. Revu récemment à la baisse, l'objectif à atteindre pour limiter durablement la croissance des algues et donc l'eutrophisation est une teneur moyenne inférieure à 15 mg Pt/m<sup>3</sup>.

#### 2.1.2.2 Canaux

Les canaux de navigation, en dépit d'une analogie hâtive et superficielle avec les cours d'eau, constituent un milieu sensible, plus proche de l'étang que du cours d'eau naturel.

De par leurs caractéristiques hydrauliques (débits et vitesses faibles), les eaux des canaux de navigation sont susceptibles à tout moment de constituer des eaux dormantes particulièrement vulnérables aux rejets polluants, si faibles soient-ils. L'admission de ces flux, qu'ils soient permanents ou accidentels, dans un milieu



à débits nuls ou très faibles, risque donc de provoquer des pollutions dont la concentration peut atteindre des niveaux très importants, pouvant rejoindre, par infiltration ou déversement, des nappes ou des eaux superficielles voisines.

Par ailleurs, les matières en suspension dans les rejets se déposent sous forme de sédiments, dont le caractère polluant va croissant avec le temps et dont la nécessaire élimination ne peut se faire que moyennant des précautions onéreuses.

Le problème des rejets dans les canaux de navigation doit donc être traité avec une attention particulière. En France, les récents travaux sur les stations d'épuration, notamment dans le nord de la France, combinés avec les fermetures d'usines, permettent de stopper la dégradation de la qualité des canaux. Mais sur certains biefs, le retour vers une qualité acceptable reste encore un objectif.

Aujourd'hui, en plus d'une infrastructure de transport, un canal est considéré comme un élément fort du paysage, ses rives faisant, de plus en plus et notamment en ville, l'objet de projets d'aménagement de qualité.

### 2.1.3 Eaux marines

L'ensemble des océans et mers du globe recouvre 71 % de la surface de la planète ; leur profondeur moyenne est de 4 000 mètres.

Les eaux marines sont naturellement pauvres en éléments nutritifs, sauf à proximité des côtes où ils sont apportés par les fleuves. La majeure partie des ressources biologiques est localisée au niveau du plateau continental, prolongement sous-marin des continents, qui s'étage généralement entre 0 et 150 m de profondeur. Grâce à sa relative richesse en éléments minéraux nutritifs, il fournit près de 90 % des apports de pêches maritimes mondiales, alors qu'il ne représente que moins de 8 % de la surface des océans.

Bien que différent des milieux d'eaux douces, l'écosystème marin reste soumis au même fonctionnement (en particulier au niveau de la chaîne trophique), aux mêmes besoins en oxygène et en lumière, etc. Ainsi, malgré son immensité, le milieu marin est susceptible de subir localement de très graves dommages causés par des rejets directs d'effluents nuisibles ou toxiques. Sa capacité d'assimilation est variable en fonction de la localisation et de la nature du rejet, de la forme de l'émissaire en mer, de l'existence de marées, de la présence de courants littoraux, etc.

Les milieux côtiers sont donc à la fois les plus productifs, les plus fragiles et les plus soumis à diverses agressions. Situés à la frange entre l'eau, l'air et la terre, ces milieux sont privilégiés, mais extrêmement convoités : environ

2/3 de la population mondiale vit à proximité immédiate de la mer. Aux activités traditionnelles de pêche et de commerce sont venus s'ajouter l'agriculture, l'industrie, puis l'aquaculture et le tourisme. Selon l'IFOP (2010), 79 % des Français attestent faire usage de la mer dans le cadre d'activités balnéaires (plage, baignade) sur un linéaire de littoral de 5 500 km (France métropolitaine).

Quelle qu'elle soit, la pollution du milieu marin entraîne des préjudices tant économiques qu'écologiques, parfois spectaculaires, à l'image des marées noires. L'alimentation d'une grande partie de l'humanité dépend de la mer, toute pollution, toute surexploitation met en péril l'avenir.

Les rejets d'eaux usées (ou insuffisamment épurées) en mer causent des dommages qui entraînent non seulement des conséquences sanitaires (morbidity piscicole, contamination bactériologique des coquillages et des plages) mais aussi des modifications écologiques (stérilisation des fonds et diminution de la transparence par les matières en suspension, apports supplémentaires de nutriments, micropolluants). Ces conséquences aboutissent elles-mêmes à un déséquilibre économique.

## 2.2 Usages de l'eau

L'eau est un élément essentiel dans le monde vivant. L'homme en a besoin et l'utilise pour nombre de ses activités. Les usages de l'eau sont donc multiples, souvent antagonistes, voire incompatibles. Les besoins en eau et leur évolution sont variables selon le type d'usage, les régions et les saisons.

### 2.2.1 Interdépendance des usages de l'eau

La satisfaction des usages par des ressources elles-mêmes fluctuantes peut être compromise ponctuellement et localement. Pour limiter l'impact écologique d'un trop grand prélèvement par rapport aux capacités momentanées de la rivière, des restrictions réglementaires sont prévues au titre d'une gestion de la ressource qui prend en compte la préservation des fonctionnalités biologiques du cours d'eau.

Toutefois, face aux réalités de certaines des activités humaines, les arbitrages entre besoins en eau et vie aquatique ne sont pas toujours en faveur de cette dernière. Or, d'une manière générale, les faibles débits, tels les étiages sévères, parfois aggravés par les prélèvements des activités, induisent une moindre dilution des pollutions et, par temps chaud, une disponibilité moindre en oxygène. Vers l'aval, il en découle un déséquilibre économique et/ou écologique, qu'il s'agisse de rivières asséchées, de perte de production hydroélectrique, de diminution des capacités d'irrigation, etc.

Outre les influences négatives sur les milieux aquatiques (voir § 2.3), la dégradation de la qualité de l'eau induit des impacts financiers importants du fait de l'importance de l'eau dans de nombreuses sphères de la vie économique.

D'après l'esprit de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, les usages doivent être considérés au sens large. Ils sont classables en trois grandes catégories :

- *usages quotidiens* : alimentation en eau potable, rejets d'eaux usées, urbanisation et imperméabilisation des sols ;
- *usages professionnels* : agriculture, élevage d'animaux terrestres ou aquatiques, hydroélectricité, transport fluvial, refroidissement, extraction de granulats, prélèvement d'eau de processus industriel, pêche professionnelle ;
- *usages liés aux loisirs* : baignade, sports d'eau vive, pêche de loisir, randonnées, visite des patrimoines naturels et culturels, tourisme fluvial, cadre de vie.

La loi du 30 décembre 2006<sup>(1)</sup> insiste sur la nécessité de la conciliation des usages entre eux et avec les exigences de la vie aquatique ; elle considère la production d'eau potable comme l'usage fondamental, précisant que le droit à l'eau potable doit se faire dans des conditions économiquement acceptables par tous. Or, en France, en de nombreux endroits, les engrais azotés qui percolent jusqu'à la nappe entraînent un dépassement des normes en nitrates acceptées pour l'eau potable. L'augmentation de la complexité du traitement, voire la fermeture du captage, a des implications coûteuses sur l'alimentation en eau potable.

D'autres exemples illustrent l'interdépendance des usages entre eux, on peut citer une plage interdite à la baignade ou des coquillages impropres à la consommation pour cause de contamination bactériologique, due par exemple à la défaillance de l'assainissement, à l'abreuvement non contrôlé du bétail, etc.

Ces quelques exemples montrent que l'eau et les milieux aquatiques sont fortement influencés, en termes de qualité et de quantité, par les nombreux usages de l'eau : si le bassin versant présente des continuités – longitudinale de l'amont vers l'aval, latérale des crêtes vers le fond des vallées, et verticale des eaux superficielles vers les nappes et vice versa –, il est logique que les perturbations de la qualité de l'eau suivent tous ces cheminements.

Il est donc nécessaire de considérer l'eau comme un tout, sans frontières administratives, et chacun doit avoir présent à l'esprit que nous sommes tous à l'amont de quelqu'un ; autrement dit, chaque prélèvement ou rejet que nous faisons peut poser problème à l'utilisateur en aval.

### 2.2.2 Répartition des usages

D'une manière générale, sur les 31,6 milliards de mètres cubes (m<sup>3</sup>) prélevés en 2007 en France métropolitaine, les différents usages de l'eau en France se répartissent comme indiqué au tableau 2.5.

**Tab. 2.5. Répartition des volumes d'eau prélevés en France** (source : ministère chargé de l'écologie, 2012)

Usage	Consommation (milliards de m <sup>3</sup> )	Part de la consommation (%)
Énergie	18,8	59,5
Industrie	3,1	9,8
Irrigation	3,9	12,4
Usages domestiques	5,8	18,3

Si le prélèvement à des fins de production d'énergie est majoritaire, sa consommation nette est assez faible, puisqu'environ 93 % de l'eau prélevée est restituée vers le milieu. En revanche, l'irrigation ne représente que 12,4 % des volumes mais il n'y a que très peu de retour vers le milieu.

Ces chiffres dénotent une consommation journalière à usage domestique d'environ 240 l/hab., mais moins de 60 % sont strictement affectables à l'utilisation d'eau potable par une personne. En effet, il est considéré qu'un Français consomme en moyenne 137 l d'eau par jour (Eaufrance / Centre d'information sur l'eau, 2006), chiffre très variable en fonction des types d'urbanisation et des saisons. Sur ce volume, environ 10 l sont consacrés à la boisson et à la préparation des aliments. À la consommation personnelle s'ajoute l'ensemble des consommations collectives (écoles, hôpitaux, lavage de la voirie, milieu professionnel, restaurants, etc.).

Il existe d'autres méthodes pour apprécier les usages de l'eau et leur importance, qu'elle soit économique ou sociale : les bénéfices ou les dépenses induits par une bonne ou une mauvaise qualité de l'eau et des milieux aquatiques peuvent être examinés. Par ailleurs, les utilisateurs de la rivière ne sont pas uniquement ceux qui prélèvent l'eau, mais aussi tous ceux qui fréquentent les cours d'eau à des fins de sport ou de loisirs.

Si le nombre de pêcheurs acquittant la taxe piscicole a fortement baissé depuis 20 ans, passant de 2,2 à 1,4 million environ (FNP, 2009), ces pêcheurs représentent toutefois aujourd'hui un marché consommateur qui, selon les estimations, varie entre 350 et 380 M€.

Il existe en France plus de 3 300 zones de baignade en eau douce et en eau de mer. Une évaluation conduite par les Agences de l'eau en 2004 estimait le coût de l'inaction

(1) Loi sur l'eau et les milieux aquatiques, LEMA.

à environ 1 Md€, coût correspondant aux pertes économiques annuelles de l'ensemble des communes balnéaires françaises concernées, si elles ne mettaient pas aux normes leur assainissement. L'étude estimait que les baisses de ressources économiques ainsi évitées grâce à l'amélioration de la qualité de l'eau compenseraient l'investissement de mise en conformité en moins de 2 ans.

Plus de 8 500 km de voies navigables accueillent de nombreuses croisières et les sociétés de location de bateaux-caravanes et croisières fluviales se multiplient. Les entreprises de bateaux-promenade, de croisières et celles de location de coches de plaisance génèrent un chiffre d'affaires annuel qui est de l'ordre de 230 M€ (VNF, 2010) et représente plus de 4 000 emplois directs.

Plus de 300 000 pratiquants de canoë-kayak se partagent les rivières françaises avec les amateurs de rafting, d'aviron, etc. (2009). Plus de 4 millions de Français âgés de plus de 15 ans ont pratiqué au moins une fois une activité de canoë-kayak en 2007 (source SOFRES / Conseil inter-fédéral des sports nautiques). Le chiffre d'affaires direct généré par le canoë-kayak (et ses disciplines associées) est estimé autour de 60 M€, induisant quelque 6 millions de nuitées touristiques (estimation FFCK, 2008).

Près de 220 000 licenciés pratiquent la randonnée pédestre (sans compter les randonneurs occasionnels ou promeneurs du dimanche), et les rivières offrent un attrait particulier. Il faut ajouter les cyclistes (avec le développement du VTT) et les cavaliers, qui apprécient eux aussi le voisinage des cours d'eau.

La rivière est donc un pôle autour duquel s'exercent de multiples activités de loisirs génératrices d'activités économiques. Elles ne sont pas pour autant les seules activités nautiques à peupler les temps de loisir. La rivière est le support privilégié de nombreuses animations festives ou culturelles – du feu d'artifice à l'écomusée de la rivière – qui profitent du paysage et de la mémoire historique qu'elle a concentrée au fil de son évolution physique et sociale. Plus généralement, la présence de l'eau comporte des aspects récréatifs pour les populations qui ne se mesureront jamais de manière économique.

## 2.3 Modification des milieux sous l'effet des pollutions

### 2.3.1 Qu'est-ce que la pollution ?

Au sein de l'écosystème s'établissent des relations et des interactions entre les espèces, et entre les espèces et leur milieu, qui constituent une sorte d'équilibre. Cet « équilibre » doit plutôt être représenté comme une oscillation permanente autour des conditions normales (par exemple, une faiblesse de la teneur en oxygène due à une demande

trop importante pour la biodégradation est compensée en quelque temps par la réaération naturelle).

Si les apports extérieurs à l'écosystème sont tels que le retour spontané à l'équilibre n'est plus assuré, il faut alors considérer qu'il y a pollution. En fait, la définition même de la pollution n'est pas aisée, car les eaux présentent des degrés de pureté variables, depuis l'eau de fonte des glaciers jusqu'aux eaux de marécages très chargées en matières organiques (précisons qu'une eau chimiquement pure est inapte à la vie).

En 1961 des experts ont explicité la notion de pollution : *« un cours d'eau est considéré comme étant pollué, lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont, directement ou indirectement, modifiés du fait de l'action de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations – ou à certaines d'entre elles – auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel »*<sup>(2)</sup>. Dans cette définition, tous les usages de l'eau sont concernés, depuis la fabrication de l'eau potable jusqu'à la promenade en bord de rivière.

Cette définition, initialement fondée sur les usages, a été élargie aux fonctionnalités biologiques des milieux aquatiques. Ainsi, la pollution d'un système aquatique se manifeste également par la modification de la structure des peuplements végétaux et animaux initiaux. Si, parmi toutes les espèces vivantes d'un cours d'eau, certaines sont plus résistantes vis-à-vis d'une pollution, elles se développent plus facilement que les espèces plus sensibles. Le milieu aquatique s'en trouve ainsi modifié, en particulier par une moindre diversité des espèces.

Il est nécessaire de différencier deux grands modes de pollution :

– *La pollution aiguë* est souvent due à un rejet important d'un produit, entraînant un dérèglement radical du système aquatique. Les mortalités piscicoles massives ou les contrôles réguliers aux usines de potabilisation sont souvent les révélateurs de ce type d'accidents.

– *La pollution chronique* correspond à des apports continus de polluants, à des doses peu élevées, n'induisant pas de phénomènes brutaux ou spectaculaires mais conduisant, en quelques mois ou années, à une modification de l'ensemble du système aquatique. Le développement d'algues vertes sur le littoral est un exemple de ce type de dysfonctionnement.

Dans le domaine de l'assainissement, traité dans le présent ouvrage, les deux types de pollution peuvent être rencontrés :

(2) Commission économique pour l'Europe, deuxième séminaire d'experts européens sur la pollution des eaux, Genève, du 22 février au 3 mars 1961.

- l'insuffisance de traitement d'un polluant (azote ou phosphore par exemple) sur une station d'épuration ou des inversions de branchements entre réseaux eaux usées et réseaux eaux pluviales provoquent des pollutions chroniques ;
- les grands volumes rejetés par une agglomération densément construite lors d'un gros orage peuvent générer une pollution aiguë.

### 2.3.2 Pollutions physico-chimiques

#### 2.3.2.1 Effets d'un manque d'oxygène dissous

L'un des paramètres les plus importants pour la vie aquatique est le taux de saturation en oxygène, qui varie considérablement avec la saison. La dissolution de l'oxygène dans l'eau est fortement dépendante de la température ; celle-ci accélère les réactions biologiques, entraînant une surconsommation d'oxygène.

Ainsi, en été, la Seine a été longtemps en situation d'absence d'oxygène, avec un impact majeur sur les poissons. Encore au début des années 90 il a été constaté, lors d'importants orages en région parisienne, de très fortes mortalités piscicoles en Seine. Des équipements d'insufflation d'oxygène dans le fleuve ont alors été installés en plusieurs sites à l'aval de Paris, de façon à proposer des « îlots de survie » aux poissons, lorsque les rejets massifs par temps de pluie menacent de consommer, pour leur biodégradation, tout l'oxygène présent. Un réseau de mesures de l'oxygène dissous permet de déclencher les stations d'oxygénation (à l'oxygène pur) installées. L'expérience montre que ces équipements fonctionnent 1 à 4 fois par an, pendant 24 heures, permettant la création de zones oxygénées de 40 m de large sur 1 km de long et la suppression des phénomènes de mortalité de masse chez les poissons. Ce procédé, où l'on intervient sur l'effet plutôt que sur la cause, est rendu nécessaire par l'importance de la surface imperméabilisée de l'agglomération parisienne, drainée par un réseau à majorité unitaire, qui génère, pour des orages courants, d'énormes volumes d'eaux de ruissellement fortement polluées. D'autres travaux sur les réseaux d'assainissement sont nécessaires, les « îlots de survie » n'étant pas suffisants pour atteindre la qualité des eaux exigée par la réglementation.

Outre le manque d'oxygène proprement dit, la vie piscicole souffre des modifications des équilibres chimiques, augmentant les teneurs en certains composants toxiques. Ainsi, si l'oxygène vient à manquer par une température de l'ordre de 20 °C, les nitrites s'accumulent en raison d'un ralentissement de la transformation du  $\text{NO}_2$  en  $\text{NO}_3$ .

La diminution de la teneur en oxygène dissous augmente les mouvements respiratoires, favorisant ainsi la pénétration d'éventuels toxiques dans l'organisme. Certains poissons tolèrent mieux que d'autres des durées longues d'exposition à de faibles concentrations d'oxygène. D'une

manière générale, et c'est le cas lors de toutes les modifications néfastes mineures du milieu sur de petits secteurs, les poissons peuvent rapidement se déplacer vers un endroit moins pollué pour pouvoir survivre. En revanche, si une large portion de cours est concernée par une dégradation brutale de la qualité, les poissons sont alors condamnés, comme le reste des organismes vivants moins mobiles, à subir la pollution, voire à en mourir.

Certains invertébrés peuvent aussi fuir la pollution si celle-ci n'est ni trop forte ni trop chronique, alors que les organismes fixés sont très perturbés par les conditions nouvelles imposées par ce rejet polluant. Au regard de cette distribution spatiale des différents organismes vivants, depuis les végétaux jusqu'aux poissons en passant par les insectes, les mollusques, etc., il est facile de s'apercevoir que certaines espèces s'accommodent mieux que d'autres de conditions difficiles (faibles teneurs en oxygène, turbidité élevée, etc.).

#### REMARQUE

Ces différences de tolérance peuvent permettre de caractériser d'une manière biologique la qualité des cours d'eau (voir § 2.4).

D'autres paramètres suivent une variation saisonnière, dépendant en partie de la température et de l'oxygène dissous : les teneurs en phosphates et nitrates (fig. 2.6). En été, la présence de faibles concentrations en oxygène permet le relargage des phosphates piégés dans les sédiments. En revanche, les nitrates sont fortement consommés par la biomasse végétale et sont donc en diminution. Concernant cette variabilité saisonnière des teneurs, les variations de débit du cours d'eau doivent être examinées pour une interprétation correcte de l'effet saisonnier.

Ces graphiques permettent également de noter la présence de rejets importants, ainsi que la confluence avec l'Oise.

#### 2.3.2.2 Potentiel hydrogène (pH)

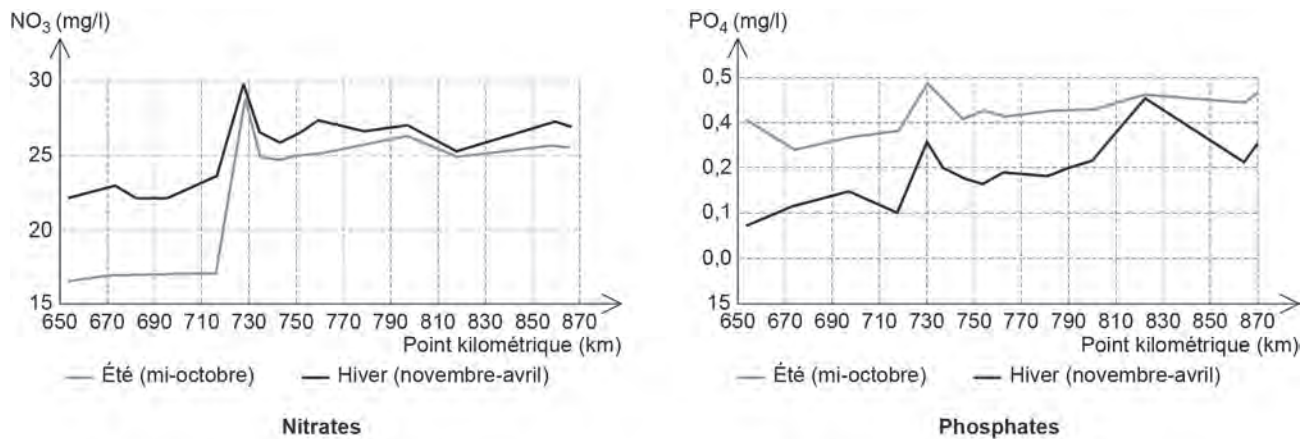
Le pH d'une eau (acidité ou alcalinité) est fonction des conditions pédologiques du bassin versant. Au cours de la journée, du fait de la photosynthèse, le pH d'un cours d'eau peut sensiblement varier.

