Louise Schriver-Mazzuoli

LA GESTION DURABLE DE L'EAU

Ressources • Qualité • Organisation

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



ÉDITEUR DE SAVOIRS

Illustrations intérieures : Ursula Bouteveille-Sanders

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.
Le Code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2012
ISBN 978-2-10-058050-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).
Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Chapitre 1 : Ressources en eau **1**

1.1 L'eau sur la terre 2
1.2 Les différents réservoirs d'eau douce continentaux 3
1.3 Le cycle de l'eau 17
1.4 Les composantes du cycle de l'eau 20
1.5 L'eau douce va-t-elle manquer ? 31

Chapitre 2 : Principales propriétés de l'eau **39**

2.1 Structure de la molécule d'eau 39
2.2 Les changements d'état de l'eau 43
2.3 Propriétés physiques de l'eau 46
2.4 Propriétés acido-basiques de l'eau 47
2.5 Propriétés de solubilisation de l'eau 50
2.6 Propriétés oxydoréductrices de l'eau 54
2.7 Équilibre calco-carbonique de l'eau 55

Chapitre 3 : Pollutions de l'eau. Éléments d'écotoxicologie **59**

3.1 Pollution microbiologique. Plancton toxique 60
3.2 Pollution organique 62
3.3 Pollution chimique 63
3.4 Pollution physique 69
3.5 Écosystèmes aquatiques 71
3.6 Écotoxicité 73

Chapitre 4 : Suivi de la qualité de l'eau douce **83**

4.1 Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau (SEQ-Eau) 84
4.2 Évaluation de l'état biologique (SEQ-Bio) 91
4.3 Évaluation de la qualité hydromorphologique (SEQ Physique) 100

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit

Chapitre 5 : Assainissement des eaux usées 105
5.1 Assainissement collectif et assainissement individuel 106
5.2 Système de collecte des eaux usées 107
5.3 Organisation et fonctionnement d'une station d'épuration 110
5.4 Procédés mécaniques et physiques de traitement des eaux usées 112
5.5 Procédés chimiques de traitement des eaux usées 118
5.6 Procédés biologiques de traitement des eaux usées 127
5.7 Filières extensives d'épuration 139
5.8 Traitement et valorisation des boues 144
5.9 Réutilisation des eaux usées traitées 152

Chapitre 6 : Production et qualité de l'eau potable 157
6.1 Normes de qualité 158
6.2 Captages 162
6.3 Potabilisation de l'eau captée 168
6.4 Distribution de l'eau. Contrôles 176
6.5 Les eaux en bouteilles 183
6.6 Le prix de l'eau potable 185

Chapitre 7 : Eaux de process 187
7.1 Critères de différentes eaux purifiées selon les standards de qualité des eaux 188
7.2 Obtention et caractéristiques de quelques eaux de process 191

Chapitre 8 : Organisation générale de la gestion de l'eau 205
8.1 Les instances de bassin 206
8.2 Les SDAGE et les SAGE 211
8.3 Les réseaux de surveillance 213
8.4 Les redevances 216
8.5 Maîtrise de l'eau 220
8.6 Le système d'information de l'eau 224
8.7 Actions internationales de la France dans le domaine de l'eau 226

Bibliographie 229

ANNEXES

Annexe 1 : Dessalement de l'eau de mer 233

Annexe 2 : Liste des substances ou familles de substances prioritaires pour « un bon état chimique des eaux » 237

Annexe 3 : Composition des neuf groupes faunistiques indicateurs pour l'évaluation de l'indice IBGN 239

Annexe 4 : Avantages et inconvénients des procédés extensifs d'épuration 241

Annexe 5 : Liste des bénéficiaires de l'aide publique au développement par le Comité d'aide au développement 243

Index **245**

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit

1 Ressources en eau

Préalablement au rappel de quelques propriétés de l'eau et à l'exposé des différentes actions mises en œuvre pour la gestion de l'eau, ce premier chapitre est consacré à l'état actuel des différentes sources disponibles d'eau douce et au cycle de l'eau, dont la connaissance est essentielle pour évaluer les ressources en eau. Sont également abordés les usages et besoins en eau ainsi que les menaces et les pressions dont l'eau fait l'objet.

