

JEAN RODIER  **BERNARD LEGUBE**
avec la collaboration de Nicole Merlet

L'ANALYSE DE L'EAU CONTRÔLE ET INTERPRÉTATION

10^e édition
entièrement mise à jour

DUNOD

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 1^{er} 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, 2009, 2016
 © Dunod, 1959, 1^{re} édition
 11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
 www.dunod.com
 ISBN : 978-2-10-075412-0

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.

AVANT-PROPOS

■ Pourquoi une nouvelle édition ?

Alors que la dernière édition est sortie en 2009, les utilisateurs habituels de cet ouvrage sont en droit de se poser cette question. L'équipe de rédaction et l'équipe éditoriale y répondent en présentant ici les principaux objectifs de cette édition après avoir rappelé le contexte général.

■ L'eau douce, un enjeu probablement prioritaire au 21^e siècle

L'enjeu planétaire prioritaire du 21^e siècle sera très certainement celui des besoins croissants en eau douce de qualité. Les évolutions climatiques incontournables (car difficile à atténuer à court terme) ne feront qu'accroître l'importance de cet enjeu, de par la fréquence des assèchements des cours d'eau, la baisse très probable du niveau de recharge des aquifères et les difficultés croissantes à maintenir une qualité correcte pour l'eau potable, les milieux aquatiques et les autres usages. Une chimie et une microbiologie analytiques performantes de laboratoire seront toujours nécessaires pour relever ces défis, en s'appuyant sur des méthodes de dosage fiables, précises, sensibles et rapides, bien qu'en partie suppléées, comme on peut l'espérer, par des méthodes physico-chimiques en ligne (prélèvements et analyses) et des bio-essais sur sites.

■ Le regroupement des méthodes et techniques dans un même ouvrage était le principal objectif des neuf premières éditions

Il y a environ 60 ans maintenant que paraissait la première édition, époque où les problèmes de l'environnement n'étaient pas aussi réels et sensibles qu'aujourd'hui. Les laboratoires d'hydrologie étaient peu nombreux, les moyens en matériel et en personnel spécialisé étaient limités et les données n'étaient pas toujours faciles à utiliser en raison de leur dispersion dans divers traités, mémoires et revues. L'initiateur de cet ouvrage, Jean RODIER, procéda à un regroupement des méthodes de dosage qui constitua la première édition de l'ouvrage connu ensuite sous le nom du « RODIER », ouvrage analytique de référence en langue française pour les spécialistes de l'eau. Chacune des éditions successives s'efforça par la suite de tenir compte des progrès réalisés, particulièrement dans les techniques analytiques.

Après plusieurs années sans révision, Bernard LEGUBE et Nicole MERLET (de l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers) ainsi que Régis BRUNET (de IANESCO-Chimie de Poitiers) acceptèrent de prendre en charge la coordination de la révision complète de l'ouvrage, avec l'aide et les conseils d'éminents spécialistes. Outre une révision presque complète et très approfondie du contenu existant, un léger changement de plan et de présentation fut apporté à la 9^e édition.

■ Les objectifs de la 10^e édition : Analyse, Contrôle et Interprétation

Par rapport aux éditions précédentes et sans s'éloigner de la tradition analytique de cet ouvrage, nous avons souhaité intégrer de nombreuses nouveautés sur le **contrôle de la qualité** des eaux naturelles, les **contrôles du bon fonctionnement** des usines de production d'eau potable, des réseaux (eau potable, eau chaude sanitaire, eaux de refroidissement) et des stations d'épuration, tout en mettant à jour les **contextes réglementaires**.

L'introduction de plusieurs nouveaux paramètres dans ces contrôles (notamment pour les 2^e et 3^e cycles de la DCE) nous a imposé de revoir toute la partie « **Interprétation** », ce qui a été fait pour près de 300 paramètres chimiques complétés par 35 paramètres microbiologiques. Nous avons également repensé la présentation de cette partie « Interprétation », en la rendant à la fois plus complète et plus synthétique, et en enrichissant le propos sur les **notions de risque** pour la santé et pour les milieux naturels.

Les **autres milieux que l'eau douce**, mais en relation avec celle-ci, étaient le « parent pauvre » des éditions précédentes, ce qui est en partie corrigé avec des ajouts sur les analyses des biofilms, des boues et des sédiments, en plus de l'analyse de l'eau de mer qui était déjà développée.

De **nouvelles techniques et méthodes** ont été introduites (nouvelles par rapport à l'édition précédente), que ce soit au niveau des prélèvements (prélèvements passifs), des polluants émergents (cosmétiques, stupéfiants, nanoparticules, perchlorate, PFOS, PBDE...), de la microbiologie (mycobactéries, approche biomoléculaire...) et des bio-essais (effets perturbateurs endocriniens...).

Enfin, nous avons profité de cette nouvelle édition pour **mettre à jour** certaines méthodes physico-chimiques, chimiques et microbiologiques, ainsi que la bibliographie.

■ La structuration de la 10^e édition

La 10^e édition est structurée en quatre parties :

1^{re} partie : eaux naturelles, eau potable et réseaux,

2^e partie : eaux usées,

3^e partie : autres milieux en relation avec les eaux douces (eau de mer, biofilms, boues et sédiments),

4^e partie : présentation et interprétation des résultats,

et complétée par un mémento de laboratoire.

