

# 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

---

---

# Sommaire

---

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

## **Partie 1** **Données fondamentales** ..... 13 |

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

## **Partie 2** **Composantes d'un système de collecte** ..... 231 |

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

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

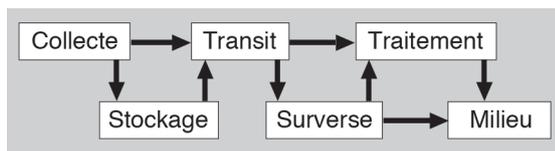
Les données fondamentales restituées dans leur cadre, les fonctionnalités des systèmes d'assainissement, les choix techniques et économiques à effectuer pour les agglomérations de toutes tailles, les systèmes et composants des réseaux, les calculs de dimensionnement à l'aide de l'outil informatique, 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

# 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.

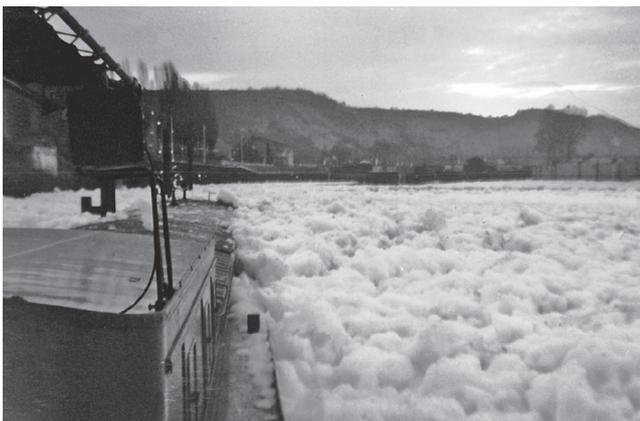
Cette urbanisation rapide de la population française correspond à un développement des villes, en nombre d'habitants et en extension spatiale, avec des impacts majeurs sur les cours d'eau, et plus généralement sur les milieux aquatiques.

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).

**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
	Raccordés à une station d'épuration	Avec assainissement autonome	Total	Raccordés au réseau de collecte, mais pas à la station d'épuration	Sans raccordement au réseau de collecte ni assainissement autonome	Total	
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 :

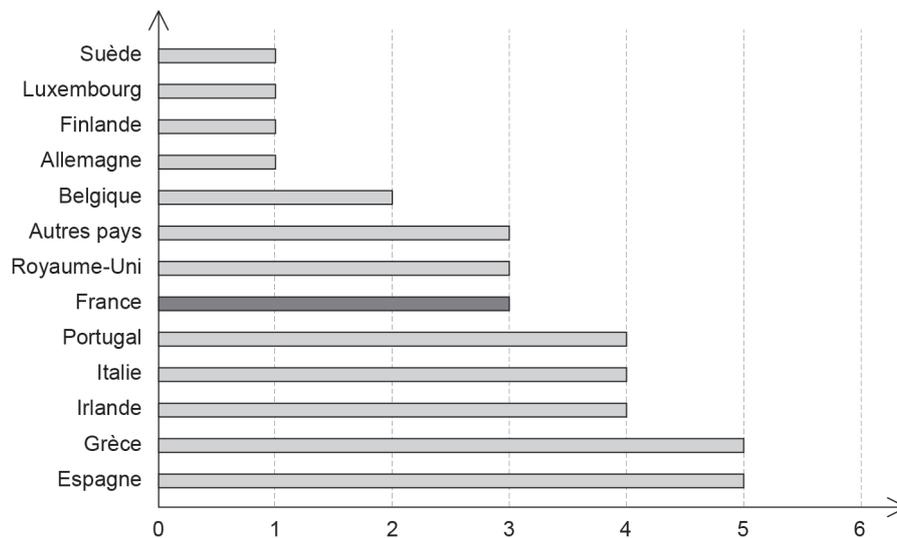
- rejets d'eaux usées directement et sans traitement de grandes agglomérations (Bruxelles, Milan, Marseille...);
- évacuation en mer des boues issues du traitement des eaux usées (Irlande, Espagne...).

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, pompes 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.