Le bicarbonate de calcium présent dans les eaux naturelles donne au milieu un pouvoir tampon qui permet de rétablir les conditions initiales en cas de déversement intempestif d'un acide ou d'une base concentrée. Néanmoins, les eaux faiblement minéralisées, telles les eaux de bassins versants granitiques, ont un pouvoir tampon moindre. C'est ainsi que les pluies acides ont détruit toute vie dans des lacs canadiens ou scandinaves.

#### 2.3.2.3 Les différentes formes de l'azote

L'azote est un constituant majeur de la matière vivante et joue un rôle important dans la pollution des milieux





**Fig. 2.6. Effet saisonnier sur la Seine à l'aval de Paris (sur environ 200 km)**  
(source : DRIEE, police de l'eau / Cellule connaissance et réseaux de mesure)

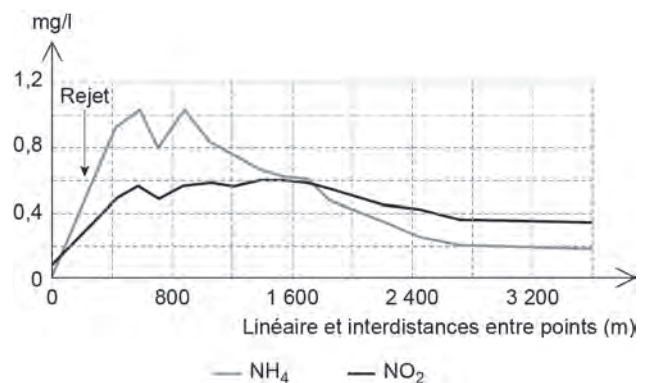
aquatiques. L'azote présent dans les eaux usées est sous forme chimiquement réduite, fortement liée à la matière organique, telle que les protéines ou l'urée.

Ces formes réduites de l'azote, dont les sels ammoniacaux font partie, sont transformées (oxydées) dans le milieu naturel – par différentes bactéries spécialisées – d'abord en nitrites, puis en nitrates, et enfin en azote gazeux qui rejoint l'atmosphère. Mais pour qu'une telle transformation s'effectue en rivière en une dizaine de jours, il faut suffisamment d'oxygène dissous et assez peu de pollution. Sinon, les réactions sont bloquées au niveau des nitrites, fortement toxiques pour les organismes aquatiques. De même, l'ion ammonium (azote réduit) est toxique pour certains poissons, alors qu'il est bien assimilé par les végétaux.

Une méthode simple de détermination de l'impact d'un rejet d'effluents en sortie d'unité d'épuration a été développée, pour de petits cours d'eau, par le laboratoire Alphée. Il s'agit de déterminer à quelle distance du rejet l'azote réduit (sous forme d'ions ammonium) est oxydé en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), montrant ainsi le processus de l'autoépuration dans la rivière. Cette méthode, qui nécessite des prélèvements réguliers le long de la rivière, ne peut s'appliquer que s'il existe déjà un rejet, par exemple d'une station d'épuration ancienne que l'on souhaite reconstruire ou réhabiliter. Ceci est illustré sur la figure 2.7 par une campagne de mesures sur un ruisseau (débit constant d'amont en aval d'environ 50 l/s) recevant le rejet d'une station d'épuration vétuste. Le croisement des courbes se produit environ 1,6 km à l'aval du rejet.

#### REMARQUE

L'interdépendance entre les paramètres polluants est illustrée par l'exemple suivant : la toxicité de l'ion ammonium est due à la fraction d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), dont l'importance dépend du pH et de la température. Ainsi, à  $\text{pH} = 6,8$ , l'azote ammoniacal est à 99,75 % sous forme ammonium et à 0,25 % sous forme  $\text{NH}_3$ . À  $\text{pH} = 7$ , la forme  $\text{NH}_3$  est présente à 2 %.



**Fig. 2.7. Évolution des teneurs en  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_2$  dans un cours d'eau en aval d'un rejet** (source : Sétegué)

#### 2.3.2.4 Phosphore

Le phosphore est un constituant de la matière vivante, qui se trouve également dans des produits de synthèse, engrais ou détergents. Dans les sols, le phosphore est retenu dans les complexes argilo-humiques ; il est donc peu dissous par les eaux de ruissellement. La plus grande partie du phosphore – naturellement présent en faible quantité dans les eaux – provient du rejet des eaux domestiques et industrielles. Si les phosphates ne sont pas toxiques en eux-mêmes, ils induisent une modification majeure des écosystèmes en favorisant en premier lieu un développement de la flore aquatique.

#### 2.3.2.5 Autres polluants

Outre les rejets de matières organiques associés ou non à des MES (matières en suspension), de l'azote et du phosphore, les milieux aquatiques peuvent avoir à supporter une pollution toxique par des produits chimiques, des métaux lourds ou des hydrocarbures. L'effet des produits

chimiques en très faible quantité est difficile à estimer sans études écotoxicologiques, car chaque espèce y réagit différemment. Toutefois, aujourd'hui, la plupart de ces polluants font l'objet d'une norme, au-delà de laquelle il est considéré qu'il y a danger pour l'écosystème.

– *Les métaux lourds* (cadmium, plomb, zinc, nickel, mercure, etc.) sont souvent présents en très faibles quantités dans l'eau, mais sont plutôt fixés sur les matières en suspension ou dans les sédiments. Ils sont surtout bioaccumulables, ce qui indique que leur concentration dans les cellules vivantes augmente tout au long de la chaîne trophique. De fait, le suivi de certaines de ces substances hydrophobes apparaît non pertinent sur le support « eau », il vaudrait mieux les rechercher dans les sédiments ou dans le biote (bryophyte, poisson, petit crustacé d'eau douce, etc.).

#### COMMENTAIRE

Les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) et les PBDE (polybromodiphényléthers) font partie des substances posant des problèmes similaires.

– *Les pesticides*, dont l'origine est l'usage sur les cultures mais aussi dans les zones non agricoles (voirie, cimetières, espaces verts publics, jardins particuliers, etc.) interviennent beaucoup dans la mauvaise qualité des eaux superficielles ou souterraines.

– *Les hydrocarbures*, outre les nuisances d'ordre esthétique par les irisations de surface qu'ils engendrent, gênent les échanges air-eau à la surface et freinent toutes les fonctions biologiques.

– *Les micropolluants d'origine domestique* recouvrent une large gamme de molécules chimiques utilisées dans la vie quotidienne : détergents, solvants, plastifiants, produits cosmétiques, médicaments, etc. La plupart de ces molécules sont transférées ou véhiculées dans l'eau, par lavage ou dans les urines. Elles sont connues mais n'étaient, jusqu'à ces dernières années, pas mesurées ; la recherche de molécules présentes à une concentration de quelques nanogrammes/litre ( $10^{-9}$  g/l) étant très délicate et coûteuse.

#### EXEMPLE

##### Polluants courants

Les lessives comportent des surfactants, des agents oxydants, des enzymes, des agents adoucissants et encore d'autres ingrédients, dont certains sont mal éliminés par les stations d'épuration ;

Les eaux de ruissellement contiennent des hydrocarbures, notamment résultant de combustion (chauffage, trafic automobile) et des métaux lourds (la part du plomb a très fortement régressé depuis la généralisation de l'essence sans plomb).

– *Les perturbateurs endocriniens* regroupent des dizaines de molécules issues, par ordre d'importance décroissante, de métabolites des détergents, de stéroïdes utilisés dans l'alimentation du bétail, de plastifiants, de médicaments, d'hormones reproductives, etc. Tous les cours d'eau sont

contaminés. Certaines de leurs caractéristiques, notamment le fait qu'elles soient peu biodégradables et encore très peu traitées dans les stations d'épuration, ont d'ores et déjà permis de mettre en évidence des impacts négatifs sur la faune. Les modalités de leur rémanence, biotransformation, accumulation ne sont pas toujours connues. Ces contaminations suscitent des inquiétudes croissantes pour la santé humaine, renforcées par les inconnues sur les effets du cumul de ces molécules.

#### 2.3.3 Pollutions microbiologiques

La présence de micro-organismes dans un cours d'eau est normale, y compris en l'absence de rejets issus de l'activité humaine. En revanche, dès que les teneurs augmentent, en fonction de tel ou tel usage de l'eau, les difficultés commencent. Sans compter qu'une contamination excessive joue un rôle négatif sur l'écosystème tout entier. Le niveau de survie de ces organismes dans le milieu, qui permet une certaine autoépuration, est fonction des conditions d'environnement (salinité, prédation, ensoleillement, turbidité, etc.).

Le risque associé à la fabrication d'eau potable et aux usages récréatifs de l'eau est lié à la présence dans l'eau de micro-organismes pathogènes (virus, bactéries, parasites). Compte tenu de la multiplicité des germes pathogènes, il est convenu de quantifier des micro-organismes courants, dont la présence est un indicateur du risque de trouver des germes pathogènes, ceux-ci étant principalement excrétés par les animaux, dont l'homme. Sont alors recherchés des micro-organismes dits germes témoins de la contamination fécale (GTCTF), dont le caractère pathogène pour l'homme est peu marqué, mais dont la distribution permet la mesure sans difficulté.

Deux types de micro-organismes sont généralement recherchés : les *Escherichia coli* et les entérocoques intestinaux. Ces derniers sont indiscutablement liés aux affections gastro-intestinales et peuvent générer chez les baigneurs des troubles ORL ou des dermatoses. Dans certaines circonstances, notamment en rivière et parfois en cas de pollution par des rejets particuliers, il peut être procédé à la recherche d'autres germes tels que les salmonelles, les entérovirus ou encore *Giardia*, cette dernière relativement au risque parasitaire.

#### 2.3.4 Pollution des sédiments

Les sédiments sont des matériaux solides particuliers qui, véhiculés par l'eau, finissent par décanter sur le fond. Ils proviennent de l'érosion du bassin versant, des berges, du ruissellement sur les surfaces imperméabilisées et des rejets de toute nature. Les organismes vivants, au moment de leur mort, chutent au fond et s'y décomposent, faisant partie des sédiments.

Il s'agit donc de matériaux plus ou moins organiques, plus ou moins fins. Il est souvent question de vases, au sens conventionnel du terme, puisque généralement les sédiments présentent à 90 % des granulométries inférieures à 0,063 mm. Mais ces caractéristiques sont fortement dépendantes des spécificités du bassin versant et des conditions de décantation.

En zone rurale, les étangs sont les meilleurs exemples des impacts de l'apport de sédiments d'un bassin versant, plus ou moins aggravé par les activités humaines. Ainsi, la Grand'Mare, dans le Marais Vernier (Seine-Maritime), d'une surface de 72 ha en 1956, ne présentait plus qu'une superficie de 50 ha en 2004. La profondeur de l'étang n'étant plus que de 20 cm par endroits, un important curage sur plusieurs années a permis de retirer 275 000 m<sup>3</sup> de sédiments (PNR Boucles de la Seine Normande). À l'été 2013, ce vaste plan d'eau a retrouvé ses fonctionnalités écologiques.

En zone urbaine, les bassins versants urbanisés apportent aussi d'importantes quantités de sédiments vers les rivières. Ils sont parfois pollués, notamment du fait de la circulation automobile et d'autres activités humaines. Ainsi, le ru du Marais (Val-de-Marne), drainant un bassin urbanisé d'Île-de-France (1 500 ha, 50 000 habitants), apporte chaque année environ 500 tonnes de sédiments (exprimés en matières sèches) dans la Marne.

Outre les conséquences néfastes des sédiments sur la vie aquatique par la stérilisation des fonds, ces envasements perturbent les échanges nappe-rivière. De plus, les sédiments montrent une formidable aptitude à piéger les polluants azotés, phosphatés ou toxiques : à l'interface eau-sédiments, de nombreuses réactions chimiques de solubilisation ou de complexation apparaissent. Certains composés chimiques, du fait de leurs caractéristiques, sont majoritairement présents dans les sédiments. Ainsi, si l'eau ne contient que peu d'éléments nutritifs<sup>(3)</sup> (NTK, phosphore) ou toxiques (métaux lourds, pesticides), les sédiments constituent un réservoir (tab. 2.6).

Dans une rivière calme, les matières particulières se déposent mais elles peuvent être remises en suspension lors d'une augmentation de débit, avec tout le cortège de produits toxiques qui leur est associé. Cependant, même sans augmentation de débit, les sédiments restent une source potentielle majeure de pollution, même quand la cause a disparu, la suppression d'un rejet polluant par exemple.

(3) Toutefois, les teneurs indiquées dans le tableau 2.6 pour l'eau suffisent à déclasser sévèrement le milieu concerné.

**Tab. 2.6. Teneurs moyennes comparées des eaux et sédiments dans les canaux du département du Nord**  
(source : Agence de l'eau Artois-Picardie)

Éléments	Eau	Sédiments (mg/kg PS)
Plomb	< 10 (µg/l)	135
Cadmium	< 1 (µg/l)	0,4
Mercure	< 0,1 (µg/l)	0,7
NTK	2,2 (mg/l)	2 100
Phosphore total	1 (mg/l)	1 470

### 2.3.5 Eutrophisation

#### 2.3.5.1 Définition et description

Les termes « eutrophe » et « oligotrophe » furent utilisés pour la première fois au début du XX<sup>e</sup> siècle pour caractériser les conditions nutritives de milieux aquatiques, notamment de marais. Ces deux types extrêmes peuvent être décrits ainsi :

- *oligotrophie* : écosystème profond, pauvre en nutriments, riche en oxygène sur toute sa profondeur, ce qui permet une colonisation par une faune exigeante en oxygène ;
- *eutrophie* : écosystème peu profond, riche en nutriments et en oxygène seulement en surface, mais avec désoxygénation dans le fond, n'autorisant la vie que d'espèces se contentant de peu d'oxygène.

L'évolution naturelle probable d'un plan d'eau sur plusieurs milliers d'années passerait de l'oligotrophie à l'eutrophie sous l'action des matières organiques qu'il produit et qu'il reçoit du bassin versant. Du fait de l'équilibre d'un écosystème naturel, cette évolution naturelle, très lente, peut être accélérée, notamment par les activités humaines et/ou les rejets qui en découlent. Lorsque le déversement de nutriments est trop important, il finit par dépasser le pouvoir tampon et de dilution du milieu aquatique, déclenchant le processus.

#### REMARQUE

L'étude de l'eutrophisation a débuté sur les lacs et étangs, mais l'augmentation des rejets de matières organiques a entraîné la propagation du phénomène sur les cours d'eau lents et les canaux. Les eaux littorales, et notamment les baies fermées, sont aussi sujettes au processus d'eutrophisation, du fait des mêmes types d'apports à la mer.

L'eutrophisation (tab. 2.7) est la réponse du milieu aquatique à un enrichissement excessif en substances nutritives, essentiellement le phosphore et l'azote. Ces principaux nutriments sont mobilisés au bénéfice d'une forte augmentation de la production végétale dans le milieu aquatique, pouvant aller jusqu'à une prolifération anarchique. Ils agissent comme des engrais.

L'augmentation ainsi provoquée de la fertilité des lacs, des milieux à écoulement lent, se traduit par divers symptômes, tels que l'apparition de « fleurs d'eau » (*bloom* algal ou efflorescence algale), la formation de tapis d'algues, la désoxygénation en profondeur et, parfois, une odeur désagréable. Outre les modifications qu'elles impliquent dans les peuplements animaux et végétaux, ces manifestations nuisent à la plupart des utilisations de l'eau liées aux besoins de l'homme, notamment l'alimentation en eau, la pêche, les loisirs ou l'agrément des lieux.

La plupart des études font apparaître une tendance générale de l'azote et du phosphore à se manifester par une concentration accrue, depuis le stade de l'oligotrophie jusqu'à celui de l'eutrophie. Cet accroissement simultané des teneurs en azote et en phosphore ne facilite pas l'établissement d'une nette distinction de leurs rôles respectifs dans le déroulement du processus d'eutrophisation. Il est ainsi difficile de déterminer sans études longues et complexes qui, de l'azote ou du phosphore, joue un rôle limitant à l'égard de la productivité végétale.

Néanmoins il convient de noter que, en termes de concentrations, le rapport azote/phosphore est supérieur à 100 en situation oligotrophe, pour chuter à 10 en situation eutrophe. Ce fait serait à interpréter comme la tendance des milieux de trophie croissante à passer de la dépendance vis-à-vis du phosphore à celle vis-à-vis de l'azote.

Mais diverses études montrent qu'il n'y a pas de relation proportionnelle entre les teneurs élevées en sels nutritifs et le taux important en cellules planctoniques. Il y a certes besoin d'un seuil minimal, mais des concentrations excessives en azote et phosphore ne sont pas synonymes d'eutrophisation. Pour les algues, le phosphore est le mieux assimilé sous la forme du groupe des ions phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ; mais il apparaît extrêmement difficile de définir une teneur maximale en dessous de laquelle l'eutrophisation serait jugulée, cette valeur dépendant en fait du type de milieu considéré.

#### REMARQUE

Qu'il se présente sous forme de nitrates ou d'ammoniaque, l'azote est nécessaire, tout comme le phosphore, à l'apparition de l'eutrophisation en eau douce, bien que le phosphore semble être le facteur limitant de l'intensité du phénomène. En milieu marin, la situation est généralement inverse et c'est l'azote qui règle l'importance de l'eutrophisation, notamment en période estivale.

L'ammonium est la forme préférentiellement assimilée par les micro-organismes (bactéries et champignons), alors que le nitrate est la forme préférentiellement assimilée par les végétaux (plantes et algues supérieures).

Des tests de fertilité algale permettent d'évaluer, par simulation expérimentale en laboratoire, le potentiel d'un écosystème aquatique en nutriments et les effets d'un aménagement, et d'estimer les risques de prolifération

**Tab. 2.7. Recensement des facteurs favorisant ou défavorisant l'eutrophisation**  
(source : Agence de l'eau Loire-Bretagne)

Facteurs favorables	Facteurs défavorables
<b>Énergie lumineuse disponible</b>	
Ensoleillement continu	Ombrages des berges et faible largeur du cours d'eau
Transparence de l'eau	Eau turbide et colorée
Profondeur modérée (rivière)	Fortes profondeurs (rivières)
Zones supérieures des lacs	Zones profondes des lacs
<b>Temps de séjour des eaux</b>	
Faibles vitesses d'écoulement (lacs, biefs), rivières longues	Fortes vitesses d'écoulement (torrents)
<b>Composition chimique des eaux</b>	
Eaux douces	Eaux très dures
Composition minérale équilibrée	Composition minérale déséquilibrée (eaux très douces)
<b>Disponibilité des nutriments</b>	
Apports d'azote et de phosphore sous forme utilisable (dissoute)	Apports sous forme particulaire, pas d'apports en été
Dépôts de vases organiques	Fonds sableux ou propres
<b>Divers</b>	
Présence de produits nocifs pour le zooplancton (pesticides)	Présence de produits toxiques pour les algues (algicides)
	Abondance de poissons et de zooplancton consommateurs d'algues

algale. Toutefois, dans le milieu naturel, de nombreux paramètres interviennent sur la reproduction des algues (oligoéléments, substances toxiques, inhibiteurs, composés sécrétés par les algues elles-mêmes...), ce qui nécessite une grande vigilance dans l'interprétation des résultats.

#### 2.3.5.2 Lutter contre l'eutrophisation

Il existe des techniques d'amélioration de la qualité des plans d'eau ou des canaux qui nécessitent, d'une part, évidemment, la réduction de tous les rejets, notamment en phosphore, et d'autre part, des actions fortes sur le bassin versant (lutte contre l'érosion, absence d'eau stagnante, renaturation et restauration de la ripisylve, préservation



des zones humides). Une fois tout ceci pérennisé, s'il le faut, le traitement proprement dit de l'écosystème peut être engagé.