Un plan sommaire de cette édition est présenté ci-dessous, en regard des noms des collaborateurs et de leur apport respectif.

L'Analyse de l'eau Contrôle et Interprétation	
<i>Sous la direction de Bernard LEGUBE et de Nicole MERLET</i>	
Révisions et Nouveautés	Contributeurs
1^{ère} partie : Eaux naturelles, eau potable et réseaux	
A. Analyse physico-chimique	
Révisions	<ul style="list-style-type: none"> – Gilles POREL (A1-5) – Philippe NOMPX (A1; A2; A3; A4; A5; A7) – Jérôme LE COZ (A1-6) – Bernard LEGUBE (A6; A9) – Martine POTIN-GAUTHIER (A7) – Jean AUPAIS (A8) – Gwenaëlle LAVISON (A10) – Marie-Jeanne GOURMAUD (A10-33)
Nouveautés	<ul style="list-style-type: none"> – Sophie LISSALDE et Rémy BUZIER (Prélèvements intégratifs; A1-2) – Gaëtane LESPES (Nanoparticules; A3-4) – Benoit TEYCHENNE (Indices de colmatage; A3-10.4) – Gwenaëlle LAVISON (Plusieurs nouveaux paramètres)
B. Analyse microbiologique	
Révisions	– Laurent MOULIN et Sébastien WURTZER (B1; B2; B3; B4; B5; B6; B7; B8)
Nouveautés	– Laurent MOULIN et Sébastien WURTZER (Mycobactéries non tuberculeuses; Approche biomoléculaire)
C. Contrôle analytique du bon état des masses d'eau naturelle	
Révisions	<ul style="list-style-type: none"> – Dominique LAGORCE (C4) – Yannick MERLET (C4) – Éric ROCHARD (C4-5) – Yves LÉVI (C5; C6) – Nicole MERLET (C6; C7)
Nouveautés	<ul style="list-style-type: none"> – Bernard LEGUBE (Cadre réglementaire – Indicateurs physico-chimiques prioritaires des eaux naturelles – Eaux naturelles et changements climatiques : C1; C2; C3; C9) – Yves LÉVI (Effets perturbateurs endocriniens)
D. Contrôle, par analyse et tests, du bon fonctionnement des usines de production d'eau potable	
Nouveautés	– Bernard LEGUBE (Ensemble du chapitre D)
E. Contrôle du fonctionnement des réseaux et des circuits d'eau	
Nouveautés	– Nicole MERLET et Christophe FORET (Ensemble du chapitre E)
F. Contrôle de la désinfection chimique (toutes eaux)	
Révisions	– Bernard LEGUBE (F1; F2; F3; F4; F5; F6; F8; F9)
2^{ème} partie : Eaux usées	
G. Analyse des eaux usées	
Révisions	<ul style="list-style-type: none"> – Christophe DAGOT (G1; G2; G3) – Philippe NOMPX (G1; G2; G3)
H. Contrôle du fonctionnement des stations de traitement d'eaux usées	
Nouveautés	– Christophe DAGOT et Bernard LEGUBE (Ensemble du chapitre H)
3^{ème} partie : Autres milieux (en relation avec les eaux douces)	
I. Eau de mer	
Révisions	– Christian BECHEMIN (I1; I2; I3; I4; I5; I6; I7; I8; I9)

J. Caractérisation et analyse des biofilms	
Nouveautés	– Nicole MERLET et Jérôme LABANOWSKI (Ensemble du chapitre J)
K. Boues, Dépôts et Sédiments	
Révisions	– Pierre REBOUILLON (K-1; K2; K3) – Claire ALARY et Angel BELLES-LIMEUL (K-4) – Bernard LEGUBE (K1; K2; K3)
Nouveautés	– Claire ALARY et Angel BELLES-LIMEUL – Bernard LEGUBE
4^{ème} partie : Présentation et interprétation des résultats de l'analyse	
L. Conseils pour la présentation des résultats	
Révision	– Philippe NOMPEX (L1; L4)
Nouveautés	– Philippe NOMPEX et Annaïck Pape – Nicole MERLET – Bernard LEGUBE
M. Éléments d'interprétation des résultats	
Révisions	– Bernard LEGUBE (M1; M2) – Laurent MOULIN (M2)
Nouveautés	– Bernard LEGUBE (Le risque écologique; M3) – Bernard LEGUBE et Élodie AUBERTHEAU (Interprétation de l'analyse physico-chimique; M4) – Nicole MERLET et Laurent MOULIN (Interprétation de l'analyse microbiologique; M5)
N. Mémento du laboratoire d'analyse d'eau	
Révision	– Bernard LEGUBE

Ce manuel n'a évidemment pas la prétention d'apporter des connaissances nouvelles aux hyper-spécialistes. Comme initialement souhaité par Jean RODIER et ses collaborateurs, nous espérons que les praticiens de l'analyse, les enseignants, les étudiants et certains chercheurs dans le domaine de l'eau trouveront des bases et des détails utiles dans cette 10^e édition. Ils pourront également se reporter aux « suppléments en ligne » pour les plus anciennes techniques analytiques (aucune n'a été supprimée), pouvant encore être pratiquées quand les outils modernes ne sont pas disponibles.