L'eau liquide, dont les propriétés sont remarquables, est indispensable à la survie de l'humanité. Les ressources en eau, bien que renouvelables grâce au cycle de l'eau, ne sont pas inépuisables et sont menacées par de nombreuses pollutions, des prélèvements intensifs, les activités humaines. Inégalement répartie sur la terre, l'eau, désignée souvent par « l'or bleu », est devenue un enjeu international pouvant être source de conflits. Seule une gestion concertée intégrée de l'eau à l'échelle du bassin versant, locale et internationale, peut prévenir une pénurie qui se profile dans les prochaines années où les besoins d'une population grandissante augmenteront considérablement. La gestion de l'eau a plusieurs objectifs[1] :

- préserver les ressources en eau et les écosystèmes aquatiques en luttant contre les pollutions ;
- assurer l'assainissement des eaux usées et leur réutilisation ;
- donner à tout un chacun l'accès à l'eau potable ;
- prévenir et gérer les inondations et les sécheresses ;
- assurer une production alimentaire suffisante en sensibilisant les agriculteurs au respect du milieu et des ressources en eau ;
- permettre une production énergétique, le développement de l'industrie, des loisirs du tourisme et du transport fluvial.

1. Source : rapport de OIEau *Organisation de la gestion de l'eau en France*.

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit

La France a, en matière de gestion de l'eau, une expertise et un savoir-faire reconnus internationalement. La loi de 1964 et la « loi sur l'eau » de 1992, premières étapes d'une gestion coordonnée de la ressource en eau et de la prise en compte des milieux, ont été rénovées et améliorées par la « loi sur l'eau et les milieux aquatiques » du 30 décembre 2006. Cette loi (LEMA) doit permettre d'atteindre en 2015, à l'aide de nouveaux outils efficaces, « le bon état écologique des différents milieux aquatiques » défini par la directive cadre européenne sur l'eau du 23 octobre 2000.

1.1 L'eau sur la terre

L'eau recouvre 72 % de la surface de la terre, soit un total de 1 385 990 800 km^3 d'eau. 97,2 % sont salées et les océans et les mers (1 350 000 000 km^3) sont à l'origine de la couleur bleue de la Terre vue du ciel. L'eau douce ne représente que 2,8 % du total de l'eau mais 2,15 % sont immobilisées dans les glaciers. L'eau douce disponible est contenue dans les eaux souterraines (0,63 %), les eaux de surface (environ 0,02 %) et dans l'atmosphère (0,001 %). Le tableau 1.1 donne approximativement les stocks d'eau sur la terre.

Tableau 1.1 Volumes d'eau sur la terre en km^3.

Réservoir	Stock (volume d'eau présent à un instant donné) (km^3)
Océans	1 350 000 000
Eaux continentales	35 976 700
Glaciers	27 500 000
Eaux souterraines	8 200 000
Mers intérieures	105 000
Lacs d'eau douce	100 000
Humidité des sols	70 000
Rivières	1 700
Atmosphère (humidité de l'air)	13 000
Biosphère (cellules vivantes)	1 100
Eaux souterraines de la croûte terrestre	Pas d'estimation fiable

L'eau, qui est la même depuis son apparition il y a quatre milliards d'années, est recyclée en permanence. Les changements d'états de l'eau (états solide, liquide, gazeux) permettent sa circulation entre tous les réservoirs et son transfert par évaporation entre les océans et les continents. Le flux annuel de l'eau sous forme

liquide ou gazeuse est la vitesse par an à laquelle l'eau circule. Par exemple, des continents vers les océans, le flux est de 80 mm/an, et des océans vers l'atmosphère de 825 mm/an. Le taux de renouvellement est le rapport du stock au flux qui l'alimente, et le temps de résidence est l'inverse du taux de renouvellement. Les temps moyens de résidence d'une molécule d'eau dans les différents réservoirs sont approximativement de :

- 1 600 à 9 700 ans pour les glaciers ;
- 1 400 ans pour les eaux souterraines ;
- 2 500 ans pour les océans ;
- 1 à 17 ans pour les lacs ;
- 1 an pour l'humidité du sol ;
- 8 jours pour l'atmosphère.