D'une façon logique, le traitement du plan d'eau ne devrait intervenir qu'en dernier lieu et avoir pour objectif soit de déclencher, d'accélérer ou de parfaire le processus d'autorégénération, soit d'aménager « au moins mal » les conséquences du flux de pollution résiduel incontrôlé.

Quel que soit le type de traitement envisagé, il doit être :

- adapté au problème limnologique posé ;
- réalisable techniquement et financièrement ;
- efficace pour l'effort technique et financier consenti ;
- non générateur de réactions indésirables et irréversibles de tout ou partie de l'écosystème.

Ces procédés physiques ou chimiques de traitement comprennent des actions, éventuellement complémentaires, telles que :

- le dragage<sup>(4)</sup>, pour rendre au plan d'eau une certaine profondeur, éliminer les végétaux fixés et les sédiments riches en nutriments ;
- l'isolation du sédiment de l'eau par un film plus ou moins fin et continu, pour limiter les migrations des nutriments ;
- la vidange sélective, par aspiration des eaux froides d'un lac profond, chargées en nutriments ;
- la récolte de la biomasse, supprimant une source potentielle de matières organiques ;

L'usage de substances algicides, herbicides, ayant pour but d'éliminer respectivement le phytoplancton et les macrophytes, est un moyen qui traite les ultimes conséquences du mal sans traiter le mal lui-même. Il doit être réservé à des interventions rapides et puissantes, voire désespérées. Il ne faut, en aucun cas, les utiliser de façon routinière et avoir conscience de leurs conséquences en termes de toxicité, de rémanence, de sélectivité, etc.

### 2.3.6 Modélisation

L'approche des perturbations subies par les milieux aquatiques peut être réalisée par le calcul, ce qui permet aussi de juger du bien-fondé des actions de dépollution sur la qualité des eaux et ainsi d'orienter au mieux les efforts. Les modèles de qualité des eaux cherchent à décrire l'évolution spatiale et temporelle d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques.

(4) Dans le cas d'un dragage, les sédiments doivent pouvoir être éliminés correctement. Il semble que la valorisation agronomique soit possible du fait de leur richesse en matières organiques, en azote, en phosphore et en oligoéléments.

#### 2.3.6.1 Modélisation en cours d'eau

L'un des premiers modèles de qualité des eaux en rivière fut conçu vers 1925 par Streeter et Phelps, permettant d'évaluer l'impact d'un rejet sur les concentrations en oxygène à l'aval à partir de deux équations et deux paramètres à caler. L'objectif de ce modèle est de déterminer à quelle distance du rejet la teneur en oxygène dissous passe par un minimum, puis croît de nouveau une fois la pollution dégradée (fig. 2.8).

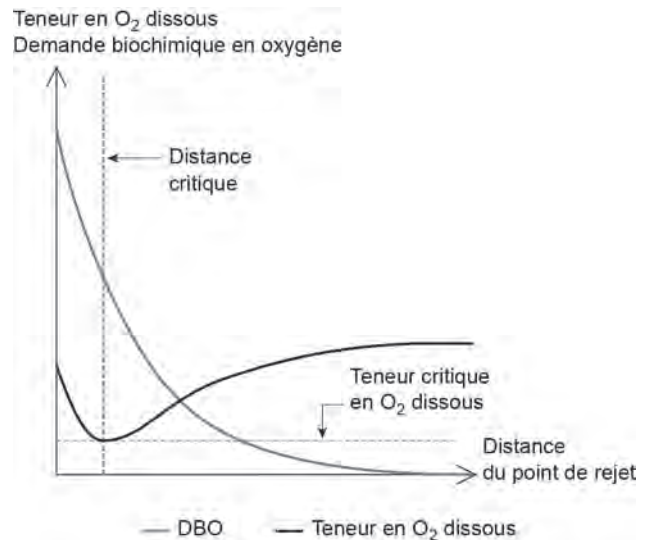


Fig. 2.8. Évolution de la teneur en oxygène dissous à l'aval d'un rejet dans un cours d'eau

Le nombre de paramètres pris en compte par les modèles est maintenant plus important. Ils tiennent compte de l'azote (sous ses différentes formes), du phosphore, voire de diverses substances chimiques toxiques, comme les phytosanitaires. Les modèles de qualité peuvent représenter des écosystèmes dans leur ensemble, faisant intervenir les matières en suspension, le développement du phytoplancton (chlorophylle a) et même calculant l'ensemble de la chaîne trophique, des algues aux poissons.

Pour bien apprécier l'évolution spatio-temporelle d'un cours d'eau, son fonctionnement hydraulique doit être intégré aux calculs de qualité. Là aussi, la complexité peut être plus ou moins grande : réseaux ramifiés ou non, régime permanent ou transitoire (apports de temps de pluie notamment). De même, les modèles peuvent prendre en compte ou non les singularités telles que seuils, barrages, etc.

Chaque modèle présente ses caractéristiques propres, qu'il faut prendre en compte lors du choix d'un modèle pour un projet donné. Ces logiciels constituent des outils d'analyse et de simulation que l'on peut mettre au service de la gestion de milieux aquatiques, notamment pour

l'aide à la décision. Il est impératif d'avoir une idée précise des raisons qui amènent à modéliser, des variables qu'il est nécessaire de simuler et des données d'entrée dont on dispose. Ces éléments et le degré de prise en compte des phénomènes les mieux appropriés aux questions que l'on se pose orientent le choix du type de modèle.

Pour chaque milieu, les modèles doivent être calés pour correspondre aux conditions particulières de l'écosystème. Aussi, selon leur niveau d'élaboration, les modèles peuvent être complexes et coûteux à l'utilisation, car nécessitant de nombreuses analyses préalables destinées à prendre en compte les spécificités de chaque cours d'eau.

Dans tous les cas, dès qu'un rejet supplémentaire est prévu, une (voire plusieurs) campagne d'analyses sur le cours d'eau est nécessaire, si possible en conditions défavorables (étiage), au voisinage de l'exutoire projeté, surtout si la rivière est peu connue. Ce n'est qu'après cette première étape que les éventuels besoins d'une modélisation (plus ou moins complexe) pourront être mis en évidence. Comme les campagnes d'analyses ne recouvrent que rarement toutes les situations hydrologiques croisées aux variations de flux rejetés, l'utilisation de modèles est impérative, au titre de l'assainissement, dès lors, par exemple, qu'un rejet important est envisagé sur une rivière sensible.

Le Piren-Seine<sup>(5)</sup> (groupement de recherche sur le fonctionnement du bassin versant et le réseau hydrographique de la Seine) dispose de divers modèles très complets, souvent couplés à un SIG. Par exemple, le modèle *ProSe* permet la simulation de l'hydrodynamique, du transport et du fonctionnement biogéochimique dans un réseau hydrographique. Il prend en compte les nombreuses activités humaines qui s'exercent sur le bassin versant sous forme de rejets ponctuels (rejets urbains, industriels) ou d'apports diffus (agriculture, ruissellement). Les impacts d'aménagements tels que les dérivations, les seuils ou les effets de la navigation sont également représentés.

Il existe des modèles plus simples, parfois suffisants sur des projets de moindre envergure, qui, par exemple, ne se fondent que sur la dilution du polluant (et non sur sa consommation par l'écosystème) au cours du temps. D'autres approches, moins simplistes, tout en restant facilement accessibles car conçues sur des tableurs du commerce, permettent de définir correctement le niveau de rejet d'une station d'épuration pour respecter les objectifs du cours d'eau considéré : c'est ce qui doit être évoqué ici, au titre de l'assainissement.

Ainsi, le modèle *Norber* (développé par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne) permet de simuler l'impact de

rejets ponctuels, industriels ou urbains sur la qualité d'un cours d'eau. Il fournit également automatiquement le flux acceptable pour répondre à un objectif de qualité exprimé en classe de qualité comme en concentration. Les effets d'autoépuration sont pris en compte sur un linéaire pouvant aller jusqu'à 50 km. Chaque simulation peut faire l'objet de deux types de représentation graphique pour les cinq paramètres essentiels pour les pollutions organiques (DBO, DCO, NH<sub>4</sub>, NKJ, P total).

#### 2.3.6.2 Modélisation en mer

Vis-à-vis des problématiques de l'assainissement, la modélisation des eaux côtières est essentiellement engagée soit pour prévoir les conditions de dispersion d'un rejet en mer, soit pour mieux comprendre les facteurs hydro-météorologiques défavorisant la qualité des eaux de baignade ou conchylicoles.

Sur un maillage, les logiciels d'hydrodynamique doivent simuler les écoulements à surface libre à deux dimensions d'espace horizontales, plus éventuellement une dimension verticale, en cas de forte stratification. Ces modèles doivent prendre en compte la marée et l'influence des vents et courants présents dans la zone. Un second modèle qualité calcule, à partir des résultats du modèle hydrodynamique, la dispersion d'une substance polluante dégradable ou non, appelée « traceur (non) conservatif » par des équations de transport d'advection/diffusion.

La bathymétrie issue des cartes du SHOM<sup>(6)</sup>, avec localement plus de précision si nécessaire, est la donnée d'entrée principale. Le vent est décrit, par son intensité et sa direction, de manière uniforme sur l'ensemble du plan d'eau. Certains logiciels intègrent aussi les effets de la houle.

La modélisation de la dispersion des apports à la mer (fleuves côtiers, stations d'épuration, réseau pluvial, surverses d'eaux usées au niveau de postes de refoulement...) permet de déterminer, à partir de scénarios de pluviométrie, de marées et de vent, le devenir des effluents rejetés à travers la variation spatio-temporelle de la contamination induite. Souvent le paramètre étudié est *Escherichia coli*, bactérie indicatrice (voir chapitre 8). Les résultats fournis permettent de préciser l'impact sanitaire du ou des rejets pour des usages sensibles du littoral (baignade, pêche à pied et conchyliculture), au regard des normes réglementaires en vigueur. Ces résultats permettent aussi de déterminer les conditions hydro-météorologiques les plus pénalisantes pour les usages sensibles, autorisant par exemple une gestion prédictive des interdictions de baignade pour cause d'eau momentanément polluée.

(5) Piren : Programme interdisciplinaire de recherche sur l'environnement de la Seine.

(6) Service hydrographique et océanographique de la marine.

## 2.4 Gestion globale de l'eau et des milieux aquatiques

Pour chaque section de cours d'eau, voire pour chaque bassin versant ou pour chaque masse d'eau, il convient d'assigner des valeurs limites à tout rejet, de façon à respecter les caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques liées à sa fonctionnalité biologique et à ses différents usages.

Ceci nécessite la connaissance de nombreux facteurs ainsi que de leur évolution : qualité de l'eau et des milieux associés, usage des eaux et des milieux, nature des prélèvements et des rejets, transformation du territoire... La reconquête ou le maintien d'une « bonne » qualité mobilise des moyens financiers très importants. Ainsi, les objectifs de qualité doivent s'enchaîner d'une manière logique et rationnelle afin de garantir que ces actions permettront à la région considérée de retrouver et de conserver ce « bon » niveau de qualité des milieux et d'en tirer avantage sur les plans écologique, économique et sociologique.

Pour mener à bien une politique d'objectifs de qualité, les autorités chargées de la surveillance des eaux ont développé, depuis 1971, des grilles d'appréciation, ainsi que des cartes représentant leur qualité ou les objectifs fixés.

### 2.4.1 Définition d'une masse d'eau

Le terme de « masse d'eau » désigne une portion homogène de cours d'eau, de nappe d'eau souterraine, de plan d'eau ou d'eaux côtières, d'une taille suffisante pour permettre le fonctionnement des processus biologiques et physico-chimiques dont elle est le siège : pour chaque masse d'eau, un objectif d'atteinte du « bon état » (ou du bon potentiel) est fixé.

Cet objectif dépend d'une part de la typologie<sup>(7)</sup> des masses d'eau considérées (différencier un cours d'eau de montagne d'un cours d'eau de plaine par exemple) et d'autre part des pressions liées aux activités humaines qui s'exercent sur elles (par exemple, différencier un cours d'eau urbain d'une rivière traversant des plaines agricoles).

À l'intérieur des districts (vastes bassins versants à l'échelle européenne correspondant, pour la France, plus ou moins aux limites des Agences de l'eau, avec une nécessité évidente de concertation pour les cours internationaux), la masse d'eau a été considérée comme l'unité

élémentaire du découpage des milieux aquatiques en unités homogènes, du point de vue du fonctionnement écologique et des pressions dues aux activités humaines.

Au sens de la directive-cadre sur l'eau, les masses d'eau correspondent surtout à un découpage de nature technique, servant notamment pour la définition des réseaux de surveillance et des objectifs d'état. Elles n'ont cependant pas vocation à servir d'unité de gestion, celle-ci devant se faire à l'échelle plus large d'un groupe de masses d'eau, que l'on nomme unité hydrographique.

Cette directive définit plusieurs catégories de masses d'eau :

- les eaux de surface continentales, rivières et plans d'eau ;
- les eaux côtières et les eaux de transition (par exemple les estuaires) ;
- les eaux souterraines.

En France, on dénombre 11 523 masses d'eau de surface et 574 masses d'eau souterraines (données 2009).

### 2.4.2 Objectifs de qualité des eaux

#### 2.4.2.1 Objectifs et usages

Dans son article premier, la loi du 16 décembre 1964, relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution, a défini la finalité de la lutte contre la pollution. En termes d'usage, son but est de satisfaire ou de concilier les exigences :

- de l'alimentation en eau potable des populations ;
- de la santé publique ;
- de l'agriculture, de l'industrie, des transports et de toutes autres activités humaines d'intérêt général (loisirs, sports nautiques et protection des sites) ;
- de la vie biologique du milieu récepteur, et spécialement de la faune piscicole.

L'ordre dans lequel apparaissent ces préoccupations est très significatif de l'approche de la gestion de l'eau de l'époque. Si le maintien de la vie biologique est clairement un objectif de lutte contre la pollution, les usages restent prédominants, étant seuls « d'intérêt général ». Cette politique d'objectifs de qualité répond à un souci de rentabilité des investissements à mettre en œuvre et doit permettre en outre :

- d'augmenter leur efficacité par la prise en compte de l'évolution des flux polluants d'amont en aval ;
- de mettre en évidence l'ensemble des travaux à réaliser, et uniquement ceux qui sont indispensables pour le respect de l'objectif ;
- de prendre en compte les aspects complémentaires de lutte contre la pollution (mesures d'accompagnement) ;
- de peser sur l'aménagement du territoire ;

(7) Les types de masses d'eau sont définis sur la base d'une classification par régions des écosystèmes aquatiques, croisée avec une classification par taille des cours d'eau.

– de pouvoir procéder par étapes successives, une fois un objectif atteint, l'ensemble des forces vives d'un bassin pouvant se donner un nouvel objectif plus ambitieux.

La loi du 3 janvier 1992 a apporté un certain nombre de précisions, en insistant sur la gestion des milieux aquatiques. Dans cette perspective, de nouveaux outils d'évaluation de la qualité (système d'évaluation de la qualité, ou SEQ) ont été mis au point pour regrouper les diverses approches selon les usages de l'eau, sans omettre la fonction primordiale du cours d'eau, à savoir ses potentialités biologiques.

Aujourd'hui, suite à la directive-cadre sur l'eau et la loi du 30 décembre 2006, l'approche a été encore modifiée, fondée sur une redéfinition de classes de qualité.

#### 2.4.2.2 Principes de la directive-cadre sur l'eau

La directive-cadre sur l'eau n° 2000/60/CE du 23 octobre 2000 dite DCE a marqué le passage d'une obligation de moyens, imposant la dépollution, à une obligation de résultat, définissant avec précision les états à obtenir sur les milieux. Cette directive marque donc un tournant dans la politique de l'eau européenne, en abandonnant la démarche sectorielle utilisée jusqu'alors en droit communautaire au profit d'une approche globale. Elle fait le lien entre les aspects quantitatifs et qualitatifs de l'eau, exprimant la volonté d'intégrer l'ensemble des milieux et des ressources aquatiques à une échelle territoriale adaptée.

Elle prévoit ainsi pour chaque district hydrographique européen, la réalisation d'un plan de gestion qui fixe des *objectifs environnementaux à atteindre obligatoirement* pour chaque masse d'eau et définit les conditions de leur réalisation : le « bon état » ou « bon potentiel » écologique en 2015, voire 2021 ou 2027, lorsqu'il apparaît que le délai est trop court, pourvu que les raisons en soient correctement argumentées.

La DCE porte également les exigences d'une politique de gestion « intégrée » de l'eau. Elle n'est plus uniquement réparatrice, au contraire elle oblige à intégrer *en priorité* la protection et la gestion écologique des eaux et des milieux aquatiques dans les autres politiques sectorielles territoriales.

Les objectifs de qualité et de quantité des eaux à atteindre sont :

- Pour les eaux de surface, à l'exception des masses d'eau artificielles (MEA) ou fortement modifiées (MEFM) par les activités humaines : un bon *état* écologique et chimique ;
- Pour les masses d'eau de surface artificielles ou fortement modifiées par les activités humaines : un bon *potentiel* écologique et un bon état chimique ;
- Pour les masses d'eau souterraines : un bon état chimique, et un équilibre entre les prélèvements et la capacité de renouvellement – dit bon état quantitatif.

Ces objectifs devraient être atteints, sauf dérogation, au plus tard le 22 décembre 2015, soit 15 ans pour atteindre les résultats attendus sur la qualité de l'eau, ce qui pouvait, sur certains thèmes, être considéré comme une échéance très proche, compte tenu de l'importance des interventions nécessaires et de l'inertie du milieu.

Selon les règles de la DCE, pour chaque paramètre, il s'agit de retenir, sur une série de résultats (souvent d'une même année), le centile 90 et de le situer par rapport aux classes de qualité, dont le « bon état » est la référence à obtenir.

#### COMMENTAIRE

##### Centile

Sur une série de résultats, le centile 90 correspond à la valeur supérieure à 90 % des résultats de la série ; pour ce qui concerne la qualité des rivières, il s'agit donc d'un résultat prenant en compte l'un des « plus mauvais » de la série.

#### 2.4.2.3 Le « bon état » des eaux superficielles

La définition de l'état d'une masse d'eau de surface se fonde sur plusieurs quantifications de l'état écologique (décomposé lui-même en états biologique, physico-chimique et hydromorphologique) et sur l'état chimique. Ainsi, le « bon état », au sens de la loi, est l'agrégation d'un bon état chimique et d'un bon état écologique :

- *Le bon état chimique* consiste à respecter des seuils de concentration, dits normes de qualités environnementales (NQE), pour les 41 substances visées par la directive-cadre sur l'eau (notamment certains métaux, pesticides, hydrocarbures, solvants, etc.) ; ces seuils sont les mêmes pour tous les types de cours d'eau ; l'état chimique ne prévoit que deux classes d'état : respect ou non-respect du bon état (voir § 2.4.5.1).
- *Le bon état écologique* correspond au respect de valeurs de référence pour des paramètres biologiques et des paramètres physico-chimiques qui ont un impact sur le fonctionnement de l'écosystème. Comme les conditions « non perturbées » et optimales pour la vie aquatique sont très différentes selon les types de masse d'eau (fleuve de plaine, lac ou torrent, voir § 2.3.1), des sites de référence considérés de bonne qualité ont été identifiés et servent d'étalon afin de définir les seuils du bon état écologique.

Il se décline en cinq classes d'état, de « très bon » à « mauvais », et reflète la qualité de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Il prend en compte d'abord séparément, puis en intégrant l'ensemble :

- les paramètres physico-chimiques : paramètres généraux – bilan de l'oxygène (carbone organique, oxygène dissous, taux de saturation en oxygène, etc.), nutriments (azote et phosphore), valeurs physiques (température, salinité, pH) – et polluants spécifiques synthétiques et non synthétiques – quatre métaux (arsenic, chrome, cuivre, zinc) et cinq herbicides (voir § 2.4.5.2) ;



- les paramètres biologiques : invertébrés (IBGN), diatomées (IBD), poissons (IPR) (voir § 2.4.5.3) ;
- l'hydromorphologie des cours d'eau.

Le bon état global d'une eau de surface est atteint lorsque son état écologique et son état chimique sont au moins « bons », comme le montre la figure 2.9.

Les MEFM et MEA bénéficient d'un régime dérogatoire où l'objectif de « bon état » est remplacé par celui de « bon potentiel écologique ». La classification en quatre classes : « bon et plus », « moyen », « médiocre », et « mauvais » permet d'évaluer l'atteinte du « bon potentiel écologique », selon une démarche analogue à celle du « bon état » présentée ci-dessus :

- les seuils sont les mêmes pour l'état chimique (l'atteinte du bon potentiel nécessite donc l'atteinte du bon état chimique) ;
- les seuils utilisés pour l'évaluation écologique sont en revanche moins contraignants pour la biologie et l'hydromorphologie.