Remerciements

L'équipe de rédaction tient à exprimer sa reconnaissance à tous les autres collaborateurs qui ont accepté avec spontanéité d'alourdir leur charge de travail pour apporter leurs connaissances et leur expérience dans des domaines analytiques de haute technicité. Il est impossible ici de les remercier individuellement, mais leurs conseils ou leurs travaux permettent à cette nouvelle édition de bénéficier des méthodes et technologies les plus récentes utilisées dans l'analyse des eaux.

L'équipe de rédaction

SUPPLÉMENTS EN LIGNE

Certaines méthodes d'analyses ne sont aujourd'hui plus utilisées, ou très peu. Elles ne sont donc pas détaillées dans cet ouvrage mais vous pourrez les retrouver intégralement en téléchargement.

Ces suppléments en lignes sont disponibles sur le site www.dunod.com sur la fiche dédiée au présent ouvrage. Un mot de passe se référant à ce dernier vous sera demandé pour pouvoir les télécharger.

ÉQUIPE DE RÉDACTION DE LA 10^e ÉDITION

Sous la direction de

Bernard LEGUBE

Professeur émérite de l'Université de Poitiers, Directeur honoraire de l'École Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers et du Laboratoire de Chimie et Microbiologie de l'Eau. Président du conseil scientifique de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Qualité des eaux – Traitement des eaux

Nicole MERLET

Professeur honoraire des universités – Laboratoire de Chimie et Microbiologie de l'Eau – École Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers (Université de Poitiers).

Qualité des eaux – Désinfection - Biofilms

Ont collaboré à la rédaction de la 10^e édition (par ordre alphabétique) :

Claire ALARY

Maître-Assistant à l'École des Mines de Douai et au Laboratoire Génie Civil et géo-environnement de Lille Nord de France et **Angel BELLES-LIM EUL**, chercheur dans les mêmes organismes.

Physico-chimie des sédiments

Élodie AUBERTHEAU

Chercheur à l'Université de Poitiers, Équipe « Eaux » de l'Institut de chimie des milieux et matériaux (IC2MP).

Chimie de l'eau, biofilms épilithiques

Jean AUPAIS

Directeur de recherche au CEA, département Analyse Surveillance Environnement.

Radiochimie

Christian BECHEMIN

Chercheur à l'IFREMER, Responsable du laboratoire Environnement Ressource des Pertuis Charentais (LER/PC), Responsable du laboratoire du Laboratoire de Génétique et de Pathologie des Mollusques Marins (LGPMM).

Chimie marine et écologie du phytoplancton

Rémy BUZIER

Maître de conférences à l'Université de Limoges, Groupement de recherche Eau, Sol, Environnement (GRESE).

Échantillonnage passif, contaminants émergents, analyse LCMS, GCMS, non-target screening, mobilité des métaux/métalloïdes.

Christophe DAGOT

Professeur à l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Limoges (ENSIL) de l'Université de Limoges, Groupement de recherche Eau, Sol, Environnement (GRESE).

Eaux résiduaires, génie des procédés en épuration

Christophe FORÊT

Directeur technique adjoint de la société KURITA France.

Eaux chaudes sanitaires et eaux de refroidissement

Marie-Jeanne GOURM AUD

Responsable du département analyse des micropolluants organiques du laboratoire d'analyses et d'essais IANESCO – Poitiers.

Analyse chimique de l'eau, micropolluants organiques

Jérôme LABANOWSKI

Chargé de recherche CNRS à l'Université de Poitiers, Équipe « Eaux » de l'Institut de chimie des milieux et matériaux (IC2MP).

Chimie et microbiologie de l'eau, biofilms épilithiques, sédiments

Dominique LAGORCE

DREAL Aquitaine-Limousin- Poitou-Charentes, Unité Connaissance des Eaux, des Milieux Aquatiques et Planification.

Qualité des eaux, indicateurs biologiques

Gwenaëlle LAVISON

Responsable du département micropolluants organiques de Eau de Paris.

Analyse chimique de l'eau, micropolluants organiques

Jérôme LE Coz

Chercheur (IPEF) à Irstea Lyon-Villeurbanne, Unité de recherche Hydrologie-Hydraulique.

Hydraulique des cours d'eau, hydrométrie

Gaëtane LESPES

Professeur à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, Institut des Sciences Analytiques et de Physicochimie pour l'Environnement et les Matériaux.

Analyse physico-chimique, métaux, nanoparticules

Yves LÉVI

Professeur à l'Université Paris sud, faculté de pharmacie, UMR Écologie Systématique Évolution, CNRS, AgroParisTech. De l'Académie des Technologies. De l'Académie nationale de Pharmacie. Correspondant de l'Académie nationale de Médecine. De l'Académie de l'eau.

Eau, Santé, Bio-essais

Sophie LISSAIDE

Ingénieur de recherche à l'Université de Limoges, Groupement de recherche Eau, Sol, Environnement (GRESE).

Échantillonnage passif, contaminants émergents, analyse LCMS, GCMS, non-target screening, mobilité des métaux/métalloïdes

Yannick MERET

Ingénieur honoraire de la DIREN Poitou-Charentes.

Indices de qualité biologique

Laurent MOUIN

Responsable du département R&D Biologie – Risques sanitaires à Eau de Paris, et **Sébastien WURTZER** chercheur dans le même département.