L'eau est donc renouvelable mais non inépuisable ni invulnérable.

1.2 Les différents réservoirs d'eau douce continentaux

1.2.1 Les glaciers

Les glaciers se forment par accumulation de la neige. Le tassement créé par les différentes couches de neige de densité de 0,1 à 0,3 conduit à la formation d'un névé (densité de 0,5 à 0,8), constitué de glace et de neige, qui se transforme ensuite en glace (densité 0,3) à grande profondeur. La transformation peut se produire au bout de quelques années ou après un millier d'années à une profondeur pouvant atteindre quelques centaines de mètres. Presque tous les glaciers présentent une aire d'alimentation (accumulation de la glace) et une aire d'ablation où la glace perd de sa masse par fonte en donnant naissance à un torrent, ou par forte évaporation ou encore par velage d'icebergs. On appelle *ligne d'équilibre* la limite entre ces deux aires, ligne située en haute altitude mais variant avec les conditions climatiques.

Au-dessus de 50 mètres d'épaisseur, la glace acquiert une certaine plasticité et, par effet de gravité, se déforme et se déplace. La vitesse d'écoulement dépend de la topographie et de la constitution du glacier. Elle est plus faible près des parois latérales du glacier qu'en profondeur. En surface, le déplacement du glacier est à l'origine de cassures créant des séracs et des crevasses. À cause de ce déplacement, les glaciers sont des agents d'érosion, de transport de moraines latérales médianes, internes, et de dépôt de moraines frontales et de fond.

Selon leur importance, on distingue les glaciers locaux ou glaciers de montagne et les glaciers continentaux (calottes polaires). Au total, la surface des glaciers

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit

correspond à 11 % des terres émergées. Le tableau 1.2 donne les valeurs de quelques surfaces de glaciers.

Tableau 1.2 Surfaces en km² de quelques glaciers.

Glacier	Surface (km²)
Alpes françaises	300
Chaîne alpine totale	3 000
Sibérie	2 200
Islande	11 000
Himalaya	11 000
Patagonie et Terre de Feu	24 000
Alaska	74 000
Artique canadien	200 000
Groenland	1 700 000
Antarctique	14 000 000

Les dimensions et les formes des *glaciers de montagne* dépendent du relief sur lequel ils se sont formés. On les trouve sur tous les continents sauf en Australie et avec seulement une surface de 15 km² en Afrique. Parmi les différentes nomenclatures les caractérisant, on peut citer :

- les glaciers de vallée (exemple : la mer de glace), qui se développent dans une vallée et qui s'ouvrent sur une plaine avec un bassin d'alimentation en forme de cirque ;
- les glaciers suspendus, perchés sur le flanc d'une montagne et n'ayant pas de zone d'ablation (exemple : la Momie sur le Pelvoux) ;
- les glaciers de cirque, confinés dans un cirque (exemple : le glacier d'Arsine) ;
- les glaciers de piémont, qui sont des glaciers de vallée dont la zone d'ablation s'étale dans la plaine ;
- les glaciers côtiers, dont la langue rejoint la mer ou l'océan et qui se jettent dans des fjords comme en Norvège ou en Alaska ;
- des calottes locales perchées au sommet des montagnes et qui sont souvent des restes des grandes calottes polaires des temps glaciaires.

Les *glaciers continentaux* sont des calottes glaciaires formées pendant plusieurs milliers d'années sur un socle rocheux. Les deux plus importants recouvrent l'Antarctique, plus vaste que l'Europe et qui est la plus grande réserve d'eau douce de la planète. Sur certains côtés, la calotte déborde sur l'océan en de vastes

plates-formes de glace flottante (*ice shelf*) d'où se détachent des icebergs qui dérivent en fondant progressivement.

Les glaciers tendent à disparaître

Le réchauffement climatique constaté depuis plusieurs années a de grosses conséquences sur les glaciers et les banquises (eau de mer gelée sur une certaine épaisseur). Au Groenland, les glaciers ont diminué de 80 à 230 milliards de tonnes par an de 2003 à 2005. Une perte de masse de l'antarctique a aussi été observée ainsi que le recul des glaciers de montagne depuis les années 1990.