La désignation des masses d'eau de surface fortement modifiées par les activités humaines (MEFM) et des masses d'eau artificielles (MEA) résulte d'une démarche exigeante, dont l'argumentation devant la Communauté européenne doit être sans faille afin d'aboutir à une délimitation rigoureuse. Si la délimitation des zones sensibles en 1994 avait été assez laxiste et conduit la Communauté européenne à un contentieux avec la France, il semble que la désignation des MEFM n'ait pas été cette fois suffisamment adaptée au terrain, certains petits cours d'eau très modifiés ayant été parfois laissés dans la catégorie des masses d'eau naturelles.

Pour les MEFM, il s'agit d'indiquer les masses d'eau ayant subi des modifications importantes de leurs caractéristiques naturelles du fait de leur utilisation par l'homme, et qui ne peuvent pas atteindre le bon état écologique qui serait le leur si elles n'avaient pas été transformées pour être exploitées. Cette caractérisation implique de :

- définir l'importance des mesures à prendre pour atteindre le bon état ;
- juger de leur impact sur les activités liées à cette masse d'eau ;
- vérifier si d'autres moyens ne permettent pas d'obtenir les mêmes avantages.

Si toutes les réponses aboutissent à des coûts disproportionnés pour des résultats peu significatifs, alors la masse d'eau peut être déclarée MEFM. Dans ce cas, les valeurs de référence biologiques seront adaptées pour tenir compte des modifications physiques du milieu, et il sera question d'un objectif de bon potentiel écologique.

Concernant les MEA, c'est-à-dire les masses d'eau de surface créées par l'activité humaine, la désignation nécessite de vérifier si l'hydromorphologie liée à l'activité permet ou non de réaliser le bon état : si le bon état apparaît réalisable sans porter atteinte à l'activité ou aux intérêts à l'origine de la création de la masse d'eau, alors celle-ci ne sera pas désignée comme artificielle.

#### 2.4.2.4 Le « bon état » des eaux souterraines

Il n'existe pas d'indicateur d'état écologique concernant les masses d'eau souterraines. Pour évaluer l'état d'une masse d'eau souterraine, l'objectif de bon état chimique est associé au respect d'objectifs d'état quantitatif (fig. 2.10).

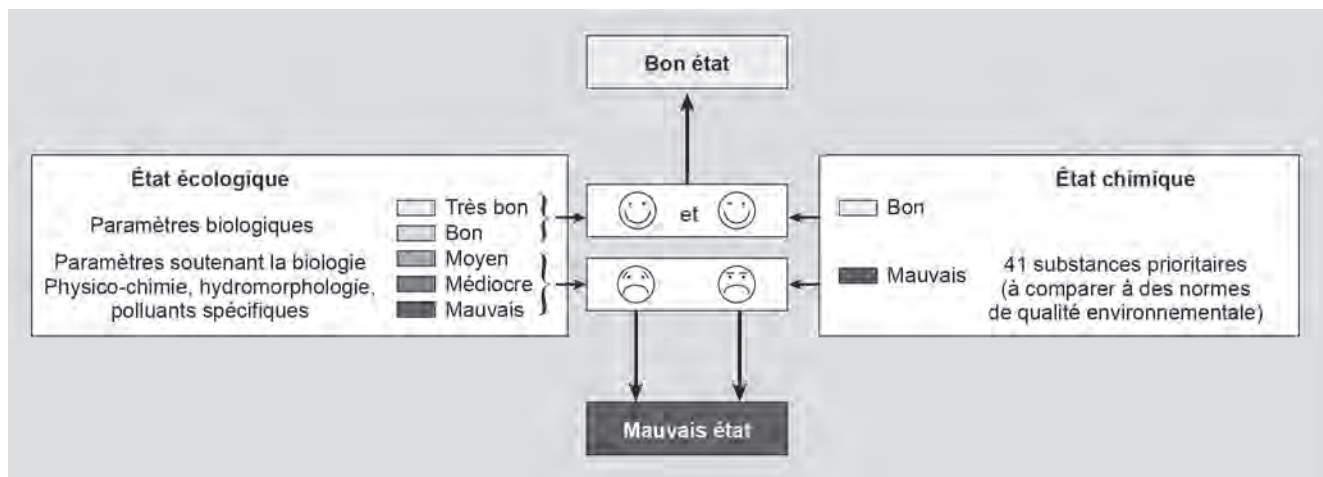


Fig. 2.9. Détermination de l'état d'une masse d'eau superficielle

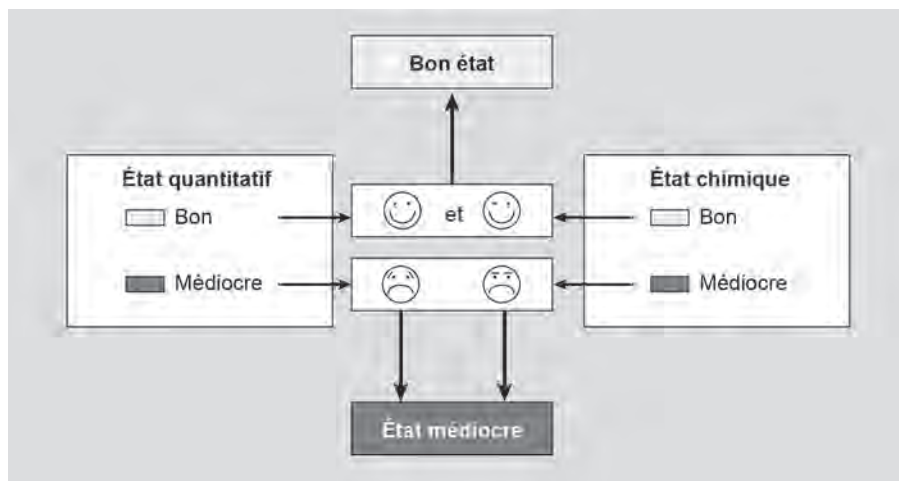


Fig. 2.10. Détermination de l'état d'une masse d'eau souterraine

• *L'état chimique* d'une eau souterraine est considéré comme bon lorsque les concentrations de certains polluants ne dépassent pas les normes de qualité environnementales propres aux eaux souterraines, avec en outre la vérification de l'absence d'intrusion d'eau salée due aux activités humaines. De plus, la masse d'eau souterraine ne doit pas empêcher l'atteinte des objectifs fixés pour les eaux de surface avec lesquelles elle est en contact.

Pour évaluer l'état chimique des eaux souterraines, deux types de paramètres sont pris en compte et l'état chimique de la masse d'eau correspondra à la valeur la plus pénalisante observée :

- le taux de nitrates ne doit pas dépasser 50 mg/l ;
- la contamination aux pesticides (substances actives des pesticides, ainsi que les métabolites et produits de dégradation et de réaction pertinents) ne doit pas dépasser 0,1 µg/l par molécule ou 0,5 µg/l toutes molécules confondues.

• *L'état quantitatif* est considéré comme bon lorsque les prélèvements destinés aux activités humaines ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible et que l'alimentation optimale en eau des écosystèmes aquatiques de surface et des zones humides directement dépendantes est assurée.

#### REMARQUE

La directive impose une obligation de résultat en vue de l'échéance de 2015. Si le bon état d'une masse d'eau ne peut être atteint, ou si le coût engendré est disproportionné au regard des bénéfices attendus, une dérogation (en durée ou en niveau d'objectif, dit objectif moins strict), dûment motivée, pourra être demandée. L'atteinte des objectifs ne pourra cependant pas être reportée à plus de deux périodes de six ans (premier report possible jusqu'à décembre 2021, dernier report possible jusqu'à décembre 2027). Pour les masses d'eau déclarées comme fortement modifiées ou artificielles et pour lesquelles le

bon état ne pourra être atteint, les objectifs de bon état pourront être revus à la baisse, mais il devra être recherché, dans tous les cas, un bon potentiel écologique dès 2015.

Dans tous les cas, le principe de non-détérioration de l'état des masses d'eau est applicable.

#### 2.4.3 Réseaux de mesures

Un réseau correspond à un ensemble de stations de mesure, sur une masse d'eau superficielle ou souterraine, répondant à une ou plusieurs finalités. Il doit respecter un ensemble de règles fixées dans un protocole établi par le Sandre<sup>(8)</sup>. Les réseaux de mesures ont tous des objectifs de connaissance, mais ils se distinguent par leur finalité :

- les réseaux patrimoniaux ou de connaissance générale permettent d'évaluer l'état général des eaux et les tendances ;
- les réseaux d'usage permettent, dans un cadre réglementaire, de contrôler l'aptitude de l'eau à un usage donné (eau potable, baignade, conchyliculture...) ;
- les réseaux d'impacts permettent d'évaluer la pression des activités polluantes (pesticides, nitrates...) et leurs impacts.

Pour les eaux souterraines, un réseau regroupe un ensemble de qualimètres ou de piézomètres dont la composition peut évoluer dans le temps. Dès 1960, l'organisation de l'acquisition régulière de données sur les eaux est engagée dans le cadre réglementaire du contrôle sanitaire des eaux destinées à l'alimentation en eau potable. Durant la période 1970-1985 est créée une vingtaine de réseaux

(8) Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau.

de connaissance dite patrimoniale, à différentes échelles (bassin, département, aquifère). La grande hétérogénéité des caractéristiques et modalités de ces réseaux a poussé à la création, en 1999, du réseau national de connaissance des eaux souterraines, définissant un protocole commun de suivi des nappes à l'échelle nationale.

Pour les eaux superficielles, un réseau comprend des stations de mesures des débits, de la physico-chimie et de la biologie, stations qui peuvent ou non être les mêmes. La loi de 1964 a fait du suivi de la qualité des eaux continentales une obligation légale, avec la mise en place d'un inventaire visant à établir le degré de pollution des eaux superficielles. Celui-ci a conduit, en 1971, au premier « inventaire national du degré de pollution », sur 957 stations de mesures, dont les 2/3 sont encore suivies aujourd'hui, permettant de disposer d'une bonne antériorité. Le réseau national a évolué, en 1987, prenant le nom de réseau national de bassin (RNB), avec plus de 1 500 stations de mesures. Pour pallier les manques en termes de densité ou de fréquence, des réseaux complémentaires de bassin (RCB) ont vu le jour.

Parallèlement au réseau national, des collectivités locales – surtout des départements ou des syndicats – ont créé pour leurs besoins propres des réseaux locaux sur un territoire administratif ou un bassin versant. L'importance du réseau, le nombre de paramètres analysés, la fréquence de prélèvements, leur densité, etc., sont très divers selon les réseaux, mais tous sont précieux pour l'apport de connaissance qu'ils permettent sur des cours d'eau non suivis nationalement.

Dans le cadre de la mise en place de la DCE, un programme de surveillance de la qualité des eaux a été mis en place pour le rapportage à la Commission européenne et remplace depuis 2007 le réseau national de bassin. D'une manière générale, la coordination est assurée par les Agences de l'eau, avec l'assistance des DREAL et de l'Onema (voir chapitre 3). Défini par l'arrêté modifié du 25 janvier 2010, ce programme de surveillance comporte notamment :

- Un *réseau de contrôle de surveillance* (RCS), réseau pérenne, utilisé pour caractériser et contrôler l'état global de la masse d'eau sur le long terme, et notamment à l'échelle européenne. En métropole, la densité des stations de contrôle de surveillance des eaux superficielles s'élève à environ une pour 315 km<sup>2</sup> de territoire. Pour les eaux souterraines, une masse d'eau est suivie en moyenne par 6 points de surveillance (valeur 2010).
- Un *réseau de contrôle opérationnel* (RCO) dont l'objectif est de suivre l'état des masses d'eau à risque de non atteinte du bon état ou bon potentiel (quelle que soit l'échéance fixée pour l'atteinte de cet objectif). Ce réseau est destiné à quantifier l'impact des pressions sur les masses d'eau et à évaluer l'efficacité des actions mises

en place. Ce réseau n'est pas pérenne et aurait vocation à disparaître une fois le retour au bon état ou au bon potentiel constaté. Chaque station est rattachée à un ou plusieurs enjeux à l'origine du risque ; le programme analytique est adapté à chaque enjeu.

#### REMARQUE

Même si des stations de mesures ont été conservées des réseaux nationaux précédents, la logique actuelle de répartition des stations de mesures poursuit aujourd'hui un objectif de « connaissance de l'état général » et non de « suivi de pollution » comme cela était considéré par le passé.

Pour les masses d'eau ne disposant pas de stations de mesures représentatives de la masse d'eau – et elles sont nombreuses, surtout sur les petites et très petites masses d'eau –, l'État considère qu'il faudra, pour caractériser leur état, faire appel à l'ensemble des informations disponibles, procéder par analogie avec des masses d'eau similaires, par modélisation des pressions ou encore s'appuyer sur du dire d'expert. Ce sont souvent des données ponctuelles obtenues lors d'études spécifiques pour la remise en état des cours, pour définir un rejet de station d'épuration, etc., qui devront être utilisées, avec toutes les précautions d'usage nécessaires. Les réseaux locaux devront aussi être mis à contribution.

#### 2.4.4 Évaluation de la qualité de l'eau par la comparaison avec les besoins des usages

L'évaluation de la qualité de l'eau suppose de disposer de valeurs de référence, puisqu'une eau chimiquement pure est impropre à la vie. De même, selon le type de cours d'eau, la notion de qualité peut être fondée sur des valeurs variables. De ce fait, plusieurs modalités ont été mises en œuvre depuis une cinquantaine d'années jusqu'aux principes actuels de la DCE.

Initialement, le principe a été de fixer un objectif compatible avec les besoins des usages de l'eau et secondairement avec la bonne fonctionnalité des milieux.

Suite à la grille d'évaluation de la qualité des eaux de 1971, dite multi-usages, et pour la compléter, il a été mis en place à partir de 1992 un système d'évaluation de la qualité (SEQ) reposant sur trois volets :

- la qualité de l'eau ;
- le milieu physique ;
- la qualité biologique.

Bien qu'aujourd'hui remplacé par le principe de l'atteinte du « bon état » (DCE), le SEQ-eau reste utilisé pour certains paramètres ou par certains maîtres d'ouvrage pour maintenir la cohérence avec leurs résultats antérieurs ; il est aussi présenté ici, car il permet de mieux comprendre les divers modes d'approches de l'appréciation de la qualité des eaux superficielles.

Il offre la possibilité de :

- constater l'aptitude de l'eau à satisfaire les usages et la biologie ;
- comparer cette aptitude avec les aptitudes souhaitées ;
- identifier les altérations qui posent prioritairement problème ;
- définir un objectif de restauration de la qualité ;
- suivre l'efficacité des politiques de reconquête des milieux.

Deux notions principales sont abordées par un ou plusieurs des trois volets cités ci-dessus :

- l'altération (pour le volet « eau »), qui quantifie la qualité de l'eau ;
- l'incidence de cette qualité sur les fonctions naturelles et les usages anthropiques.

Les altérations correspondent à des familles de paramètres quantifiant une pollution, chacun de même effet ou de même nature. Parmi les fonctions naturelles et les usages anthropiques, le SEQ-eau comporte la fonction « potentialités biologiques » qui exprime l'aptitude de l'eau à permettre les équilibres biologiques, ainsi que cinq usages :

- production d'eau potable,
- production d'eau de loisirs et de sports aquatiques,
- irrigation,
- abreuvement,
- aquaculture.

Chaque paramètre de chaque altération est confronté à des seuils qui permettent le classement en 5 classes de qualité, en fonction de l'aptitude à satisfaire les fonctions et les usages (tab. 2.8).

**Tab. 2.8. Classes de qualité de l'eau**

Classe	Qualité
Bleue	Très bonne
Verte	Bonne
Jaune	Passable
Orange	Mauvaise
Rouge	Très mauvaise

#### REMARQUE

Ces classes correspondent à peu près aux définitions de 1971, les seuils de certains paramètres ayant toutefois évolué (SEQ-eau V2, tab. 2.9). Quant aux classes d'aptitude, elles sont aussi au nombre maximal de 5 et vont également du bleu au rouge, c'est-à-dire d'une aptitude très bonne jusqu'à l'inaptitude (tab. 2.10).

Pour fonctionner, le SEQ-eau nécessite une certaine quantité de données (au moins 4 par an) que peuvent fournir les points de prélèvement des grands réseaux de mesures, situés sur les plus grands cours d'eau du territoire. Pour apprécier la qualité globale de l'eau, le principe

**Tab. 2.9. Classes d'aptitude à la fonction « potentialités biologiques » pour quelques paramètres en lien avec l'assainissement**

Paramètres (unité)	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Oxygène dissous (mg O <sub>2</sub> /l)	> 8	> 6	> 4	> 3	≥ 3
Taux de saturation en O <sub>2</sub> (%)	> 90	> 70	> 50	> 30	≤ 30
DCO (mg O <sub>2</sub> /l)	< 20	< 30	< 40	< 80	≥ 80
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	< 3	< 6	< 10	< 25	≥ 25
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	< 0,5	< 1,5	< 4	< 8	≥ 8
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	< 0,03	< 0,3	< 0,5	< 1	≥ 1
Pt (mg/l)	< 0,05	< 0,20	< 0,50	< 1	≥ 1
MES (mg/l)	< 25	< 80	< 100	< 150	≥ 150

est de retenir comme référence la qualité atteinte pendant 90 % du temps d'observation. Mais comme d'une manière générale, sur les cours d'eau de moyenne importance, les analyses ne s'effectuent pas en continu, ni ne sont toujours en nombre suffisant pour réaliser des calculs statistiques, il est souvent retenu la plus mauvaise valeur de la série pour caractériser chaque paramètre. Sur de petits cours d'eau, pas ou peu connus et qui doivent faire l'objet d'une approche qualitative et quantitative dans le cadre d'un projet, il est fréquent de ne disposer que d'un seul prélèvement, ne comprenant pas tous les paramètres définis dans le SEQ-eau. Une simple comparaison des résultats acquis avec les différentes classes de qualité est alors possible, tout comme une approche de la compatibilité avec les fonctions et les usages.

Malgré tout, des approches simplifiées de comparaison avec les bornes des classes de qualité continueront à coexister, car elles restent adaptées à des besoins précis, éventuellement sur des cours d'eau avec peu de données : elles permettent de répondre à des problématiques différentes que celle du rapportage officiel aux instances européennes.

#### 2.4.5 Évaluation de la qualité de l'eau par la comparaison avec les états de références

##### 2.4.5.1 État chimique des eaux superficielles

Au sens de la directive-cadre eau, l'objectif à atteindre est le « bon état » : du point de vue chimique, l'état sera « bon » ou « mauvais » en fonction des substances dangereuses ou toxiques, dites substances prioritaires pertinentes (33 substances figurant à l'annexe X, et 8



**Tab. 2.10. Classes d'aptitude aux usages et fonctions**

<b>Classes d'aptitude</b>	<b>Fonction « potentialités biologiques »</b>	<b>Usages</b>				
		<i>Production d'eau potable</i>	<i>Loisirs et sports aquatiques</i>	<i>Irrigation</i>	<i>Abreuvement</i>	<i>Aquaculture</i>
Bleu	Potentialité de l'eau à héberger un grand nombre de taxons polluosensibles, avec une diversité satisfaisante	Eau de qualité acceptable, mais pouvant nécessiter un traitement de désinfection	Eau de qualité optimale pour les loisirs et sports aquatiques	Eau permettant l'irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols	Eau permettant l'abreuvement de tous les animaux, y compris les plus sensibles	Eau apte à tous les élevages, y compris la production des œufs et l'élevage des alevins et adultes d'espèces sensibles (salmonidés)
Vert	Potentialité de l'eau à provoquer la disparition de certains taxons polluosensibles, avec une diversité satisfaisante	Eau nécessitant un traitement simple	–	Eau permettant l'irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols	–	–
Jaune	Potentialité de l'eau à réduire de manière importante le nombre de taxons polluosensibles avec une diversité satisfaisante	Eau nécessitant un traitement classique	Eau de qualité acceptable pour les loisirs et sports aquatiques, mais nécessitant une surveillance accrue	Eau permettant l'irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins ou neutres	Eau permettant l'abreuvement des animaux matures, moins vulnérables ; surveillance accrue nécessaire	Eau apte à tous les poissons adultes peu sensibles
Orange	Potentialité de l'eau à réduire de manière importante le nombre de taxons polluosensibles, avec une réduction de la diversité	Eau nécessitant un traitement complexe	–	Eau permettant l'irrigation des plantes très tolérantes ou des sols alcalins ou neutres	–	–
Rouge	Potentialité de l'eau à réduire de manière importante le nombre de taxons polluosensibles ou à les supprimer, avec une diversité très faible	Eau inapte à la production d'eau potable	Eau inapte à tous les loisirs et sports aquatiques	Eau inapte à l'irrigation	Eau inapte à l'abreuvement des animaux	Eau inapte à une utilisation directe en aquaculture

à l'annexe IX de la directive, voir liste ci-après). Les valeurs seuils sont les normes de qualité environnementale (NQE), présentées en moyenne annuelle (MA) et en concentration maximale admissible (CMA). Selon la catégorie de stations de mesures (voir § 2.4.3), il est réalisé un diagnostic complet tous les 3 ans (RCS) ou un suivi des substances déclassantes, après un bilan initial complet (RCO).