Analyse microbiologique, virologie & biologie moléculaire

Philippe NOMPEX

Responsable des services physico-chimie, microbiologie, micropolluants minéraux et hydrobiologie du laboratoire d'analyses et d'essais IANESCO – Poitiers.

Analyses physico-chimiques et biologiques environnementales, micropolluants minéraux

Annaïck PAPE

Responsable Qualité Hygiène Sécurité Environnement du Laboratoire IANESCO à Poitiers.

Gilles POREL

Maître de conférences à l'Université de Poitiers, Équipe « Hydrasa » de l'Institut de chimie des milieux et matériaux (IC2MP).

Hydrogéologie

Martine POTTIN-GAUTHIER

Professeur à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, Institut des Sciences Analytiques et de Physicochimie pour l'Environnement et les Matériaux.

Analyse chimique, Physico-chimie, Spéciation, métaux/métalloïdes, Environnement/Vivant

Pierre REBOUILLON

Aix-Marseille Université – Faculté de Pharmacie.

Physico-chimie des dépôts et sédiments

Éric ROCHARD

Directeur de recherche IRSTEA Bordeaux.

Écosystèmes, poissons

Benoît TEYCHENE

Maître de conférences à l'École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers (ENSIP) de l'Université de Poitiers, Équipe « Eaux » de l'Institut de chimie des milieux et matériaux (IC2MP).

Procédés membranaires

ÉQUIPE DE RÉDACTION DE LA 9^e ÉDITION

Sous la direction de :

Bernard LEGUBE

Professeur des universités en chimie et traitement des eaux

Directeur de l'École Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers (Université de Poitiers)

Directeur du Laboratoire de Chimie et Microbiologie de l'Eau (UMR 6008 Université de Poitiers – CNRS)

Nicole MERLET

Professeur honoraire des universités en chimie et traitement des eaux

Laboratoire de Chimie et Microbiologie de l'Eau (UMR 6008 Université de Poitiers – CNRS) – École Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers (Université de Poitiers)

Régis BRUNET

Directeur du Laboratoire Ianesco (Institut d'analyses et d'essais en chimie de l'Ouest) – Biopôle – Poitiers

Principaux secteurs d'activités: eaux et environnement, emballages et matériaux au contact des aliments

Ont collaboré à la rédaction de la 9^e édition de cet ouvrage :

Jean-Claude MIALOCQ CEA Saclay, Direction des Sciences de la Matière, Institut Rayonnement Matière de Saclay, Laboratoire de Radiolyse, Gif-sur-Yvette

Pierre LEROY Spécialiste Corrosion et Entartrage.
Ancien Directeur Scientifique du CRECEP

Marilyne HOUSSIN Docteur en microbiologie, biologie moléculaire.
Laboratoire Départemental Frank Duncombe

Gwenaëlle LAVISON Docteur en chimie analytique, Responsable du département micro-polluants organiques du CRECEP

Christian BECHEMIN Chercheur Ifremer, chimie marine et écologie du phytoplancton, Laboratoire Environnement Ressource des Pertuis Charentais (LER/PC)

Michel VINCENT Océanologue, Expert-Consultant en Environnement Littoral & Aquaculture.

Pierre REBOUILLON	Expert en environnement – Président de la S.A.S. COPRAMEX
Laurent MOULIN	Docteur en microbiologie, Responsable du département R & D biologie du CRECEP
Patrick CHOMODÉ	Cadre technique du département microbiologie du CRECEP
Pascale DUJARDIN	Cadre technique du département microbiologie du CRECEP
Sylvie GOSSELIN	Cadre technique du département R & D biologie du CRECEP
René SEUX	Professeur honoraire de l'EHESP (École des Hautes Études en Santé Publique), Directeur honoraire du Laboratoire d'études et de recherche en environnement et santé
Fadi Al MARDINI	Docteur en chimie et microbiologie de l'eau Laboratoire de Chimie et Microbiologie de l'Eau (UMR 6008 Université de Poitiers – CNRS)

COLLABORATEURS DES ÉDITIONS PRÉCÉDENTES

Christine BAZIN, maître ès sciences,
DEA écologie des eaux continentales,
responsable de l'Unité d'écotoxicologie du département d'hygiène appli-
quée à l'homme et à son environnement
Institut Pasteur de Lyon
Avenue Tony Garnier
69365 Lyon Cedex 07
(5, rue Pasteur, 69000 Oullins)

Jean-Paul ΒΡΟΥΤΙΝ, ingénieur chimiste,
chef de Section de Métrologie et de Surveillance de l'Environnement
CEA – Centre de Cadarache
13108 Saint-Paul lez Durance
(36, rue Bedarride, 13600 Aix en Provence)

Paul CHAM BON, docteur en pharmacie,
professeur de Toxicologie,
Faculté de pharmacie de Lyon
Institut Pasteur de Lyon
Département d'hygiène appliquée à l'homme et à son environnement
Avenue Tony Garnier
69365 Lyon Cedex 07
(52, avenue Clémenceau, 69230 Saint-Genis Laval)

Hervé CHAM PSAUR, médecin biologiste
maître de conférence à l'Université Paris XI
Praticien des Hôpitaux de Paris
Directeur du Laboratoire régional d'hygiène et de biologie, Nice
(Villa Chenaie, Parc des Salins, 83990 Saint Tropez)

Lucienne RODI, ex-ingénieur à la Compagnie nationale d'aménagement du
Bas-Rhône Languedoc
18, rue des Quatre Vents
30700 Bagnols/Cèze

Jean RODIER, Docteur en pharmacie (état et université),
inspecteur en Chef honoraire de la Santé publique
159, route de Tarascon
84000 Avignon

Avec l'assistance technique de Éliane CERUTTI.