1.2.2 Les cours d'eau

Un cours d'eau est un chenal bien délimité où s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. En fait, on distingue :

- les fleuves, cours d'eau permanents ayant un débit important, de nombreux affluents et se jetant, à quelques exceptions près, dans la mer par un estuaire ou un delta ;
- les rivières, cours d'eau moyens à écoulement continu ou intermittent se jetant dans un fleuve en un point appelé confluent ou dans un lac ou encore dans une autre rivière ;
- les torrents, cours d'eau peu profonds, à vitesse rapide ayant une eau transparente bien aérée et dévalant sur une pente supérieure en moyenne de 0,05 mètre par mètre ;
- les ruisseaux, ruisselets, rus, cours d'eau peu larges à faible débit ;
- les oueds, cours d'eau temporaires des zones arides et semi-arides ;
- les ravines, cours d'eau des îles tropicales se jetant dans la mer et dont le débit peut être très important lors des crues.

Le *lit* d'un cours d'eau est l'espace qu'il occupe en permanence ou temporairement. On distingue :

- le lit mineur, délimité par les berges et occupé en période de pluviosité normale ;
- le lit majeur, ou plaine d'inondation, occupé lors des crues ;
- le lit d'étiage, occupé pendant la période de sécheresse et correspondant au niveau des basses eaux normales.

On appelle *bassin* la région, délimitée par des crêtes appelées lignes de partage des eaux, qui reçoit l'ensemble des eaux qui s'écoulent des terrains les plus élevés et qui a des caractéristiques physiques et biologiques homogènes. La masse d'eau, unité de référence de la directive cadre sur l'eau, correspond à des tronçons de

© Dunod - Toute reproduction non autorisée est un délit

cours d'eau homogènes physiquement et biologiquement. Elle prend en compte les hydroécorégions (22 en France) établies par l'IRSTEA (Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, ex-CEMAGREF, Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et fôrets) en 2002 rassemblant les déterminants primaires du fonctionnement des écosystèmes d'eau courante.

La position hiérarchique d'un cours d'eau dans l'ensemble d'un réseau hydrographique est généralement déterminée par l'*ordre de Strahler*, illustré figure 1.1.

Un cours d'eau issu d'une source et qui n'a pas reçu d'affluent est d'ordre 1. Un cours d'eau résultant de la confluence de deux cours d'eau d'un même ordre augmente d'une unité l'ordre du cours d'eau en aval de la confluence. Un cours d'eau formé de la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre le plus élevé des deux. Un segment qui reçoit un cours d'eau d'ordre inférieur conserve le même ordre. Le rang peut prendre les valeurs de 1 à 8.

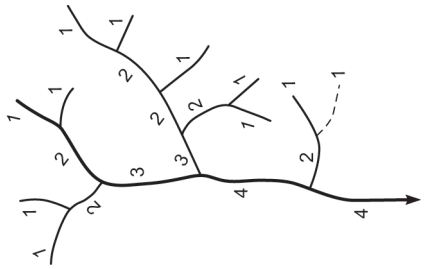


Figure 1.1 Attribution des numéros d'ordre hydrographiques d'après Strahler (d'après SIE Adour-Garonne).

Le *rang de Strahler* rend compte de la taille des cours d'eau. Six classes de taille ont été définies : très petits cours d'eau, petits cours d'eau, cours d'eau moyens, grands cours d'eau, très grands cours d'eau, grands fleuves. Le découpage en hydroécorégions permet de définir un ensemble de cours d'eau présentant des caractères physiques et biologiques similaires à même gradient d'évolution longitudinale. Les 22 hydroécorégions métropolitaines de niveau 1 ont été découpées en 112 hydroécorégions de niveau 2.

Le débit d'un cours d'eau en un point est la quantité d'eau exprimée en km^3 qui s'écoule en une seconde de l'amont à l'aval. Le *régime hydraulique* rend compte des caractéristiques hydrauliques du cours d'eau et des variations de son débit. On distingue :

- le régime simple, alternance annuelle de haute et de basse eau (un maximum et un minimum par an) avec un seul mode d'alimentation (glaciaire, nival ou pluvial) ;