Les modalités de prise en compte des résultats sont fixées au niveau communautaire, prévoyant de regrouper les 41 paramètres en quatre familles différentes :

- les *pesticides* (13 paramètres) : alachlore, atrazine, chlorfenvinphos, éthylchlorpyrifos, diuron, endosulfan, hexachlorobenzène, hexachlorocyclohexane, isoproturon, pentachlorobenzène, pentachlorophénol, simazine, trifluraline ;
- les *métaux lourds* (4 paramètres) : cadmium, mercure, nickel, plomb, et les composés de ces métaux ;
- les *polluants industriels* (18 paramètres) : anthracène, benzène, C10-13-chloroalcane, chloroforme, 1,2-dichloroéthane, dichlorométhane, diphényléther bromé, di(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP), naphthalène, nonylphénol, octylphénol, tributylétain, HAP (benzo(b,k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène et indeno(1,2,3-cd)pyrène, fluoranthène), trichlorobenzène, hexachlorobutadiène ;
- les *autres polluants* (6 paramètres) : DDT total, para-para-DDT, pesticides cyclodiènes (aldrine, dieldrine, endrine, isodrine), tétrachloréthylène, trichloroéthylène, tétrachlorure de carbone.

#### COMMENTAIRE

La présence ou non des HAP – notamment benzo(g,h,i)pérylène et indeno(1,2,3-cd)pyrène – et des phtalates (DEHP) est à l'origine de déclassements généralisés de très nombreux cours d'eau, aussi bien à l'échelle française qu'europpéenne. Il s'agit d'apports extrêmement diffus, non liés à des rejets ponctuels facilement identifiables (voir chapitre 8). Aussi a-t-il été statué au niveau européen sur une dérogation d'objectif d'atteinte du bon état pour ces substances (2021 pour le DEHP et 2027 pour les HAP).

Pour chaque station de mesure, on fait un bilan indiquant dans chaque famille de polluants le pourcentage de paramètres en état « bon », « mauvais » et « inconnu », ainsi que l'état de la famille, qui sera :

- mauvais, à partir du moment où *un* paramètre de la famille est en mauvais état ;
- bon si tous les paramètres de la famille sont en état bon ou inconnu ;
- inconnu si tous les paramètres de la famille sont en état inconnu.

#### 2.4.5.2 Qualité physico-chimique d'une masse d'eau

Il s'agit des paramètres physico-chimiques soutenant la biologie (invertébrés, diatomées, poissons, etc.) permet-

tant de viser le bon état écologique d'un cours d'eau. Le guide relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) établi par le ministère chargé de l'environnement en décembre 2012, reprend, en les précisant, les principes généraux des objectifs environnementaux. Il donne notamment les divers seuils des nouvelles classes de qualité des paramètres physico-chimiques (utilisés régulièrement dans le domaine de l'assainissement) pour l'atteinte du « bon état écologique » (tab. 2.11).

Pour les polluants spécifiques synthétiques et non synthétiques, qui s'ajoutent aux paramètres du tableau 2.11 pour définir l'état écologique du cours d'eau, il n'y a que deux classes, « bon » et « mauvais ». Les seuils figurent au tableau 2.12. Pour les métaux, l'État doit définir le bruit de fond géochimique (bfg), qui doit s'ajouter à la NQE fixée. À ce jour, ce paramètre, différent pour tous les bassins versants car dépendant notamment de la géologie, n'a été établi qu'en de très rares endroits, ce qui pénalise les interprétations des résultats obtenus.

Un élément de qualité physico-chimique général, pour lequel plusieurs paramètres interviennent, sera considéré comme bon (ou très bon) lorsque les trois conditions suivantes sont réunies :

- tous les éléments biologiques et les autres éléments physico-chimiques sont classés dans un état bon (ou très bon) ;
- un seul paramètre est déclassant pour cet élément de qualité ;
- la valeur observée du paramètre déclassant ne dépasse pas la valeur seuil fixée pour ce paramètre à la limite de la classe immédiatement inférieure.

#### 2.4.5.3 État hydrobiologique d'une masse d'eau

Déterminer l'état de pollution d'un cours d'eau et son évolution reste difficile, notamment sur les rivières qui ne font pas l'objet d'un suivi régulier. La qualité de l'eau d'une rivière est en effet variable dans le temps. Par exemple, à l'échelle d'une journée, des phénomènes naturels comme la photosynthèse influent sur la teneur en oxygène dissous. Par ailleurs, les rejets varient de façon aléatoire ou cyclique, en fonction des rythmes des activités humaines. Le débit du cours d'eau peut en outre être très variable et avoir une influence sur la qualité.

Quelques mesures par an ne donnent qu'une idée très globale de la qualité moyenne. Cette qualité ne peut être évaluée de manière satisfaisante qu'aux points où la fréquence des mesures est au moins mensuelle. Pour les autres points, la solution est de rassembler les résultats recueillis sur plusieurs années, afin de limiter les risques d'erreurs. Les approches de type SEQ-eau, etc., restent parfois insuffisantes du fait du manque de données.

**Tab. 2.11. État écologique des cours d'eau : paramètres physico-chimiques généraux**

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état				
	<i>Très bon</i>	<i>Bon</i>	<i>Moyen</i>	<i>Médiocre</i>	<i>Mauvais</i>
<i>Bilan de l'oxygène</i>					
Oxygène dissous (mg O <sub>2</sub> /l)	> 8	De 8 à 6	De 6 à 4	De 4 à 3	< 3
Taux de saturation en O <sub>2</sub> dissous (%)	> 90	De 90 à 70	De 70 à 50	De 50 à 30	< 30
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /l)	< 3	De 3 à 6	De 6 à 10	De 10 à 25	> 25
Carbone organique dissous (mg C/l)	< 5	De 5 à 7	De 7 à 10	De 10 à 15	> 15
<i>Température (°C)</i>					
Eaux salmonicoles	< 20	De 20 à 21,5	De 21,5 à 25	De 25 à 28	> 28
Eaux cyprinicoles	< 24	De 24 à 25,5	De 25,5 à 27	De 27 à 28	> 28
<i>Nutriments</i>					
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l)	< 0,1	De 0,1 à 0,5	De 0,5 à 1,0	De 1,0 à 2,0	> 2,0
Phosphore total (mg Pt/l)	< 0,05	De 0,05 à 0,2	De 0,2 à 0,5	De 0,5 à 1,0	> 2,0
NH <sub>4</sub> (mg NH <sub>4</sub> /l)	< 0,1	De 0,1 à 0,5	De 0,5 à 2,0	De 2,0 à 5,0	> 5,0
NO <sub>2</sub> (mg NO <sub>2</sub> /l)	< 0,1	De 0,1 à 0,3	De 0,3 à 0,5	De 0,5 à 1,0	> 1,0
NO <sub>3</sub> (mg NO <sub>3</sub> /l)	< 10	De 10 à 50	–	–	–
<i>Acidification</i>					
pH minimum	> 6,5	De 6,5 à 6	De 6 à 5,5	De 5,5 à 4,5	< 4,5
pH maximum	< 8,2	De 8,2 à 9	De 9 à 9,5	De 9,5 à 10	> 10
Pour la salinité (conductivité, chlorures et sulfates), il n'y a pas, à ce jour, de valeurs établies à ce stade des connaissances ; il en est de même pour les classes « moyen » à « mauvais » pour les nitrates.					

**Tab. 2.12. État écologique des cours d'eau : paramètres physico-chimiques spécifiques**

Polluants spécifiques non synthétiques	NQE-MA (µg/l)	
Zinc dissous (dureté > 24 mg CaCO <sub>3</sub> /l)	7,8	+ bfg
Cuivre dissous	1,4	+ bfg
Chrome dissous	3,4	+ bfg
Arsenic dissous	4,2	+ bfg
Polluants spécifiques synthétiques	NQE-MA (µg/l)	
Chlortoluron	5,00	
Oxadiazon	0,75	
Linuron	1,00	
2,4 D	1,50	
2,4 MCPA	0,10	

En outre, la pollution est multiforme : une bonne connaissance de la qualité de l'eau nécessiterait la détermination d'un grand nombre d'éléments. Pour des raisons de coût, l'analyse est limitée aux paramètres fondamentaux. Les éléments toxiques comme les cyanures, le mercure et le chrome ne sont recherchés qu'occasionnellement.

Malgré les grilles de qualité, l'expérience et la connaissance acquises sur les écosystèmes, la synthèse des divers types de pollution reste une entreprise difficile. Les substances polluantes rejetées dans le milieu naturel sont de plus en plus nombreuses et toutes ne peuvent pas faire l'objet d'analyses spécifiques. Certains polluants agissent à de très faibles doses, quelquefois sous les seuils de détection analytique.

D'autres approches ont donc été tentées, partant de la mesure non plus d'un ou de plusieurs paramètres, mais de leurs effets sur le monde vivant. C'est ainsi que se sont développés les indices biologiques.

Les organismes vivants intègrent les variations de la qualité de l'eau sur des périodes plus ou moins longues. La biologie nous renseigne sur l'impact de la pollution sur le monde vivant, et la physico-chimie nous informe en partie sur les paramètres responsables de cet impact : ces deux approches sont complémentaires. La stricte analyse des paramètres physico-chimiques n'est pas suffisante pour appréhender l'état d'une rivière ; elle ne représente qu'une photographie instantanée, prise au moment du prélèvement. En revanche, l'analyse hydrobiologique, par l'étude et le dénombrement de la macrofaune, permet d'établir une sorte d'historique de la rivière.

Aujourd'hui, l'objectif de « bon état » d'une masse d'eau est fortement dépendant de sa qualité biologique.

Plusieurs types d'indices biologiques, parmi un grand nombre existant, ont été retenus par la DCE :

- IBGN et IBGA : concernant les invertébrés aquatiques ;
- IBD : concernant les diatomées ;
- IPR : concernant les poissons.

#### Indice biologique global normalisé

La définition de l'indice biologique global normalisé (IBGN) repose sur le principe de détermination et de quantification des espèces d'invertébrés présentes dans la rivière.

#### **NORME**

NF T 90-350 (mars 2004, indice de classement T 90-350) : Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN).

Cela consiste à caractériser et à dénombrer les invertébrés (insectes, crustacés, mollusques, vers, larves, etc.) dans le fond du cours d'eau. Un échantillon sur site doit être constitué de 8 prélèvements effectués sur des habitats distincts, chacun étant caractérisé par la vitesse du courant et la matière du fond. La présence ou l'absence dans l'échantillon de 135 espèces (taxons<sup>(9)</sup>) recensées dans une liste officielle est étudiée et, grâce à la connaissance de la sensibilité de celles-ci à la pollution, un diagnostic d'état argumenté peut être émis.

La figure 2.11 illustre que la diversité des espèces décroît fortement avec l'augmentation de la pollution.

La norme reste très stricte, notamment en ce qui concerne la turbidité de l'eau, la profondeur, etc. Cela rend son application difficile, voire impossible sur certains cours d'eau : l'expertise de l'opérateur est alors d'autant plus utile pour recueillir un avis, pas nécessairement normalisé, mais illustré par l'expérience et par la connaissance globale de la vie des cours d'eau. Notamment pour le cours inférieur des grands cours d'eau, il a été développé un protocole de l'indice biologique global adapté aux grands cours d'eau (IBGA). Cette méthode, dérivée de l'IBGN, répond mieux aux spécificités des rivières larges et profondes pour lesquelles le protocole de l'IBGN ne pouvait pas toujours être respecté scrupuleusement.

Ces indices établis depuis de nombreuses années ne correspondaient pas aux exigences de la DCE, en raison de l'absence de prise en compte de certains facteurs spécifiques et d'une impossibilité de comparaison avec les méthodes utilisées par d'autres pays. Aussi les protocoles et modes opératoires ont-ils été modifiés et harmonisés

au niveau européen, entraînant des IBGN-DCE et des IBGA-DCE.

L'opération se déroule comme suit :

- prélèvement de la macrofaune benthique (diamètre supérieur à 500 µm), par site, selon un protocole d'échantillonnage tenant compte des différents types d'habitats, définis par la nature du support et la vitesse d'écoulement. Dans le cas de l'IBGA, les prélèvements se font sur des substrats superficiels installés environ 3 à 6 semaines auparavant ;
- tri et identification des invertébrés prélevés afin de déterminer leur variété et ses indicateurs.

Les IBGN et IBGA permettent de caractériser les perturbations d'un cours d'eau par leurs effets sur une faune plus ou moins sensible ou tolérante aux pollutions. La qualité d'accueil des habitats pour ces macro-invertébrés influence aussi beaucoup le calcul des indices.

Ils aboutissent au calcul d'une note globale de qualité biologique de l'écosystème (sur 20) liée à la sensibilité des organismes présents sur une station (représentée par le groupe faunistique indicateur) et à l'habitabilité du milieu (représentée par la variété taxonomique).

Le classement d'une masse d'eau parmi les cinq classes de qualité (de très bon à mauvais) dépend de la typologie nationale des cours d'eau. Ceux-ci sont fondés sur la régionalisation des écosystèmes aquatiques par hydroécorégions (selon le relief, la géologie et le climat du bassin versant) croisée avec des classes de tailles de cours d'eau. Par exemple, dans l'hydroécorégion Plaine-Saône, les cours d'eau moyens à petits doivent avoir une note d'IBGN comprise entre 12 et 14 pour être « DCE compatibles ». Toutefois, dans ce secteur, les cours d'eau provenant du Massif central doivent présenter une note entre 15 et 17. Le tableau 2.13 montre, selon la taille du cours d'eau, les classes de qualité pour le cas général de l'hydroécorégion n° 9 « tables calcaires » (correspondant à une grande partie nord centrale de la France).

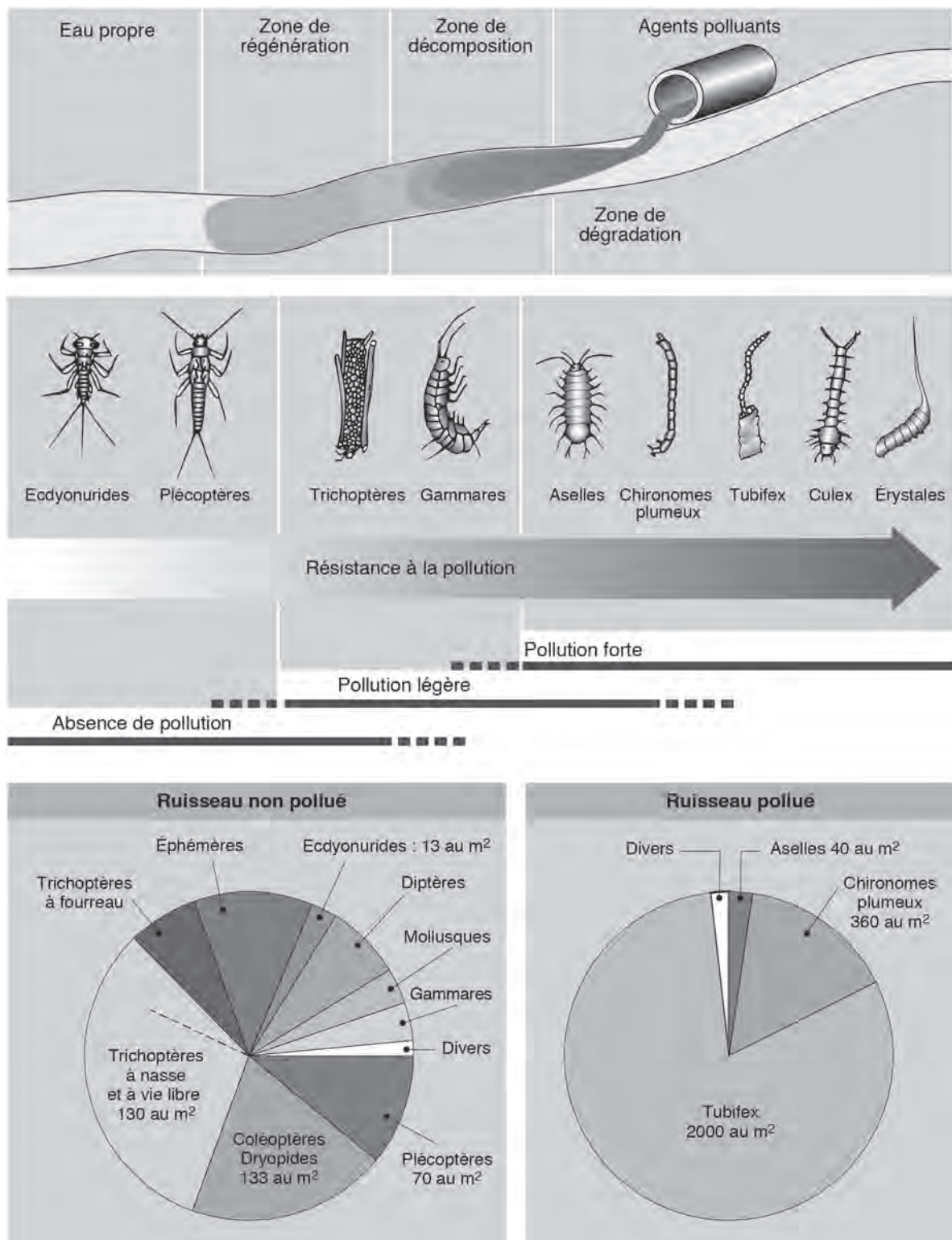
#### Indice biologique diatomée

Sur les canaux ou rivières canalisées, la détermination de l'IBGN est impossible du fait de l'artificialisation des fonds par l'homme, qui empêche la vie normale des invertébrés. Ainsi, pour son usage spécifique, l'Agence de l'eau Artois-Picardie a développé une méthodologie d'indices biologiques fondée sur les diatomées et une norme spécifique, dite indice biologique diatomées (IBD), a été édictée. Cet indice vient en complément de l'IBGA décrit ci-dessus.

#### **NORME**

NF T 90-354 (décembre 2007, indice de classement T 90-354) : Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD).

(9) Groupe d'organismes vivants qui descendent d'un même ancêtre et qui ont certains caractères communs.



**Fig. 2.11. Pollution du ruisseau et ses conséquences** (source : Georges Chauvin, *La Vie dans les ruisseaux*)



Les diatomées sont des algues microscopiques qui donnent aux cailloux des cours d'eau une coloration brune. Il en existe plus de 7 000 espèces. Leur taille varie de quelques microns à plusieurs centaines de microns. Elles constituent un excellent outil d'investigation car elles existent partout, des sources aux estuaires ainsi qu'en milieu marin. Elles sont faciles à échantillonner, y compris dans les milieux difficiles comme les canaux, et reflètent d'abord la qualité de l'eau. Elles comprennent de nombreuses formes adaptées à tous les niveaux de pollution.

Pour chaque point de prélèvement, un minimum de 400 individus est dénombré et identifié. Ces comptages donnent lieu à des inventaires synthétisés par le calcul d'un indice de qualité diatomique : l'indice de polluosensibilité spécifique (IPS). Cet indice prend en compte l'abondance relative des différentes espèces rencontrées, leur sensibilité à la pollution et leur intérêt en tant qu'indicateurs de qualité.

De la même façon que l'IBGN, l'IBD peut varier de 1 à 20 et les notes s'insèrent dans la répartition en cinq classes de qualité, le classement d'une masse d'eau en 5 classes dépend de la taille du cours d'eau concerné et de l'hydro-écorégion où il se situe.

#### Indice poissons rivière

Il est aussi possible d'évaluer la qualité d'un cours d'eau en dénombrant les poissons présents sur un site bien particulier. La pêche électrique, que seuls des agents assermentés sont habilités à réaliser, est alors pratiquée. Connaissant les conditions optimales de vie de chaque espèce, le nombre de poissons différents et de jeunes est une bonne indication, puisque la méthode permet de collecter tous les individus d'un même site (sur 10 à 20 m de rivière).