SOMMAIRE

1^{re} Partie: Eaux naturelles, eau potable et réseaux

- A** Analyse physico-chimique
- B** Analyse microbiologique des eaux
- C** Contrôle analytique du bon état des masses d'eau naturelle – Indicateurs biologiques de qualité – Bioessais
- D** Contrôle, par analyses et tests, du fonctionnement des usines de production d'eau potable
- E** Contrôle du fonctionnement des réseaux et des circuits d'eau
- F** Contrôle de la désinfection chimique (toutes eaux)

2^e Partie: Eaux usées

- G** Analyse des eaux usées
- H** Contrôle du fonctionnement des stations de traitement d'eaux usées

3^e Partie: Autres milieux (en relation avec les eaux douces)

- I** Eau de mer
- J** Caractérisation et analyse des biofilms
- K** Boues, dépôts, sédiments

4^e Partie: Présentation et interprétation des résultats de l'analyse

- L** Conseils pour la présentation des résultats
- M** Éléments d'interprétation de résultats
- N** Mémento du laboratoire d'analyse d'eau

TABLE DES MATIÈRES

1^{RE} PARTIE

EAUX NATURELLES, EAU POTABLE ET RÉSEAUX

A

Analyse physico-chimique

1 • Prélèvements, connexions aquifères, débits cours d'eau	5
1.1 Prélèvement de l'eau par échantillonnage actif et conservation	5
1.1.1 Différentes procédures de prélèvement,	5
1.1.2 Matériel de prélèvement,	6
1.1.3 Mode de prélèvement <i>versus</i> type de masse d'eau,	7
1.1.4 Volume de prélèvement,	8
1.1.5 Conditionnement et filtration,	8
1.1.6 Entre prélèvement et analyse,	9
1.1.7 Périodicité,	10
1.1.8 Enregistrement,	10
1.1.9 Aide-mémoire,	11
1.2 Prélèvement intégratif par échantillonnage passif	14
1.2.1 Principe, apports et limitations actuelles,	15
1.2.2 Principaux types d'échantillonneurs passifs,	17
1.2.3 Échantillonneur à membrane semi-perméable – Semi Permeable Membrane Device (SPMD),	20
1.2.4 Gradient de diffusion en couche mince - Diffusive Gradient in Thin film (DGT),	22
1.2.5 Échantillonneur intégratif de composés polaires - Polar Organic Chemical Integrative Sampler (POCIS),	25
1.2.6 Chemcatcher®,	28
1.2.7 Bande de polyéthylène basse densité - Low Density PolyEthylène (LDPE),	31
1.2.8 Bande de caoutchouc de silicone - Silicone rubber (SR),	33
1.2.9 Précautions nécessaires pour la quantification <i>in situ</i> ,	35
1.3 Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau	36
1.4 Principales analyses à effectuer sur site	37

1.5 Détermination des connexions hydrauliques et des propriétés des aquifères : utilisation de traceurs	38
1.5.1 Objectif des essais de traçage, 39	
1.5.2 Précautions à prendre lors des essais de traçage, 40	
1.5.3 Critères de choix des traceurs, 40	
1.5.4 Principaux traceurs utilisés, 41	
1.5.5 Techniques d'analyse des traceurs, 46	
1.5.6 Interprétation des essais de traçage, 47	
1.6 Mesure des débits	49
2 • Caractères organoleptiques	59
2.1 Couleur (Référence de qualité « Eau potable »)	59
2.2 Odeur (Référence de qualité « Eau potable »)	61
2.3 Goût, saveur, flaveur (Référence de qualité « Eau potable »)	65
3 • Particules en suspension, colloïdes et nanoparticules	69
3.1 Taille des particules dans les eaux naturelles	69
3.2 Matières décantables	70
3.3 Matières en suspension	71
3.3.1 Méthode par filtration sur fibre de verre, 71	
3.3.2 Méthode par centrifugation, 72	
3.3.3 Méthode par ultra-centrifugation, 73	
3.3.4 Examen microscopique du dépôt (*), 73	
3.4 Nanoparticules et particules colloïdales	73
3.4.1 Analyse dimensionnelle, 74	
3.4.2. Détermination de la concentration et de la composition, 78	
3.4.3. Autres informations: physicochimie de surface, 79	
3.4.4. Exemple de démarche analytique, 80	
3.5 Résidu total	82
3.6 Turbidité (limite de qualité « Eau potable »)	82
3.6.1 Méthode « des gouttes de mastic », 85	
3.6.2 Méthode à la silice, 85	
3.6.3 Méthode néphélométrique à la formazine, 85	
3.7 Potentiel ZETA	86
3.8 Potentiel d'écoulement (ou « Streaming Current Detector – SCD » ou « Streaming Current Meter – SCM » ou « Streaming Potential Detector – SPD »)	87
3.9 Pouvoir colmatant	89
3.10 Indices de colmatage	89
3.10.1 Modèles de colmatage des pores, 89	
3.10.2 Indice de colmatage FI (<i>Fouling Index</i>), 90	
3.10.3 Indice de colmatage MFI (<i>Modified Fouling Index</i>), 92	
3.10.4 Indice de colmatage UMFI (<i>Unified Membrane Fouling Index</i>), 92	