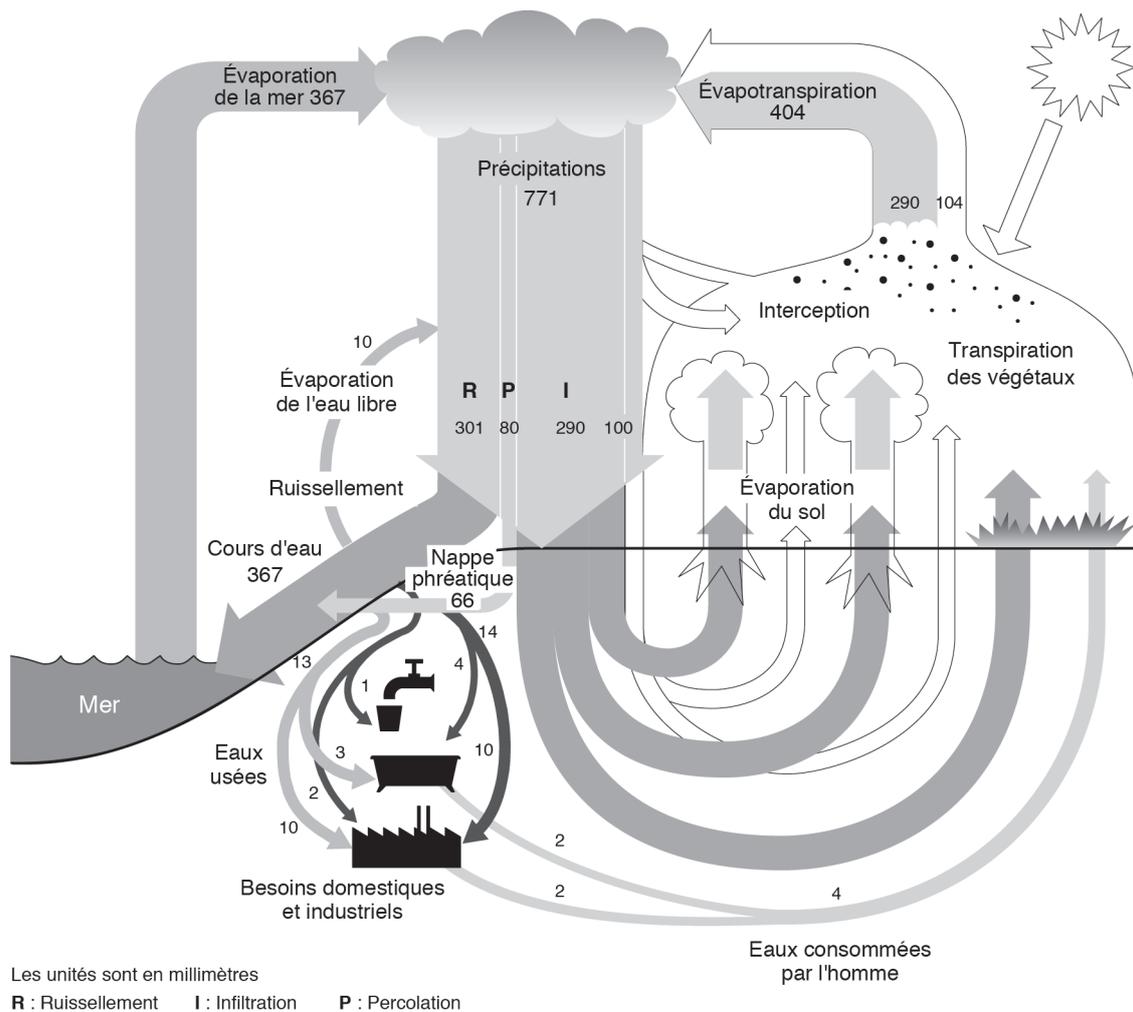


Fig. 2.1. Cycle de l'eau (source : Paul Duvigneaud, *La Synthèse écologique*)

## 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.

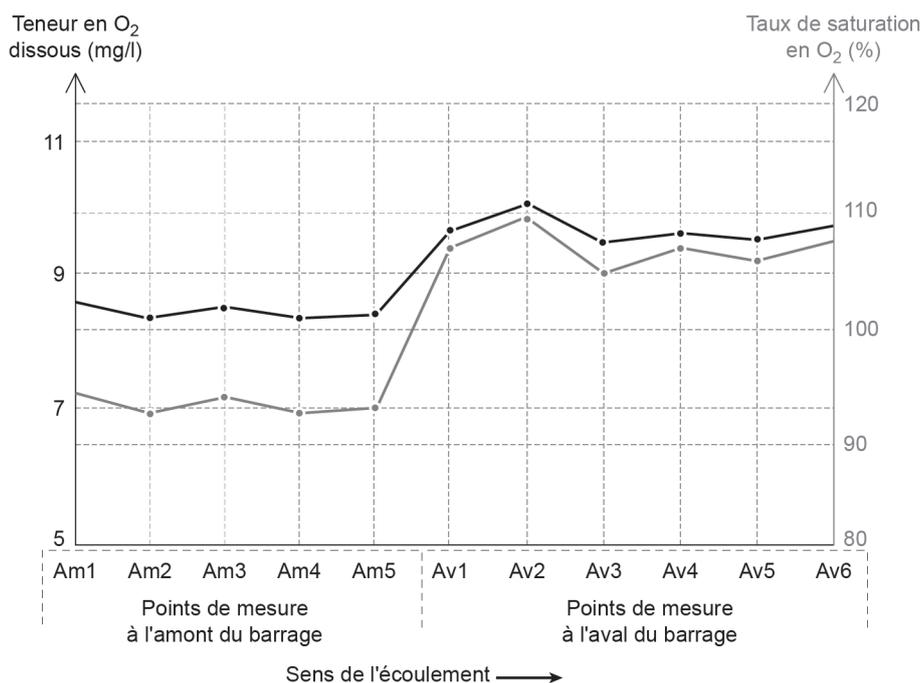
Ainsi, tout apport de produits organiques dans un cours d'eau fournit un aliment aux micro-organismes et dans le même temps leur fait consommer l'oxygène présent. Il s'agit du pouvoir auto-épurateur du milieu naturel, qui peut traiter une certaine quantité de matières organiques et retrouver ensuite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