La mise en œuvre de l'indice poissons rivière (IPR) consiste à mesurer l'écart entre la composition du peuplement sur une station donnée, observée à partir d'un échantillonnage par pêche électrique, et la composition du peuplement attendue en situation de référence, c'est-à-dire dans des conditions très peu ou pas modifiées par l'homme. Plus la valeur de l'indice est élevée, plus la rivière est dégradée : le résultat « DCE compatible » doit être compris inférieur à 16.

#### NORME

NF T 90-344 (mai 2004, indice de classement T 90-344) : Qualité de l'eau – Détermination de l'indice poissons rivière (IPR).

Contrairement aux autres indices, une note élevée est signe de mauvaise qualité. Cet indice, s'attachant à des organismes d'une taille certaine (par rapport aux IBGN et IBD), peut montrer des variations importantes d'une année sur l'autre même si les autres conditions physico-chimiques ou hydromorphologiques n'ont pas significativement varié. Une grande vigilance est donc de mise sur ce paramètre, d'autant qu'un mauvais IPR décline instantanément une rivière dont les états physico-chimique et chimique restent par ailleurs régulièrement stables.

Les éventuelles nécroses ou lésions sur les nageoires et branchies permettent des constatations complémentaires.

#### REMARQUE

L'IPR est un outil global qui fournit une évaluation synthétique de l'état des peuplements de poissons. Il ne peut en aucun cas se substituer à une étude détaillée destinée à préciser les impacts d'une perturbation donnée.

Il existe d'autres indices hydrobiologiques, non pris en compte dans l'atteinte de l'état écologique suivant la DCE.

#### Indice oligochètes de bio-indication des sédiments (IOBS)

Cet indice IOBS a pour but de décrire la qualité biologique des sédiments fins ou sableux, permanents ou stables, des cours d'eau ou des canaux. Il indique des tendances fortes sur l'incidence écologique des rejets polluants (charge organique, micropolluants organiques et métalliques). La classe des oligochètes se compose de vers annelés, la plupart terrestres, souvent aquatiques. Ceux utilisés dans la détermination de l'indice sont des vers aquatiques dont la taille est souvent inférieure à 0,5 cm. Ils s'avèrent particulièrement utiles pour l'évaluation de la toxicité des sédiments contaminés. Cet indice est basé sur la description et le comptage de taxons d'oligochètes à développement strictement aquatique et généralement peu mobiles.

#### NORME

NF T 90-390 (avril 2002, indice de classement T 90-390) : Qualité de l'eau – Détermination de l'indice oligochètes de bio-indication des sédiments (IOBS).

**Tab. 2.13. Exemple de définition des classes de qualité pour l'IBGN**

Classe d'IBGN	Classe de qualité				
	<i>Très bon</i>	<i>Bon</i>	<i>Moyen</i>	<i>Médiocre</i>	<i>Mauvais</i>
Cours d'eau de taille moyenne	$20 \leq \text{IBG} \leq 14$	$14 < \text{IBG} \leq 12$	$12 < \text{IBG} \leq 9$	$9 < \text{IBG} \leq 5$	$5 < \text{IBG} \leq 0$
Cours d'eau de taille petite	$20 \leq \text{IBG} \leq 16$	$16 < \text{IBG} \leq 14$	$14 < \text{IBG} \leq 10$	$10 < \text{IBG} \leq 6$	$6 < \text{IBG} \leq 0$

### Indice biologique macrophytique en rivière

L'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR) est de plus en plus utilisé : il est fondé sur l'examen des plantes aquatiques<sup>(10)</sup> pour déterminer la qualité de la rivière et plus particulièrement son degré d'eutrophisation lié aux teneurs d'azote et de phosphore dans l'eau. Cet indice prend également en compte les caractéristiques physiques du milieu, comme l'intensité de l'éclairement et des écoulements.

#### NORME

NFT 90-395 (octobre 2003, indice de classement T 90-395) : Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)

#### 2.4.6 Protection et renaturation des cours d'eau

Outre les actions à engager impérativement pour obtenir le bon état chimique et rechercher le bon état écologique, d'autres mesures, davantage liées à la qualité de l'accueil du cours d'eau pour les organismes aquatiques, en particulier à l'hydromorphologie (voir § 2.1.1.1), doivent être menées. Progressivement, les Agences de l'eau conditionnent leurs aides sur l'assainissement à des actions concrètes de renaturation des cours d'eau, à l'exemple des actions suivantes.

- Pour le *régime hydrologique* :
  - respect ou rétablissement de débits minimums d'étiage (en général, de l'ordre du dixième du module interannuel) ;
  - maintien ou restauration de crues morphogènes (débit de plein bord) à des fréquences de retour acceptables (de l'ordre de 1,5 à 2 ans) ;
  - maintien de la connexion avec les eaux souterraines.
- Pour la *continuité de la rivière* :
  - rétablissement des possibilités de circulation (montaison et dévalaison) des organismes aquatiques à des échelles spatiales compatibles avec leur cycle de développement et de survie durable dans l'écosystème ;
  - rétablissement des flux de sédiments nécessaires au maintien ou au recouvrement des conditions d'habitat des communautés, correspondant au bon état.
- Pour les *conditions morphologiques* :
  - rétablissement ou maintien d'un tracé en plan et de conditions de connectivité latérales du cours d'eau avec ses milieux annexes (prairies inondables, zones humides, bras morts, etc.), permettant d'assurer à ces communautés les conditions d'habitat nécessaires à leur développement et à leur survie durable (en particulier granulométrie des fonds, vitesses de courant, hauteur d'eau) ;
  - rétablissement ou maintien d'un état des berges et de la végétation riveraine compatibles avec le développement et la survie des organismes, correspondant au bon état écologique.

(10) Macrophytes : plantes supérieures, plantes à fleurs, mousses, algues.



---

# Table des matières

---

Sommaire .....	5
Avant-propos .....	7
Liste des sigles et des abréviations .....	9

<b>Partie 1</b>	<b>Données fondamentales</b> .....	13
<b>1</b>	<b>L'assainissement des agglomérations</b> .....	15
1.1	Un regard global sur l'assainissement en France .....	16
1.2	Situation des équipements d'assainissement en Europe .....	18
1.3	Responsabilité des collectivités locales en matière d'assainissement .....	20
1.4	Structure d'un système d'assainissement .....	20
1.5	L'assainissement, un système en perpétuelle évolution .....	21
<b>2</b>	<b>Le milieu naturel dit « milieu récepteur »</b> .....	23
2.1	Un milieu vivant .....	24
2.1.1	Ruisseaux, rivières et fleuves .....	25
2.1.2	Lacs et canaux .....	29
2.1.3	Eaux marines .....	31
2.2	Usages de l'eau .....	31
2.2.1	Interdépendance des usages de l'eau .....	31
2.2.2	Répartition des usages .....	32
2.3	Modification des milieux sous l'effet des pollutions .....	33
2.3.1	Qu'est-ce que la pollution ? .....	33
2.3.2	Pollutions physico-chimiques .....	34
2.3.3	Pollutions microbiologiques .....	36
2.3.4	Pollution des sédiments .....	36
2.3.5	Eutrophisation .....	37
2.3.6	Modélisation .....	39
2.4	Gestion globale de l'eau et des milieux aquatiques .....	41
2.4.1	Définition d'une masse d'eau .....	41

2.4.2	Objectifs de qualité des eaux .....	41
2.4.3	Réseaux de mesures .....	44
2.4.4	Évaluation de la qualité de l'eau par la comparaison avec les besoins des usages .....	45
2.4.5	Évaluation de la qualité de l'eau par la comparaison avec les états de références .....	46
2.4.6	Protection et renaturation des cours d'eau .....	53
<b>3</b>	<b>Organisation et réglementation .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1</b>	<b>Organisation hydrographique .....</b>	<b>55</b>
3.1.1	Agences de l'eau .....	55
3.1.2	Établissement public territorial de bassin .....	58
3.1.3	Établissement public d'aménagement et de gestion des eaux .....	58
3.1.4	Commissions locales de l'eau .....	58
<b>3.2</b>	<b>Organisation administrative : l'État .....</b>	<b>58</b>
3.2.1	Niveau national .....	59
3.2.2	Niveau régional .....	60
3.2.3	Niveau départemental .....	61
<b>3.3</b>	<b>Organisation administrative : les régions .....</b>	<b>62</b>
<b>3.4</b>	<b>Organisation administrative : les départements .....</b>	<b>62</b>
3.4.1	Services des conseils départementaux .....	62
3.4.2	Satase .....	62
<b>3.5</b>	<b>Organisation administrative : les communes ou les intercommunalités .....</b>	<b>63</b>
3.5.1	Compétences .....	63
3.5.2	Pouvoirs de police .....	64
3.5.3	Obligations de la commune .....	64
3.5.4	Redevance assainissement .....	65
3.5.5	Information et transparence .....	66
<b>3.6</b>	<b>Législation française et européenne .....</b>	<b>66</b>
3.6.1	Textes fondateurs .....	66
3.6.2	Prescriptions d'ordre général : le Code général des collectivités territoriales .....	69
3.6.3	Prescriptions détaillées : l'arrêté ministériel du 21 juillet 2015 .....	69
3.6.4	Principales circulaires d'application .....	80
3.6.5	Principe de la réutilisation des eaux usées traitées .....	81
3.6.6	Raccordements et déversements dans un système d'assainissement : Code de la santé publique .....	81
3.6.7	Gestion des boues d'épuration .....	85
3.6.8	Cas particulier des eaux pluviales .....	86
3.6.9	Assainissement non collectif .....	87
3.6.10	Déversements dans le milieu naturel : Code de l'environnement .....	88
3.6.11	Études d'impact – Évaluation environnementale .....	89
3.6.12	Autres réglementations connexes à l'assainissement .....	93
<b>3.7</b>	<b>Clauses générales et normalisation .....</b>	<b>94</b>
3.7.1	CCAG et fascicules du CCTG .....	94
3.7.2	CCAG-PI .....	96
3.7.3	Normalisation dans le domaine de l'assainissement .....	97



3.7.4	DTU.....	98
3.7.5	Chartes qualité.....	98
<b>4</b>	<b>Systèmes de collecte des eaux usées et des eaux pluviales.....</b>	<b>99</b>
<b>4.1</b>	<b>Définition des divers systèmes.....</b>	<b>99</b>
4.1.1	Système unitaire.....	99
4.1.2	Système séparatif.....	102
4.1.3	Système pseudo-séparatif.....	102
4.1.4	Système hybride ou composite.....	103
4.1.5	Systèmes non gravitaires.....	103
4.1.6	Systèmes non collectifs.....	104
<b>4.2</b>	<b>Choix de configuration.....</b>	<b>105</b>
4.2.1	Types de schémas.....	105
4.2.2	Critères influant sur le choix des systèmes.....	105
<b>5</b>	<b>Analyses de sites : contextes physiques, hydrologiques et humains.....</b>	<b>109</b>
<b>5.1</b>	<b>Morphologie du bassin versant et topographie.....</b>	<b>109</b>
<b>5.2</b>	<b>Pédologie et géotechnique.....</b>	<b>109</b>
5.2.1	Perméabilité.....	110
5.2.2	Résistance des sols et géotechnique.....	113
<b>5.3</b>	<b>Hydrogéologie et régime des nappes.....</b>	<b>114</b>
5.3.1	Circulations superficielles des eaux.....	114
5.3.2	Régime des nappes souterraines.....	114
<b>5.4</b>	<b>Hydrographie et influence des marées.....</b>	<b>115</b>
5.4.1	Cours d'eau.....	115
5.4.2	Lac et étang.....	115
5.4.3	Bord de mer.....	115
<b>5.5</b>	<b>Climat et pluviométrie.....</b>	<b>116</b>
5.5.1	Climat et état hydrique des sols.....	116
5.5.2	Pluviométrie et précipitations.....	116
5.5.3	Sites météorologiques et répartition spatiale.....	119
5.5.4	Réseau météorologique de la couverture radar.....	119
<b>5.6</b>	<b>Hydrologie.....</b>	<b>121</b>
5.6.1	Principes d'analyse hydrologique.....	121
5.6.2	Principes d'analyse orientée.....	122
5.6.3	Intensité, durée, fréquence (IDF).....	127
5.6.4	Construction des pluies de projet.....	133
<b>5.7</b>	<b>Contexte urbain et industriel, occupation des sols.....</b>	<b>136</b>
5.7.1	Vocation de certaines agglomérations.....	136
5.7.2	Mode d'occupation des sols.....	137
<b>5.8</b>	<b>Contextes de préservation et de protection des milieux et des ressources.....</b>	<b>140</b>

5.8.1	Imperméabilisation et risques associés .....	140
5.8.2	Facteurs d'érosion .....	140
<b>6</b>	<b>Aspect quantitatif des eaux usées .....</b>	<b>143</b>
<b>6.1</b>	<b>Spécificités des territoires .....</b>	<b>143</b>
6.1.1	Types d'agglomération .....	143
6.1.2	Catégories d'occupation des sols .....	144
<b>6.2</b>	<b>Débits et volumes d'eaux usées domestiques .....</b>	<b>145</b>
6.2.1	Approches théoriques fondées sur la taille des logements .....	145
6.2.2	Évaluation sur la base des consommations d'eau .....	146
6.2.3	Urbanisation existante : évaluation des débits d'eaux usées .....	147
6.2.4	Urbanisation nouvelle : évaluation des débits d'eaux usées .....	147
6.2.5	Évaluation des coefficients de pointe en assainissement .....	149
<b>6.3</b>	<b>Débits et volumes d'eaux usées autres que domestiques .....</b>	<b>150</b>
6.3.1	Consommation d'eau des activités, assimilée à un usage domestique .....	150
6.3.2	Consommation d'eau des activités d'usage non domestique .....	152
6.3.3	Évaluation des débits d'une zone d'activités projetée .....	153
6.3.4	Quelques valeurs de débits pour quelques zones d'activités .....	156
<b>7</b>	<b>Aspect quantitatif des eaux pluviales .....</b>	<b>157</b>
<b>7.1</b>	<b>Antécédents logiques et concepts .....</b>	<b>157</b>
<b>7.2</b>	<b>Transformation pluie-débit .....</b>	<b>157</b>
<b>7.3</b>	<b>Variabilité spatio-temporelle des composantes hydrologiques .....</b>	<b>158</b>
7.3.1	Adéquation des modèles de pluie .....	159
7.3.2	Temps de concentration .....	160
7.3.3	Coefficient de ruissellement dans le temps .....	162
7.3.4	Capacité d'infiltration .....	163
<b>7.4</b>	<b>Méthode rationnelle .....</b>	<b>163</b>
7.4.1	Aire d'impluvium .....	165
7.4.2	Temps de parcours .....	165
7.4.3	Intensité décroissante de l'averse .....	166
7.4.4	Utilisation de la méthode rationnelle à la génération du débit de pointe .....	166
7.4.5	Utilisation de la méthode rationnelle à une pluie d'intensité variable .....	168
<b>7.5</b>	<b>Méthode du SCS et du curve number .....</b>	<b>168</b>
<b>7.6</b>	<b>Méthode superficielle .....</b>	<b>173</b>
7.6.1	Temps de concentration ( $t_1$ et $t_2$ ) .....	173
7.6.2	Formule générale d'expression du débit maximal .....	174
7.6.3	Utilisation de la formule superficielle selon la circulaire n° 77-284/INT .....	174
7.6.4	Définition et influence des divers paramètres des formules superficielles .....	176
7.6.5	Limites d'application .....	182
<b>7.7</b>	<b>Résolution des grands bassins versants .....</b>	<b>183</b>

<b>7.8</b>	<b>Méthode Socose</b> .....	186
7.8.1	Principe de la méthode.....	187
7.8.2	Exemples d'application.....	189
<b>7.9</b>	<b>Méthode mécaniste</b> .....	190
<b>7.10</b>	<b>Méthode conceptuelle</b> .....	190
7.10.1	Modèle du réservoir linéaire.....	191
7.10.2	Modèle à réservoirs linéaires en série.....	192
7.10.3	Modèle à réservoir non linéaire.....	193
7.10.4	Modèle de Muskingum.....	195
7.10.5	Modèle de Barré de Saint-Venant.....	195
7.10.6	Modèle distribué ou hortonien.....	196
7.10.7	Exemple réel et calculs comparatifs.....	196
<b>8</b>	<b>Aspect qualitatif des eaux usées et pluviales</b> .....	199
<b>8.1</b>	<b>Définition des paramètres</b> .....	199
8.1.1	Paramètres physico-chimiques.....	199
8.1.2	Produits toxiques ou dangereux.....	203
8.1.3	Paramètres microbiologiques.....	205
<b>8.2</b>	<b>Qualité des eaux usées domestiques</b> .....	206
8.2.1	Paramètres physico-chimiques classiques.....	207
8.2.2	Matières dangereuses ou toxiques.....	208
8.2.3	Paramètres microbiologiques.....	209
<b>8.3</b>	<b>Qualité des eaux pluviales</b> .....	210
8.3.1	Modalités de contamination des eaux pluviales.....	210
8.3.2	Pollution par la DCO et les MES.....	210
8.3.3	Pollution par les métaux lourds.....	211
8.3.4	Pollution par les hydrocarbures.....	211
8.3.5	Pollution par les PCB et les alkylphénols.....	212
8.3.6	Pollution par les pesticides.....	212
8.3.7	Pollution microbiologique.....	212
<b>8.4</b>	<b>Qualité des eaux unitaires par temps de pluie</b> .....	213
<b>8.5</b>	<b>Effluents assimilés domestiques</b> .....	214
8.5.1	Restaurants et cuisines collectives.....	214
8.5.2	Salons de coiffure.....	215
8.5.3	Activités de soins dentaires.....	215
8.5.4	Activités de nettoyage à sec de vêtements.....	215
<b>8.6</b>	<b>Eaux usées non domestiques</b> .....	216
8.6.1	Généralités sur les industries agroalimentaires.....	216
8.6.2	Établissements hospitaliers.....	216
8.6.3	Ateliers de traitements de surface.....	217
8.6.4	Blanchisseries industrielles.....	217
8.6.5	Abattoirs.....	218

<b>8.7</b>	<b>Matières de vidange</b> .....	218
<b>9</b>	<b>Planification et schéma directeur</b> .....	221
<b>9.1</b>	<b>Urbanisme et assainissement</b> .....	221
9.1.1	Compétence du « bloc communal » .....	221
9.1.2	Incidence de la loi SRU .....	221
9.1.3	Cohérence entre urbanisme et assainissement .....	221
<b>9.2</b>	<b>Zonage assainissement</b> .....	222
9.2.1	Eaux usées .....	222
9.2.2	Eaux pluviales .....	224
<b>9.3</b>	<b>Schéma directeur d'assainissement</b> .....	225
9.3.1	Composantes du SDA .....	225
9.3.2	Interdépendance du SDA et du document d'urbanisme .....	226
<b>Partie 2</b>	<b>Composantes d'un système de collecte</b> .....	231
<b>10</b>	<b>Équipements sanitaires en domaine privé</b> .....	233
<b>10.1</b>	<b>Installations intérieures des habitations</b> .....	233
10.1.1	Principes généraux .....	233
10.1.2	Normalisation des conduites et mise en œuvre .....	234
10.1.3	Équipements spécifiques .....	234
10.1.4	Récupération de l'eau de pluie .....	236
<b>10.2</b>	<b>Canalisations d'évacuation</b> .....	237
10.2.1	Matériaux .....	237
10.2.2	Diamètre des canalisations intérieures .....	238
<b>10.3</b>	<b>Assainissement non collectif</b> .....	239
10.3.1	Caractère privé des systèmes non collectifs .....	239
10.3.2	Choix des filières d'assainissement non collectif .....	240
10.3.3	Réglementation .....	240
10.3.4	Appareils composant les filières d'assainissement non collectif .....	241
10.3.5	Contrôle des installations d'assainissement non collectif .....	247
10.3.6	Assainissement « semi-collectif » .....	247
<b>11</b>	<b>Conception des réseaux : principes hydrauliques</b> .....	251
<b>11.1</b>	<b>Écoulements à ciel ouvert</b> .....	251
11.1.1	Émissaires à ciel ouvert .....	254
11.1.2	Canaux ou fossés à débit contrôlé .....	254
11.1.3	Canaux larges ou lames d'eau .....	255
<b>11.2</b>	<b>Écoulements en réseau</b> .....	256
11.2.1	Écoulement libre uniforme .....	256
11.2.2	Écoulement libre non uniforme .....	259
11.2.3	Écoulement libre ralenti par l'aval .....	260