4 • Gaz dissous (gaz de l'eau)	95
4.1 Solubilité des gaz dans l'eau	95
4.2 Dosage des gaz totaux	96
4.3 Oxygène dissous	97
4.4 Dioxyde de carbone (anhydride carbonique)	101
5 • Salinité totale, potentiels et titres	103
5.1 Résidus et sels dissous totaux	103
5.1.1 Résidu sec (ou sels dissous totaux sur eau filtrée), 103	
5.1.2 Résidu minéralisé et perte au feu, 104	
5.1.3 Détermination du résidu fixe sulfaté, 105	
5.2 Conductivité électrique (Référence de qualité « Eau potable »)	105
5.2.1 Mesure de la conductivité électrique, 105	
5.2.2 Conductivité équivalente et conductivité réelle, 111	
5.2.3 Conductivité permanente, 111	
5.2.4 Minéralisation globale de l'eau, 111	
5.3 pH (Référence de qualité « Eau potable »)	113
5.3.1 Méthode colorimétrique, 114	
5.3.2 Méthode potentiométrique avec électrode de verre, 114	
5.3.3 Solutions tampons de référence, 117	
5.4 Potentiel d'oxydo-réduction	121
5.5 rH	124
5.6 Acidité	124
5.6.1 Acidité forte, 125	
5.6.2 Dioxyde de carbone dissous (CO ₂ libre), 125	
5.7 Alcalinité (TA-TAC)	129
5.7.1 Titre alcalimétrique simple (TA), 130	
5.7.2 Titre alcalimétrique complet (TAC), 130	
5.7.3 Méthode titrimétrique de dosage du TA et du TAC, 132	
5.7.4 Méthode pH-métrique au point équivalent, 133	
5.7.5 Méthode potentiométrique, 134	
5.7.6 Méthode par flux continu, 135	
5.7.7 Relations entre les titres alcalimétriques (TA et TAC) et les concentrations en anions fondamentaux, 137	
5.8 Carbone minéral total	137
5.9 Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)	138
5.9.1 Dureté totale par titrimétrie à l'EDTA, 139	
5.9.2 Détermination de la dureté calcique, 141	
5.9.3 Détermination de la dureté magnésienne, 141	
5.10 Titre acidimétrique (TACi) ou Anions d'acides forts ou Sels d'acides forts (SAF)	141

6 • Équilibre calcocarbonique (agressivité, entartrage)	145
6.1 Rappel historique des diverses méthodes proposées	146
6.2 Données analytiques nécessaires aux calculs d'équilibre calcocarbonique	147
6.3 Aspects théoriques de l'équilibre calcocarbonique	148
6.3.1 Relations entre les concentrations des éléments dissous, 148	
6.3.2 Relations entre des éléments dissous et des éléments d'une autre phase, 149	
6.3.3 Éléments fondamentaux – éléments caractéristiques, 150	
6.3.4 Relations entre les éléments fondamentaux – bases des représentations graphiques, 151	
6.4 Détermination de l'agressivité ou du caractère entartrant d'une eau et utilisation des méthodes graphiques	151
6.4.1 Indice de LANGELIER, 151	
6.4.2 Méthode de HALLOPEAU et DUBIN, 152	
6.4.3 Diagramme de LEGRAND et POIRIER, 153	
7 • Cations et anions	161
7.1 Méthodes instrumentales pour l'analyse des cations et des anions	162
7.1.1 Spectrométrie d'absorption moléculaire (absorption des radiations lumineuses de l'UV et du visible), 164	
7.1.2. Analyse en flux, 168	
7.1.3 Chromatographie ionique (CI), 172	
7.1.4 Spectrométrie d'émission de flamme, 185	
7.1.5 Spectrométrie d'absorption atomique (SAA), 191	
7.1.6 Spectroscopie atomique (émission ou masse) avec plasma à couplage inductif (ICP-OES ou ICP-MS), 201	
7.1.7 Électrodes ioniques spécifiques-Potentiométrie, 209	
7.1.8 Analyse par activation, 213	
7.2 Aluminium (référence de qualité « Eau potable »)	213
7.3 Ammonium (référence de qualité « Eau potable »)	215
7.4 Antimoine (limite de qualité « Eau potable »)	220
7.5 Argent	222
7.6 Arsenic (limite de qualité « Eau potable »)	223
7.7 Baryum (limite de qualité « Eau potable »)	225
7.8 Béryllium	227
7.9 Bismuth	228
7.10 Borate et bore (limite de qualité « Eau potable »)	229
7.11 Bromate (limite de qualité « Eau potable »)	234
7.12 Bromure	237
7.13 Cadmium (limite de qualité « Eau potable »)	238
7.14 Calcium	240
7.15 Carbonate et bicarbonate (ou hydrogénocarbonate)	245
7.16 Césium	246
7.17 Chlorate	246
7.18 Chlorite	247