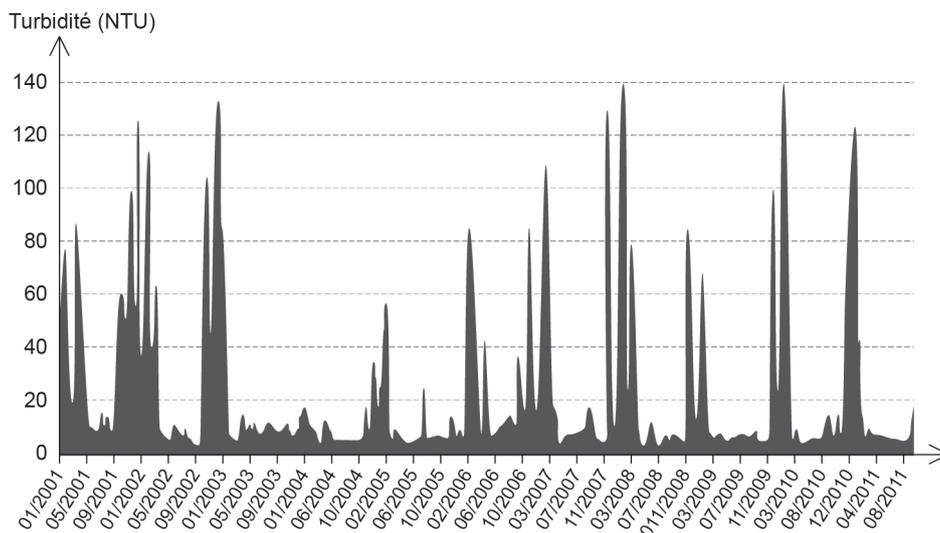
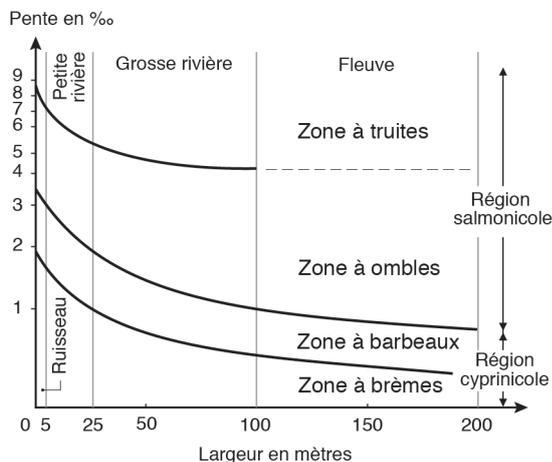


Fig. 2.3. Évolution sur 10 ans de la turbidité de la Marne (source : SAGE Marne Confluence)

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.