11.2.4	Écoulement en charge .....	260
11.2.5	Écoulements transitoires .....	261
11.2.6	Écoulements en conduites sous pression .....	263
<b>11.3</b>	<b>Écoulements sur des points singuliers .....</b>	<b>264</b>
11.3.1	Écoulement à travers un regard .....	264
11.3.2	Écoulement dans les éléments de canalisation .....	265
11.3.3	Écoulement sur les jonctions .....	267
11.3.4	Écoulement sur les bifurcations et dérivations .....	268
11.3.5	Écoulement sur les chutes .....	268
11.3.6	Écoulement dans les siphons .....	268
11.3.7	Écoulement à travers les grilles .....	269
11.3.8	Écoulement à travers les bouches à grilles et avaloirs .....	270
11.3.9	Écoulement à travers les orifices .....	270
11.3.10	Écoulement sur les seuils déversoirs .....	271
<b>12</b>	<b>Conception et dimensionnement des réseaux .....</b>	<b>275</b>
<b>12.1</b>	<b>Réseaux d'eaux usées .....</b>	<b>275</b>
12.1.1	Évaluation et répartition des populations à desservir .....	276
12.1.2	Évaluation proprement dite des débits .....	277
12.1.3	Calcul des sections d'ouvrage .....	278
12.1.4	Conditions d'autocurage .....	278
12.1.5	Réflexions sur la conception des réseaux d'évacuation des eaux usées .....	281
<b>12.2</b>	<b>Réseaux d'eaux pluviales .....</b>	<b>281</b>
12.2.1	Calcul par la méthode rationnelle .....	281
12.2.2	Calcul par la méthode superficielle .....	283
12.2.3	Conclusion sur l'application des méthodes proposées .....	283
12.2.4	Étude de la ligne piézométrique idéale .....	286
<b>12.3</b>	<b>Réseaux unitaires .....</b>	<b>289</b>
12.3.1	État des lieux .....	289
12.3.2	Diagnostic .....	290
12.3.3	Analyse des bassins de collecte .....	291
12.3.4	Études de dimensionnement .....	292
<b>12.4</b>	<b>Réseaux sous pression .....</b>	<b>294</b>
12.4.1	Calculs des pertes de charge linéaires .....	295
12.4.2	Calculs des pertes de charge singulières .....	295
12.4.3	Dispositions de refoulement en réseau, en cascade, ramifiées ou maillées .....	296
<b>12.5</b>	<b>Système de collecte par pompage intégral .....</b>	<b>297</b>
<b>12.6</b>	<b>Réseaux équipés d'aéroéjecteurs .....</b>	<b>297</b>
12.6.1	Hauteur manométrique totale .....	299
12.6.2	Réseau d'air comprimé .....	299
<b>12.7</b>	<b>Réseaux sous vide .....</b>	<b>299</b>
12.7.1	Calcul de la perte de pression .....	301



12.7.2	Calcul de la centrale .....	302
<b>13</b>	<b>Éléments constitutifs des réseaux et ouvrages .....</b>	<b>305</b>
<b>13.1</b>	<b>Types de canalisations .....</b>	<b>306</b>
13.1.1	Tuyaux en béton .....	306
13.1.2	Tuyaux en béton de fibres .....	309
13.1.3	Tuyaux en grès .....	310
13.1.4	Tuyaux en matière plastique .....	310
13.1.5	Tuyaux et raccords en fonte .....	313
13.1.6	Tuyaux et raccords utilisés avec pression .....	314
13.1.7	Collecteurs visitables de sections particulières .....	314
<b>13.2</b>	<b>Choix des éléments constitutifs des canalisations .....</b>	<b>315</b>
13.2.1	Étanchéité des tuyaux et des joints .....	315
13.2.2	Choix de la résistance des tuyaux à l'écrasement .....	315
13.2.3	Impacts environnementaux des choix de matériau .....	316
<b>13.3</b>	<b>Ouvrages terminaux .....</b>	<b>317</b>
13.3.1	Branchements au réseau .....	317
13.3.2	Ouvrages de collecte en surface .....	320
<b>13.4</b>	<b>Ouvrages d'accès au réseau .....</b>	<b>322</b>
13.4.1	Regards de visite à section circulaire de 1 m de diamètre .....	323
13.4.2	Regards de visite à section carrée $\geq 1$ m de côté .....	325
<b>13.5</b>	<b>Ouvrages annexes et accessoires .....</b>	<b>325</b>
13.5.1	Dispositifs de régulation de débit .....	325
13.5.2	Ouvrages de régulation statique .....	326
<b>13.6</b>	<b>Rétention des flottants et des objets .....</b>	<b>326</b>
13.6.1	Dégrilleurs .....	326
13.6.2	Grilles en tête de canalisation .....	328
<b>13.7</b>	<b>Ouvrages de débouchés et de protection du milieu naturel .....</b>	<b>329</b>
13.7.1	Débouchés et protection des berges .....	329
13.7.2	Dispositifs brise-flot .....	329
<b>13.8</b>	<b>Passages en siphon .....</b>	<b>331</b>
13.8.1	Siphons multiples .....	331
13.8.2	Siphon à coussin d'air .....	332
<b>13.9</b>	<b>Traversées et passages souterrains .....</b>	<b>332</b>
13.9.1	Passages inférieurs en portique ouvert (PIPO) simples ou doubles .....	333
13.9.2	Passages hydrauliques sous chaussée .....	333
13.9.3	Passage en voûtes et ponceaux .....	333
13.9.4	Ponceaux .....	334
<b>13.10</b>	<b>Autres ouvrages de grande taille .....</b>	<b>335</b>
13.10.1	Galerie technique .....	335
13.10.2	Tuyaux acier de grands diamètres .....	335

13.10.3	Autres types de tuyaux .....	335
13.10.4	Dalots et conduits rectangulaires .....	336
<b>14</b>	<b>Déversoirs d'orage</b> .....	339
<b>14.1</b>	<b>Déversoir à seuil frontal</b> .....	340
<b>14.2</b>	<b>Déversoir à seuil latéral</b> .....	341
<b>14.3</b>	<b>Déversoir à double seuil latéral</b> .....	342
<b>14.4</b>	<b>Déversoir avec ouverture en radier</b> .....	342
<b>14.5</b>	<b>Déversoir à effet vortex</b> .....	343
<b>14.6</b>	<b>Déversoir circulaire</b> .....	343
<b>14.7</b>	<b>Déversoir siphonide</b> .....	343
<b>14.8</b>	<b>Déversoir à vannage</b> .....	344
<b>14.9</b>	<b>Déversoir à évacuation retardée et prolongée</b> .....	345
<b>14.10</b>	<b>Déversoirs avec seuils à effacement</b> .....	348
<b>15</b>	<b>Stations de pompage et équipements associés</b> .....	351
<b>15.1</b>	<b>Méthodologie de conception ou de contrôle fonctionnel</b> .....	351
15.1.1	Données sur les débits caractéristiques .....	352
15.1.2	Données géométriques et pré-dimensionnement .....	353
15.1.3	Hauteur manométrique totale (HMT) .....	353
15.1.4	Détermination des caractéristiques de fonctionnement .....	354
15.1.5	Fréquence de démarrage et volume de marnage .....	358
15.1.6	Calcul des puissances et des rendements .....	363
15.1.7	Fonctionnement en cascade et simultané de plusieurs pompes .....	371
<b>15.2</b>	<b>Stations de pompage particulières</b> .....	373
15.2.1	Postes de crues .....	373
15.2.2	Pompage en ligne .....	374
<b>15.3</b>	<b>Analyse fonctionnelle d'un ensemble de pompage complexe</b> .....	375
15.3.1	Analyse des informations disponibles .....	376
15.3.2	Examen des données d'exploitation sur les temps de pompage .....	376
15.3.3	Contrôle des pertes de charge linéaires et singulières .....	378
<b>15.4</b>	<b>Le phénomène du coup de bélier et les protections nécessaires</b> .....	378
15.4.1	Le phénomène du coup de bélier .....	378
15.4.2	Approximations et simulation des effets sur les canalisations .....	380
15.4.3	Dispositifs de protection anti-bélier .....	382
15.4.4	Les ventouses .....	385
<b>15.5</b>	<b>L'hydrogène sulfuré et les moyens de le réduire</b> .....	386
15.5.1	Production d'hydrogène sulfuré .....	386

15.5.2	La limitation de la production de sulfures.....	387
<b>15.6</b>	<b>Équipements des postes de relèvement ou de refoulement.....</b>	<b>388</b>
15.6.1	Description d'un poste de pompage « standard ».....	388
15.6.2	Dispositifs de ventilation et de désodorisation.....	390
15.6.3	Groupe électrogène.....	390
15.6.4	Autres énergies possibles pour les pompages.....	391
<b>15.7</b>	<b>Relèvements à vis d'Archimède.....</b>	<b>392</b>
<b>16</b>	<b>Gestion des eaux pluviales et maîtrise du ruissellement.....</b>	<b>395</b>
<b>16.1</b>	<b>Méthodes de calcul d'un volume à stocker.....</b>	<b>396</b>
16.1.1	Méthode rationnelle de rétention.....	397
16.1.2	Méthode « des pluies ».....	398
16.1.3	Méthode des volumes.....	399
16.1.4	Méthode de l'hydrogramme de la formule rationnelle.....	401
16.1.5	Méthode des débits variables.....	404
16.1.6	Limites d'application et comparaison des méthodes.....	404
16.1.7	Cas particulier de plusieurs retenues en parallèle.....	404
<b>16.2</b>	<b>Dispositions conceptuelles des systèmes de rétention.....</b>	<b>405</b>
16.2.1	Contextes hydrogéologique et géotechnique.....	406
16.2.2	Milieu récepteur.....	407
16.2.3	Synthèse des contraintes hydrauliques.....	407
16.2.4	Contexte du projet et de composition de l'urbanisation connexe.....	407
<b>16.3</b>	<b>Rétentions diffuses.....</b>	<b>408</b>
16.3.1	Rétentions diffuses en domaine « public ».....	409
16.3.2	Rétentions diffuses en domaine privé.....	411
16.3.3	Rétentions diffuses généralisées.....	414
16.3.4	Les noues et les fossés.....	416
16.3.5	Toitures stockantes et toitures végétalisées.....	419
<b>16.4</b>	<b>Structures réservoirs sous voiries et aux abords.....</b>	<b>422</b>
16.4.1	Principes généraux de conception.....	422
16.4.2	Caractéristiques structures-réservoirs.....	427
<b>16.5</b>	<b>Bassins de stockage ou de rétention.....</b>	<b>428</b>
16.5.1	Dispositions constructives des bassins à ciel ouvert.....	428
16.5.2	Approche géotechnique de la tenue des talus.....	429
16.5.3	Vidange et évacuation des volumes stockés.....	431
<b>17</b>	<b>Pollution des ruissellements et écoulements par temps de pluie.....</b>	<b>435</b>
<b>17.1</b>	<b>Les enjeux de l'imperméabilisation.....</b>	<b>435</b>
17.1.1	Importance du phénomène.....	435
17.1.2	Flux et teneur en polluants.....	436
<b>17.2</b>	<b>Dimensionnement des ouvrages de dépollution.....</b>	<b>440</b>

<b>17.3</b>	<b>Décantation : calcul</b> .....	442
17.3.1	Nature des effluents .....	442
17.3.2	Principe de la décantation statique .....	443
17.3.3	Décanteur statique circulaire .....	446
17.3.4	Principe de la décantation lamellaire .....	447
17.3.5	Séparation par centrifugation .....	452
<b>17.4</b>	<b>Ouvrages spécialisés</b> .....	453
17.4.1	Réduire la pollution des eaux de ruissellement .....	453
17.4.2	Petits ouvrages décanteurs .....	454
17.4.3	Dégrillage-tamissage .....	455
17.4.4	Les débourbeurs – déshuileurs .....	455
17.4.5	Dessablement en réseau .....	458
17.4.6	Chambres à « décantation circulaire » .....	461
17.4.7	Traitements physico-chimiques .....	462
17.4.8	Organisation des équipements de gestion de la pollution des eaux pluviales .....	463
<b>17.5</b>	<b>Techniques extensives</b> .....	464
17.5.1	Principes généraux .....	464
17.5.2	L'intérêt des végétaux dans la dépollution des eaux .....	465
17.5.3	Les bassins à ciel ouvert .....	465
17.5.4	Les zones « humides », naturelles ou reconstituées .....	467
<b>17.6</b>	<b>Bassins de stockage-restitution</b> .....	470
17.6.1	Conception des bassins de stockage-restitution .....	470
17.6.2	Dispositions constructives des bassins enterrés .....	473

### **Partie 3 Composantes d'un traitement** .....

<b>18</b>	<b>Prétraitement et élimination des sous-produits</b> .....	479
<b>18.1</b>	<b>Dégrillage</b> .....	479
18.1.1	Grilles manuelles .....	479
18.1.2	Grilles mécaniques .....	479
18.1.3	Dilacération .....	483
18.1.4	Tamissage .....	483
18.1.5	Cas des petites stations d'épuration .....	483
<b>18.2</b>	<b>Dessablage</b> .....	484
18.2.1	Dessableurs à canaux gravitaires .....	484
18.2.2	Hydrocyclones .....	484
<b>18.3</b>	<b>Dégraissage-déshuilage</b> .....	485
18.3.1	Graisses .....	485
18.3.2	Huiles .....	485
18.3.3	Dégraissage des eaux résiduaires urbaines avant rejet au réseau .....	485
18.3.4	Dégraissage en prétraitement de station d'épuration .....	486
18.3.5	Déshuilage .....	486

<b>18.4</b>	<b>Définition et mode de gestion des sous-produits de l'épuration</b>	489
18.4.1	Matières de vidange des installations de traitement non collectif	489
18.4.2	Matières de curage des réseaux et des sables des installations de collecte et de traitement collectif	490
18.4.3	Graisses des installations de traitement collectif	491
<b>18.5</b>	<b>Étude de dimensionnement d'unité de traitement des graisses et des matières de vidange</b>	493
18.5.1	Traitement des graisses	493
18.5.2	Traitement des matières de vidange	494
18.5.3	Charges de dimensionnement du traitement biologique	496
18.5.4	Niveau de rejet	496
18.5.5	Traitement biologique des graisses et des matières de vidange – Schéma de principe	497
18.5.6	Coûts d'investissement et d'exploitation	498
<b>18.6</b>	<b>Traitement des sables et des produits de curage des réseaux et des ouvrages associés</b>	499
18.6.1	Cadre général et besoins à satisfaire	499
18.6.2	Données de fonctionnement et dimensionnement des installations	499
<b>19</b>	<b>Traitement primaire</b>	503
<b>19.1</b>	<b>Procédés de décantation physique</b>	503
19.1.1	Décanteurs longitudinaux	504
19.1.2	Décanteurs circulaires	505
19.1.3	Décanteurs lamellaires	506
19.1.4	Contraintes d'exploitation	508
<b>19.2</b>	<b>Procédés de décantation chimique</b>	509
19.2.1	Coagulation-floculation	509
19.2.2	Utilisation des polyélectrolytes	511
<b>19.3</b>	<b>Procédés de flottation</b>	512
19.3.1	Principales applications	512
19.3.2	Exemple de dimensionnement	513
<b>20</b>	<b>Élimination de la pollution carbonée</b>	515
<b>20.1</b>	<b>Procédés physico-chimiques de l'épuration</b>	515
<b>20.2</b>	<b>Procédés biologiques naturels</b>	516
20.2.1	Lagunage naturel	516
20.2.2	Filtration par le sol	519
20.2.3	Reconstitution d'écosystème	519
<b>20.3</b>	<b>Procédés biologiques artificiels</b>	526
20.3.1	Lits bactériens	526
20.3.2	Boues activées (cultures libres)	531
20.3.3	Autres procédés à cultures libres	542
20.3.4	Biofiltration (cultures fixées)	545
20.3.5	Procédés compacts (cultures libres et fixées)	548



<b>21</b>	<b>Élimination de l'azote et du phosphore, traitements complémentaires</b>	553
<b>21.1</b>	<b>Élimination de la pollution azotée</b>	553
21.1.1	Mécanismes de l'élimination biologique des matières azotées	553
21.1.2	Techniques d'élimination biologique de l'azote	557
21.1.3	Autres techniques d'élimination de l'azote	562
<b>21.2</b>	<b>Élimination de la pollution phosphorée</b>	562
21.2.1	Techniques d'élimination du phosphore	562
21.2.2	Exemple d'application pour une station d'épuration	568
21.2.3	Traitement complémentaire du phosphore et des effluents excédentaires	573
21.2.4	Procédé de boues activées à membranes	579
<b>21.3</b>	<b>Désinfection des effluents</b>	581
21.3.1	Désinfection au chlore	583
21.3.2	Désinfection au brome	583
21.3.3	Désinfection par l'ozone	583
21.3.4	Désinfection par rayonnement UV	583
21.3.5	Désinfection par systèmes extensifs	585
21.3.6	Désinfection par membranes	585
<b>21.4</b>	<b>Traitement des odeurs</b>	586
21.4.1	Origine et composition des odeurs	586
21.4.2	Élimination des odeurs	588
21.4.3	Jardins Filtrants® pour l'air	589
<b>21.5</b>	<b>Traitements de réutilisation des eaux usées traitées</b>	590
21.5.1	La réutilisation des eaux usées traitées	590
<b>21.6</b>	<b>Préfiltration et filtration d'affinage</b>	591
21.6.1	Filtration sur membranes	592
21.6.2	Technologies de filtration	592
21.6.3	Colmatage et régulation des filtres et membranes	595
<b>22</b>	<b>Traitement et élimination des boues</b>	599
<b>22.1</b>	<b>Caractérisation des boues urbaines</b>	600
22.1.1	Origine et composition des boues	600
22.1.2	Nature et structure des boues	600
22.1.3	Aptitude des boues à l'épaississement et à la déshydratation	601
<b>22.2</b>	<b>Destinations principales des boues</b>	602
<b>22.3</b>	<b>Filières de traitement et d'élimination de boues</b>	603
22.3.1	Stabilisation des boues	603
22.3.2	Cas de la méthanisation des boues	608
22.3.3	Les filières potentielles de traitement des boues et des co-déchets	612
22.3.4	Épaississement des boues	616
22.3.5	Conditionnement des boues	621
22.3.6	Déshydratation des boues	622

22.3.7	Élimination finale des boues .....	629
<b>22.4</b>	<b>Séchage solaire des boues</b> .....	633
22.4.1	Principe du séchage solaire des boues .....	633
22.4.2	Avantages et inconvénients du séchage solaire .....	635
<b>22.5</b>	<b>Séchage thermique</b> .....	637
22.5.1	Séchage thermique appliqué à la problématique des boues .....	637
22.5.2	Propriétés physico-chimiques et biologiques générales des boues séchées .....	638
22.5.3	Différentes technologies de séchage des boues .....	640
22.5.4	Choisir un mode de séchage adapté aux différentes filières de valorisation et d'élimination des boues .....	647
<b>22.6</b>	<b>Traitement des boues par compostage</b> .....	650
22.6.1	Présentation générale .....	650
22.6.2	Étapes du compostage .....	652
22.6.3	Procédés de compostage envisageables .....	652
22.6.4	Aspects réglementaires d'une unité de compostage .....	654
22.6.5	Boues compostées .....	654
22.6.6	Dimensionnement d'une unité de compostage des boues .....	657
<b>22.7</b>	<b>Synthèse comparative</b> .....	660
<b>23</b>	<b>Dimensionnement d'une station d'épuration</b> .....	665
<b>23.1</b>	<b>Dimensionnement d'une station d'épuration à cultures libres selon le procédé « conventionnel »</b> .....	665
23.1.1	Données de base .....	665
23.1.2	Récapitulatif des ouvrages pour 16 000 EH .....	666
<b>23.2</b>	<b>Dimensionnement d'une station d'épuration à cultures fixées</b> .....	674
23.2.1	Données de base .....	674
23.2.2	Caractéristiques de l'effluent traité .....	674
23.2.3	Récapitulatif des ouvrages .....	674
23.2.4	Caractéristiques des ouvrages .....	674
<b>23.3</b>	<b>Dimensionnement d'une station d'épuration à cultures libres selon le procédé de filtration membranaire</b> .....	677
23.3.1	Contextes et contraintes du projet .....	677
23.3.2	Comparatif des filières de traitement des eaux .....	677
23.3.3	Choix des prétraitements et traitements .....	679
23.3.4	Filières de traitement proposées .....	681
23.3.5	Présentation du procédé de traitement retenu .....	684
23.3.6	Locaux annexes réservés au personnel .....	690
<b>23.4</b>	<b>Dimensionnement d'une station d'épuration selon le procédé de filtres plantés de roseaux</b> .....	690
23.4.1	Bases de dimensionnement des filtres .....	690
23.4.2	Matériaux constituant les filtres .....	691
23.4.3	Modes alimentation .....	691
23.4.4	Exemple de dimensionnement .....	692