7.19 Chlorure (référence de qualité «Eau potable»)	247
7.20 Chromate	252
7.21 Chrome (limite de qualité «Eau potable»)	253
7.22 Cobalt (limite de qualité «Eau potable»)	258
7.23 Cuivre (limite de qualité «Eau potable»)	259
7.24 Cyanure (limite de qualité «Eau potable»)	261
7.25 Étain	262
7.26 Fer (référence de qualité «Eau potable»)	263
7.27 Fluorure et fluor (limite de qualité «Eau potable»)	266
7.28 Gallium	269
7.29 Germanium	270
7.30 Indium	271
7.31 Iodure et Iode	271
7.32 Lithium	275
7.33 Magnésium	276
7.34 Manganèse (référence de qualité «Eau potable»)	277
7.35 Mercure (limite de qualité «Eau potable»)	278
7.36 Molybdène	288
7.37 Nickel (limite de qualité «Eau potable»)	289
7.38 Nitrate (limite de qualité «Eau potable»)	290
7.39 Nitrite (limite de qualité «Eau potable»)	296
7.40 Perchlorate	300
7.41 Phosphate	300
7.42 Plomb (limite de qualité «Eau potable»)	305
7.43 Plutonium	307
7.44 Potassium	307
7.45 Radium	309
7.46 Sélénium (limite de qualité «Eau potable»)	309
7.47 Silicate soluble (orthosilicate) et silice totale	311
7.48 Sodium (référence de qualité «Eau potable»)	317
7.49 Strontium	318
7.50 Sulfate (référence de qualité «Eau potable»)	319
7.51 Sulfite et composés soufrés réducteurs	325
7.52 Sulfure	328
7.53 Thallium	328
7.54 Thiocyanate	329
7.55 Thiosulfate	329
7.56 Thorium	329
7.57 Titane	330
7.58 Tritium (limite de qualité «Eau potable»)	331
7.59 Uranium	331
7.60 Vanadium	331
7.61 Zinc	332

8 • Radioactivité	335
8.1 Généralités	335
8.1.1 Radioactivité naturelle, 335	
8.1.2 Radioactivité artificielle, 335	
8.1.3 Exposition annuelle de la population, 336	
8.2 L'eau	336
8.2.1 Qualité radiologique de l'eau, 336	
8.2.2 Conservation et manipulation des échantillons d'eau, 337	
8.3 Détermination de la radioactivité d'un échantillon	337
8.3.1 Spectrométrie gamma, 338	
8.3.2 Spectrométrie alpha, 339	
8.3.3 Mesure de la radioactivité bêta, 340	
8.3.4 Sources de référence pour l'étalonnage des appareils, 340	
8.3.5 Limite de détection et seuil de décision, 341	
8.3.6 Modèle statistique, 341	
8.3.7 Expression des résultats, 341	
8.4 Actinides	342
8.4.1 Uranium, 342	
8.4.2 Plutonium, 343	
8.4.3 Transuraniens (Pu, Am, Cm, Np) par spectrométrie alpha, 344	
8.4.4 Radium, 345	
8.4.5 Radon, 345	
8.5 Strontium 90 et Yttrium 90	346
8.5.1 Indice de radioactivité β global en équivalent strontium 90, 346	
8.5.2 Activité du strontium 90, 346	
8.6 Tritium	347
8.7 Carbone 14	349
8.8 Césium 137	349
8.8.1 Méthode au phosphomolybdate d'ammonium, 349	
8.8.2 Méthode du iodobismuthate de césium, 349	
9 • Paramètres organiques globaux	351
9.1 Indice permanganate (référence de qualité «Eau potable»)	352
9.2 Demande chimique en oxygène (DCO)	355
9.3 Demande biochimique en oxygène (DBO)	355
9.4 Carbone organique total (COT) (référence de qualité «Eau potable»)	357
9.5 Carbone organique dissous biodégradable (CODB)	360
9.5.1 Méthode par bactéries fixées, 361	
9.5.2 Méthode par bactéries en suspension, 364	
9.6 Azote total et azote organique	366
9.6.1 Azote Kjeldahl (NK), 366	
9.6.2 Azote par minéralisation au peroxydisulfate, 369	
9.6.3 Dosage de l'azote global par chimiluminescence après oxydation en oxydes d'azote, 369	