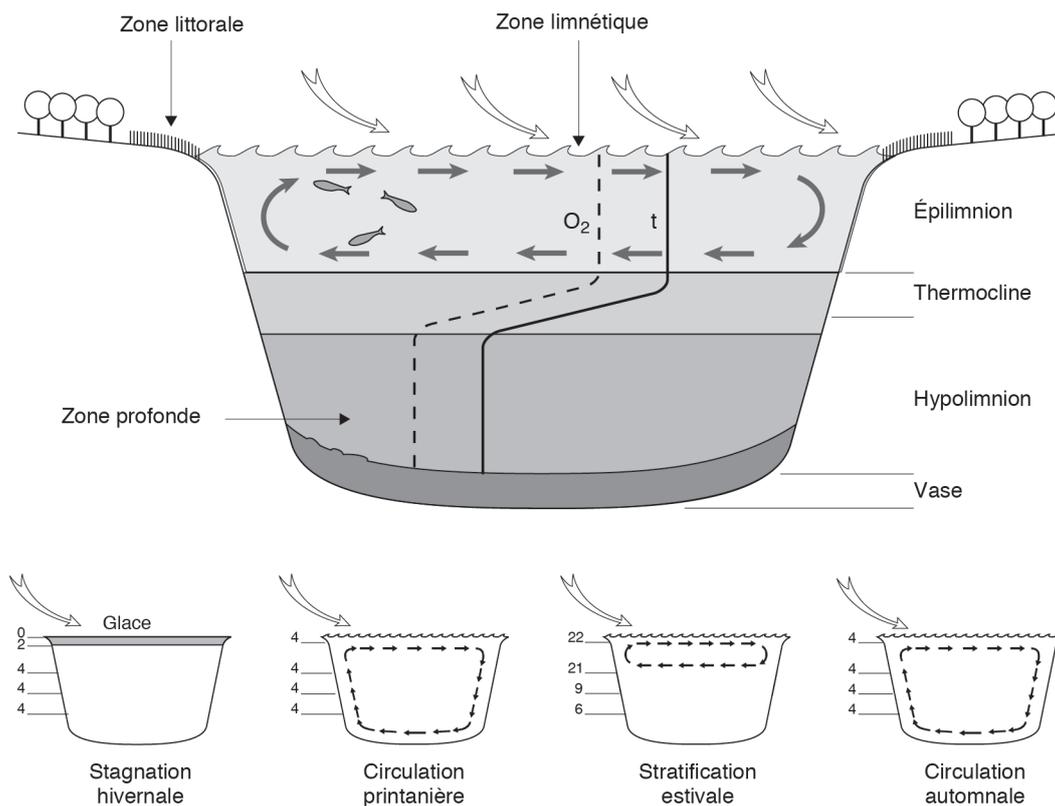
Les eaux de surface sont bien éclairées ce qui permet le développement abondant d'un phytoplancton dégageant beaucoup d'oxygène favorable à une vie animale prospère. En raison d'une forte consommation des bioéléments par les organismes, l'eau s'appauvrit progressivement. Les cadavres et les excréments 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

---

---

# 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
<b>2.1</b>	<b>Un milieu vivant</b> .....	24
2.1.1	Ruisseaux, rivières et fleuves .....	25
2.1.2	Lacs et canaux .....	29
2.1.3	Eaux marines .....	31
<b>2.2</b>	<b>Usages de l'eau</b> .....	31
2.2.1	Interdépendance des usages de l'eau .....	31
2.2.2	Répartition des usages .....	32
<b>2.3</b>	<b>Modification des milieux sous l'effet des pollutions</b> .....	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
<b>2.4</b>	<b>Gestion globale de l'eau et des milieux aquatiques</b> .....	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>Cluses 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 alkyphénols.....	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>	<b>339</b>
14.1	Déversoir à seuil frontal.....	340
14.2	Déversoir à seuil latéral.....	341
14.3	Déversoir à double seuil latéral.....	342
14.4	Déversoir avec ouverture en radier.....	342
14.5	Déversoir à effet vortex.....	343
14.6	Déversoir circulaire.....	343
14.7	Déversoir siphonoïde.....	343
14.8	Déversoir à vannage.....	344
14.9	Déversoir à évacuation retardée et prolongée.....	345
14.10	Déversoirs avec seuils à effacement.....	348
<b>15</b>	<b>Stations de pompage et équipements associés.....</b>	<b>351</b>
15.1	<b>Méthodologie de conception ou de contrôle fonctionnel.....</b>	<b>351</b>
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
15.2	<b>Stations de pompage particulières.....</b>	<b>373</b>
15.2.1	Postes de crues.....	373
15.2.2	Pompage en ligne.....	374
15.3	<b>Analyse fonctionnelle d'un ensemble de pompage complexe.....</b>	<b>375</b>
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
15.4	<b>Le phénomène du coup de bélier et les protections nécessaires.....</b>	<b>378</b>
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
15.5	<b>L'hydrogène sulfuré et les moyens de le réduire.....</b>	<b>386</b>
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> .....	388
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> .....	392
<b>16</b>	<b>Gestion des eaux pluviales et maîtrise du ruissellement</b> .....	395
<b>16.1</b>	<b>Méthodes de calcul d'un volume à stocker</b> .....	396
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> .....	405
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> .....	408
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> .....	422
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> .....	428
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> .....	435
<b>17.1</b>	<b>Les enjeux de l'imperméabilisation</b> .....	435
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> .....	440

<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
<b>Partie 3</b>	<b>Composantes d'un traitement</b> .....	477
<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 .....	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>	<b>752</b>
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>	<b>762</b>
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>	<b>767</b>
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>	<b>772</b>
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>	<b>775</b>
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>	<b>785</b>
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 étaitements 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>Métérologie</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'automatisation .....	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>Tarifification 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.

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



RÉFÉRENCE  
TECHNIQUE

EDITIONS

**LE MONITEUR**

## 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

ISSN 1257-9823

ISBN 978-2-281-11924-4



9 782281 119244