<b>Partie 4</b>	<b>Réalisation et exploitation d'un système d'assainissement</b>	697
<b>24</b>	<b>Étude diagnostique et schéma directeur</b>	699
<b>24.1</b>	<b>Motivations et objectifs</b>	699
24.1.1	Principes généraux	699
24.1.2	Principes réglementaires	701
<b>24.2</b>	<b>Phase 1 : constats et prédiagnostic</b>	703
24.2.1	Recueil et analyse des informations	703
24.2.2	Analyse de la sensibilité des milieux naturels	706
24.2.3	Examen préalable des réseaux et des ouvrages	707
24.2.4	Enquête sur les établissements publics, industriels et commerciaux	709
24.2.5	Mise à jour des plans et prémodélisation	710
24.2.6	Estimation des flux théoriques et résultats d'exploitation	711
24.2.7	Reconnaissance détaillée des réseaux et ouvrages élémentaires	712
24.2.8	Examen des bassins de collecte élémentaires	712
24.2.9	Synthèse et prédiagnostic	713
<b>24.3</b>	<b>Phase 2 : sectorisation des anomalies</b>	714
24.3.1	Protocole d'une campagne de mesures	714
24.3.2	Réalisation de la campagne de mesures	717
24.3.3	Exploitation des résultats	719
<b>24.4</b>	<b>Phase 3 : investigations complémentaires et calculs hydrauliques</b>	723
24.4.1	Investigations complémentaires	723
24.4.2	Génération des débits pluviaux et simulations des transferts de flux	728
<b>24.5</b>	<b>Phase 4 : études des conditions d'amélioration du système d'assainissement</b>	731
24.5.1	Dispositions de suppression des anomalies et d'amélioration du système	731
24.5.2	Programmation hiérarchisée des travaux	734
24.5.3	Autres actions issues d'un SDA	735
<b>24.6</b>	<b>Finalisation et rapports</b>	736
<b>25</b>	<b>Exécution des travaux</b>	737
<b>25.1</b>	<b>Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre</b>	737
25.1.1	Maître d'ouvrage	737
25.1.2	Maître d'œuvre	737
25.1.3	Missions d'ingénierie	738
<b>25.2</b>	<b>Élément de missions d'ingénierie</b>	742
25.2.1	Études préliminaires (EP)	742
25.2.2	Esquisse d'investigations (ESQ)	743
25.2.3	Enquêtes auprès des concessionnaires	743
25.2.4	Analyses des besoins et des contraintes	744
25.2.5	Étude des concepts d'avant-projet	744
25.2.6	Solutions techniques standard (STS)	744
25.2.7	Études des solutions variantes	745

25.2.8	Avant-projet définitif (APD) .....	745
25.2.9	Étude des ouvrages spéciaux et équipements particuliers .....	746
25.2.10	Spécifications, plans d'exécution et de synthèse, visa .....	746
25.2.11	Application de la charte qualité .....	747
25.2.12	Élaboration des pièces écrites .....	747
25.2.13	Coordination spatiale et ordonnancement .....	747
25.2.14	Modes de dévolution des travaux .....	748
25.2.15	Direction de l'exécution des travaux .....	749
25.2.16	Gestion financière des travaux .....	751
25.2.17	Réception définitive des travaux .....	751
<b>25.3</b>	<b>Amélioration de la qualité des études et des travaux</b> .....	752
25.3.1	Assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) .....	752
25.3.2	Normes de qualité dans les études et conseils .....	754
25.3.3	Charte de qualité des chantiers .....	754
25.3.4	Mission de suivi et audit des chantiers .....	757
25.3.5	Coordination sécurité et protection de la santé (CSPS) .....	759
25.3.6	Plan de contrôle général des travaux (PGCT) .....	762
<b>25.4</b>	<b>Logistique et organisation des chantiers</b> .....	762
25.4.1	Préparation et démarrage du chantier .....	762
25.4.2	Logistique d'approvisionnement et de travaux .....	763
25.4.3	Management et planification des ressources .....	765
25.4.4	Démarches préalables d'ouverture de chantier .....	766
<b>25.5</b>	<b>Installation de chantier et travaux préparatoires</b> .....	767
25.5.1	Plan des installations .....	767
25.5.2	Signalisation temporaire de chantier .....	768
25.5.3	Catégories de signalisation .....	768
25.5.4	Signalisation des chantiers mobiles .....	768
25.5.5	Signalisation des personnes et des véhicules .....	771
25.5.6	Distances de sécurité .....	772
<b>25.6</b>	<b>Conditions de réalisation des travaux</b> .....	772
25.6.1	Modes d'approvisionnement et conditionnement .....	772
25.6.2	Manutention manuelle des charges .....	774
25.6.3	Démarrage et conduite des travaux .....	774
<b>25.7</b>	<b>Modalités d'exécution des ouvrages</b> .....	775
25.7.1	Conditions géotechniques .....	775
25.7.2	Caractéristiques des sols .....	777
25.7.3	Prospection géophysique .....	781
<b>25.8</b>	<b>Mise en œuvre des matériaux</b> .....	785
25.8.1	Granulats et matériaux industrialisés .....	785
25.8.2	Classe granulaire et granularité .....	787
25.8.3	Caractéristiques principales des granulats .....	790
25.8.4	Produits géotextiles ou géosynthétiques .....	791
25.8.5	Stabilisation des sols .....	791

25.8.6	Ciments et chaux.....	791
25.8.7	Matériaux en béton.....	793
25.8.8	Matériaux en béton armé.....	794
25.8.9	Matériaux en béton précontraint.....	800
25.8.10	Matériaux en bétons fibrés.....	801
25.8.11	Mise en œuvre des bétons.....	801
25.8.12	Matériaux hydrocarbonés et bitumeux.....	803
25.8.13	Mortiers et composants de maçonnerie.....	804
25.8.14	Maçonnerie de blocs de béton.....	804
25.8.15	Maçonneries et accessoires.....	805
<b>25.9</b>	<b>Mise en œuvre des réseaux.....</b>	<b>805</b>
25.9.1	Tranchées, passages et galeries techniques.....	805
25.9.2	Implantation des canalisations.....	807
25.9.3	Caractérisation des travaux en tranchée.....	807
25.9.4	Conditions de pose des tuyaux.....	810
25.9.5	Remblaiement des tranchées et compactage.....	811
25.9.6	Techniques spéciales pour gros collecteurs en site urbain.....	813
25.9.7	Caractérisation des matériels de compactage.....	813
25.9.8	Contrôle du compactage.....	814
25.9.9	Comportement des canalisations en tranchée.....	815
25.9.10	Pose en sous-sol encombré.....	817
25.9.11	Pose en terrain aquifère.....	818
25.9.12	Épuisement de fouilles et anticontamination.....	818
25.9.13	Mise en œuvre en site immergé.....	818
25.9.14	Remblayage des tranchées et objectif de densification.....	822
25.9.15	Remblaiement et compactage.....	824
25.9.16	Calcul des charges et surcharges.....	825
25.9.17	Soutènements et étaielements en palplanches.....	825
<b>25.10</b>	<b>Travaux sans tranchées.....</b>	<b>828</b>
25.10.1	Forage en « minitunnel ».....	828
25.10.2	Forages dirigés.....	829
25.10.3	Fonçages.....	831
25.10.4	Pose des tuyaux en élévation.....	831
<b>25.11</b>	<b>Dispositions de raccordement.....</b>	<b>832</b>
<b>25.12</b>	<b>Essais et contrôle des travaux.....</b>	<b>832</b>
25.12.1	Contrôle de compactage.....	833
25.12.2	Inspection des ouvrages.....	833
25.12.3	Épreuves et tests d'étanchéité.....	834
25.12.4	Essai à l'écrasement.....	835
<b>25.13</b>	<b>Réunions de chantier et du CISSCT.....</b>	<b>835</b>
25.13.1	Participants aux réunions.....	835
25.13.2	Objectifs des réunions de chantier.....	835
25.13.3	Diffusion des informations.....	835
25.13.4	Réunions du collège interentreprises de sécurité, de santé et des conditions de travail (CISSCT).....	836

<b>26</b>	<b>Gestion fonctionnelle et automatisme</b>	837
<b>26.1</b>	<b>Méthodologie générale de gestion</b>	838
<b>26.2</b>	<b>Cadre général de gestion et d'exploitation</b>	838
26.2.1	Gestion directe	841
26.2.2	Gestion déléguée	841
<b>26.3</b>	<b>Organisation du service d'assainissement</b>	844
26.3.1	Services administratifs et financiers	844
26.3.2	Autres services dépendants	844
26.3.3	Services études et travaux	845
26.3.4	Parc – Atelier – Magasin	846
26.3.5	Suivi d'exploitation des réseaux	846
26.3.6	Suivi d'exploitation des stations de traitement	848
26.3.7	Contrôle de gestion	850
<b>26.4</b>	<b>Système d'informations géographiques (SIG)</b>	850
26.4.1	Principales fonctionnalités d'un SIG	851
26.4.2	Architecture informatique	851
26.4.3	Savoir-faire et utilisateurs de système d'information géographique	852
26.4.4	Organisation topologique d'un système d'assainissement	852
26.4.5	Prévisions et outils de planification	861
26.4.6	Règles de décision	862
<b>26.5</b>	<b>Optimisation des interventions « patrimoniales »</b>	862
<b>26.6</b>	<b>Métrologie</b>	863
26.6.1	Mesure des précipitations	865
26.6.2	Mesure de hauteurs d'eau dans un ouvrage	867
26.6.3	Mesure de la vitesse d'écoulement	869
26.6.4	Mesure des débits	872
26.6.5	Mesure de la pollution	876
26.6.6	Centrales d'acquisition des valeurs mesurées	879
26.6.7	Comparaisons entre les résultats de calculs et les mesures	880
<b>26.7</b>	<b>Gestion automatisée</b>	881
26.7.1	Concept d'automation	881
26.7.2	Composants des systèmes automatisés	883
26.7.3	Systèmes d'automatismes hiérarchisés	887
26.7.4	Logiciel de supervision	889
26.7.5	Fonctionnalités et transmissions	892
26.7.6	Installations instrumentées de communication	893
26.7.7	Élaboration d'un scénario de gestion automatisée	898
26.7.8	Simulation intégrée liée aux automatismes	900
<b>26.8</b>	<b>Diagnostic permanent</b>	901
26.8.1	Phase 1 : analyse fonctionnelle	902
26.8.2	Phase 2 : instrumentation et télégestion	904
26.8.3	Phase 3 : DCE et travaux	911



26.8.4	Phase 4 : mise en application.....	917
<b>26.9</b>	<b>Indicateurs d'effets des rejets sur le milieu</b> .....	919
26.9.1	Objet du système indicateur d'effets.....	919
26.9.2	Méthodologie de suivi du milieu .....	921
<b>27</b>	<b>Exploitation, entretien et réhabilitation des ouvrages</b> .....	923
<b>27.1</b>	<b>Hygiène et sécurité du personnel</b> .....	924
27.1.1	Les dangers et risques.....	924
27.1.2	Prévention et conditions d'hygiène sur chantier.....	926
<b>27.2</b>	<b>Ressources humaines du service « assainissement »</b> .....	926
27.2.1	Effectifs et organisation des services.....	927
27.2.2	Moyens matériels .....	930
<b>27.3</b>	<b>Supports de planification et suivi d'exploitation</b> .....	930
27.3.1	Supports cartographiques d'exploitation.....	931
27.3.2	Systèmes de suivi d'exploitation .....	931
27.3.3	Démarche de qualité « exploitation ».....	932
<b>27.4</b>	<b>Curage et entretien des réseaux</b> .....	933
27.4.1	Principales techniques de curage.....	933
27.4.2	Approche optimisée du curage .....	936
<b>27.5</b>	<b>Procédés sur les ouvrages en réseau</b> .....	938
27.5.1	Entretien des chambres de dessablement et de rétention de pollution .....	938
27.5.2	Entretien des débourbeurs / séparateurs à hydrocarbures.....	939
27.5.3	Exploitation des réseaux équipés d'aéroéjecteurs ou sous vide.....	940
27.5.4	Exploitation des stations de pompage .....	940
<b>27.6</b>	<b>Entretien des bassins de retenue</b> .....	941
27.6.1	Bassins en eau permanente .....	941
27.6.2	Bassins d'orage à sec .....	942
27.6.3	Bassins en chaîne, fossés et boulingrins .....	943
27.6.4	Chaussées-réservoirs, stockages en tuyaux.....	943
27.6.5	Exploitation des bassins de stockage-restitution .....	943
<b>27.7</b>	<b>Exploitation des unités de traitement</b> .....	943
27.7.1	Entretien des décanteurs et clarificateurs.....	943
27.7.2	Entretien des lits bactériens .....	944
27.7.3	Entretien des stations à boues activées .....	944
27.7.4	Traitement des boues .....	944
27.7.5	Entretien des bassins de lagunage .....	944
27.7.6	Entretien des traitements « tertiaires » .....	945
<b>27.8</b>	<b>Surveillance et vérification du fonctionnement</b> .....	945
27.8.1	Surveillance fonctionnelle et quantification .....	945
27.8.2	Tenue du journal d'exploitation .....	952
27.8.3	Instruction des sinistres et des plaintes.....	953

<b>27.9</b>	<b>Réhabilitation des ouvrages de collecte</b>	954
27.9.1	Pérennité et pathologie des ouvrages	954
27.9.2	Outils d'auscultation des ouvrages	955
27.9.3	Aide à la décision et indicateurs	955
27.9.4	Dégradations et comportement des ouvrages	956
27.9.5	Justification et choix techniques de réhabilitation	960
27.9.6	Réhabilitation des collecteurs non visitables	962
27.9.7	Réhabilitation des collecteurs visitables	964
27.9.8	Réhabilitation des autres ouvrages d'assainissement	966
<b>28</b>	<b>Économie de l'assainissement : coûts et modalités d'écogestion</b>	967
<b>28.1</b>	<b>Qualification de l'économie de l'assainissement</b>	967
28.1.1	Approche économique globale	967
28.1.2	Flux financiers des services d'assainissement collectif	968
28.1.3	L'évolution du prix de l'assainissement	969
28.1.4	Principes de choix économique de projets	970
<b>28.2</b>	<b>Approche environnementale des projets</b>	970
28.2.1	Utilisation de l'énergie	970
28.2.2	Gaz à effet de serre	974
28.2.3	Analyse du cycle de vie (ACV)	976
28.2.4	Coûts directs et indirects des approvisionnements	977
<b>28.3</b>	<b>Budgets et instruction M49</b>	978
28.3.1	Préalables sur les budgets de l'assainissement	978
28.3.2	Budgets de fonctionnement et d'investissement	978
28.3.3	Le plan comptable de l'assainissement	979
28.3.4	Le fonds de compensation de la taxe sur la valeur ajoutée (FCTVA)	986
<b>28.4</b>	<b>Particularités de la délégation de service</b>	986
28.4.1	Compte annuel de résultat de l'exploitation déléguée	986
28.4.2	Autres spécificités liées à la délégation de service	988
<b>28.5</b>	<b>Tarification et facturation</b>	988
28.5.1	Assiette de facturation	988
28.5.2	Participation pour le financement de l'assainissement collectif (PFAC)	989
28.5.3	Facturation des services d'assainissement	989
<b>28.6</b>	<b>Rapport annuel sur le prix et la qualité du service public (RPQS)</b>	994
28.6.1	Procédure et compétences	994
28.6.2	Description générale et « faits marquants »	994
28.6.3	Principaux indicateurs financiers	994
28.6.4	Principaux indicateurs techniques	994
28.6.5	La commission consultative des services publics locaux (CCSPL)	996
<b>28.7</b>	<b>Optimisation de gestion technique, administrative et financière</b>	997
28.7.1	Articulation des directions et des services	997
28.7.2	Audit technico-financier	998
28.7.3	Financements et subventions	1002

28.7.4	Montage financier d'opération.....	1004
<b>28.8</b>	<b>Coûts unitaires d'investissement.....</b>	<b>1004</b>
28.8.1	Investigations et travaux préparatoires.....	1005
28.8.2	Terrassements.....	1006
28.8.3	Reconstitutions de voiries.....	1006
28.8.4	Travaux de canalisations.....	1006
28.8.5	Branchements.....	1009
28.8.6	Installations sous vide.....	1010
28.8.7	Gestion des eaux pluviales.....	1010
28.8.8	Installations de refoulement / relèvement.....	1012
28.8.9	Stations d'épuration – Mode intensif.....	1013
28.8.10	Systèmes de traitement – Mode extensif.....	1015
28.8.11	Assainissement non collectif.....	1016
<b>28.9</b>	<b>Coûts d'entretien et d'exploitation.....</b>	<b>1016</b>
28.9.1	Entretien des réseaux.....	1016
28.9.2	Investigations et contrôles en réseau.....	1018
28.9.3	Bassin de stockage.....	1018
28.9.4	Exploitation d'un poste de pompage.....	1019
28.9.5	Traitement des eaux usées.....	1019
	Index.....	1023

# Guide technique de l'assainissement

Collecte - Épuration - Conception - Exploitation

Qu'il s'agisse des eaux usées, dont la collecte et l'épuration doivent être améliorées, réhabilitées, renouvelées, ou des eaux pluviales, dont l'impact quantitatif et qualitatif sur les milieux humain et naturel est de plus en plus important, la nécessité de concevoir des réseaux et des dispositifs de traitement efficaces et adaptés aux conditions et spécificités locales est l'un des enjeux majeurs imposés par la réglementation.

Le *Guide technique de l'assainissement* permet de réaliser des réseaux d'assainissement sûrs et fiables, ainsi que des stations d'épuration capables de faire face à une grande diversité de flux. Ainsi, à l'aide d'abaques, de schémas et d'études de cas concrets, cet ouvrage :

- traite de la conception et de la réalisation des réseaux (principes hydrauliques, dimensionnement) ;
- analyse les composantes d'un système de collecte (déversoirs d'orage, stations de pompage, retenues d'eaux pluviales, bassins de stockage-restitution, etc.) ;
- détaille les techniques utilisées pour la collecte, l'évacuation et le traitement des eaux (prétraitement, traitement primaire, traitement des pollutions carbonée, azotée et phosphorée, traitements complémentaires, traitement des boues) ;
- étudie la gestion et l'exploitation d'un système d'assainissement (diagnostic, entretien, réhabilitation, économie).

Cette cinquième édition enrichie et mise à jour tient compte des dernières exigences réglementaires dans les domaines de l'assainissement, de la gestion des milieux aquatiques et des eaux pluviales ; elle intègre les principes de la gestion optimisée de l'énergie pour les pompages et l'épuration ainsi que les dernières innovations techniques ; elle actualise les principes, méthodes et techniques de gestion des eaux pluviales et du ruissellement ; enfin, elle traite de la gestion patrimoniale (renouvellement, durabilité et pérennité des ouvrages et équipements).

Par sa démarche pédagogique et son approche globale de l'assainissement, ce guide s'adresse aux ingénieurs et techniciens des entreprises, des maîtrises d'œuvre et d'ouvrage ou des collectivités territoriales, chargés de mettre en place, améliorer ou gérer un système d'assainissement, ou encore de résoudre des problèmes liés à son exploitation.

## Sommaire

### Partie 1. Données fondamentales

1. L'assainissement des agglomérations
2. Le milieu naturel dit « milieu récepteur »
3. Organisation et réglementation
4. Systèmes de collecte des eaux usées et des eaux pluviales
5. Analyses de sites : contextes physiques, hydrologiques et humains
6. Aspect quantitatif des eaux usées
7. Aspect quantitatif des eaux pluviales
8. Aspect qualitatif des eaux usées et pluviales
9. Planification et schéma directeur

### Partie 2. Composantes d'un système de collecte

10. Équipements sanitaires en domaine privé
11. Conception des réseaux : principes hydrauliques
12. Conception et dimensionnement des réseaux
13. Éléments constitutifs des réseaux et ouvrages
14. Déversoirs d'orage
15. Stations de pompage et équipements associés
16. Gestion des eaux pluviales et maîtrise du ruissellement
17. Pollution des ruissellements et écoulements par de temps de pluie

### Partie 3. Composantes d'un traitement

18. Prétraitement et élimination des sous-produits
19. Traitement primaire
20. Élimination de la pollution carbonée
21. Élimination de l'azote et du phosphore, traitements complémentaires
22. Traitement et élimination des boues
23. Dimensionnement d'une station d'épuration

### Partie 4. Réalisation et exploitation d'un système d'assainissement

24. Étude diagnostic et schéma directeur
25. Exécution des travaux
26. Gestion fonctionnelle et automatisme
27. Exploitation, entretien et réhabilitation des ouvrages
28. Économie de l'assainissement : coûts et modalité d'écogestion

Cet ouvrage est le fruit de la collaboration de messieurs **Régis Bourrier**, **Marc Satin** et **Béchir Selmi**.



R É F É R E N C E  
T E C H N I Q U E  
EDITIONS  
**LE MONITEUR**