9.7 Composés phosphorés et phosphore total	371
9.7.1 Détermination des phosphates hydrolysables,	372
9.7.2 Détermination du phosphore total et du phosphore organique,	373
9.8 Composés organohalogénés (AOX)	375
9.9 Absorbance UV et absorbance UV spécifique (SUVA)	380
9.10 Matière organique naturelle et substances humiques	381
9.10.1 Fractionnement de la matière organique des eaux par filtration sur résines XAD,	383
9.10.2 Analyse chromatographique de classes de composés organiques: acides aminés et sucres,	385
10 • Micropolluants organiques	387
10.1 Méthodes instrumentales pour l'analyse des micropolluants organiques	388
10.1.1 Préparation et traitement de l'échantillon,	388
10.1.2 Chromatographie,	408
10.2 Acides haloacétiques	421
10.3 Acrylamide (limite de qualité «Eau potable»)	424
10.4 Agents de surface (tensioactifs, détergents)	425
10.5 Alcanes polychlorés à chaîne courte	430
10.6 Aldéhydes (et chloroaldéhydes)	432
10.7 AOX (et TOX)	436
10.8 Benzène (limite de qualité «Eau potable»)	438
10.9 Benzo(a)pyrène (limite de qualité «Eau potable»)	438
10.10 Bisphénols	438
10.11 BTEX	441
10.12 Chlorobenzènes	444
10.13 Chlorure de vinyle (limite de qualité «Eau potable»)	445
10.14 Complexants	445
10.15 Composés perfluorés (PFCs)	450
10.16 Cosmétiques	450
10.17 (1,2) – Dichloroéthane (limite de qualité «Eau potable»)	453
10.18 Dioxines	453
10.19 Ethers diphényles polybromés (PBDE)	454
10.20 Epichlorhydrine (limite de qualité «Eau potable»)	454
10.21 Hydrocarbures aromatiques monocycliques	456
10.22 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (limite de qualité «Eau potable»)	460
10.23 Hydrocarbures halogénés aliphatiques volatils	465
10.24 Hydrocarbures totaux (indice hydrocarbure)	469
10.25 MTBE (et ETBE)	473
10.26 Microcystine LR (limite de qualité «Eau potable»)	473
10.27 Mercaptans	476
10.28 Nitrosamines (NDMA)	477

10.29 Organostanniques	478
10.30 PBDE – Ethers diphényles polybromés	478
10.31 PFCs – Composés perfluorés	481
10.32 Perturbateurs endocriniens de type œstrogéniques (hormones)	483
10.33 Pesticides et apparentés (limite de qualité « Eau potable »)	489
10.33.1 Organochlorés par chromatographie gazeuse, 492	
10.33.2 Organophosphorés (et organothiophosphorés) par chromatographie gazeuse, 497	
10.33.3 Triazines par chromatographie gazeuse, 502	
10.33.4 Phénylurées et triazines par chromatographie liquide, 503	
10.33.5 Acides phénoxyalcanoïques par chromatographie gazeuse, 506	
10.33.6 Glyphosate et AMPA par chromatographie liquide, 509	
10.33.7 Aminotriazole par chromatographie gazeuse, 512	
10.33.8 Méthodes multi-classes par chromatographie gazeuse, 512	
10.33.9 Méthode multi-classes par chromatographie liquide, 517	
10.34 Phénols	521
10.34.1 Méthode à l' amino-4-antipyrine (indice phénol), 522	
10.34.2 Méthode par spectrométrie infra-rouge, 525	
10.34.3 Chlorophénols par chromatographie gazeuse, 525	
10.34.4 Chlorophénols par chromatographie liquide haute performance, 527	
10.34.5 Nitrophénols par chromatographie gazeuse, 528	
10.34.6 Nonylphénols et alkylphénols, 530	
10.34.7 Bisphénols dont bisphénol A, 532	
10.35 Phtalates	533
10.36 PCB (Polychlorobiphényles)	534
10.37 Résidus pharmaceutiques	534
10.38 Stupéfiants	536
10.39 Tétrachloroéthylène et trichloroéthylène (limite de qualité « Eau potable »)	538
10.40 Trihalométhanes (THM) (limite de qualité « Eau potable »)	538
Bibliographie	539

B

Analyse microbiologique des eaux

1 • Généralités	569
2 • Méthodes générales de prélèvement, transport et conservation	571
2.1 Matériel de prélèvement	571
2.1.1 Choix et stérilisation des récipients, 571	
2.1.2 Appareils de prélèvement, 572	
2.2 Méthodes générales de prélèvement	572
2.2.1 Prélèvement à un robinet, 572	
2.2.2 Prélèvement dans un puits à l'aide d'un plongeur, 573	
2.2.3 Prélèvement dans une rivière, 574	
2.2.4 Prélèvement dans un lac ou une rivière profonde, 574	
2.2.5 Prélèvement aux griffons des sources, 574	
2.3 Prélèvements avec concentration de la population bactérienne (méthode de Moore) par adsorption sur de la gaze hydrophile	574
2.3.1 Prélèvement dans les eaux de surface, 575	
2.3.2 Prélèvement au robinet de distribution, 576	
2.4 Transport et conservation au laboratoire	576
3 • Méthodes générales d'examen bactériologique des eaux	579
3.1 Méthodes générales de dénombrement après concentration	579
3.1.1 Concentration <i>in situ</i> par adsorption, 579	
3.1.2 Concentration au laboratoire par filtration sur membranes, 579	
3.1.3 Dénombrement sur membrane filtrante, 581	
3.2 Méthodes générales de dénombrement direct par numération des colonies après ensemencement sur (ou dans) une gélose nutritive	582
3.2.1 Caractères généraux, 582	
3.2.2 Dénombrement par incorporation en gélose, 583	
3.2.3 Dénombrement par étalement en surface, 584	
3.3 Méthode générale de dénombrement en milieu liquide par détermination du nombre le plus probable (NPP)	584
3.3.1 Méthodologie, 584	
3.3.2 Systèmes d'ensemencement, 586	
3.3.3 Avantages et inconvénients des dénombrements sur milieux liquides, 593	

4 • Bactéries indicatrices de contamination et d'efficacité de traitement	595
4.1 Dénombrement des germes totaux par épifluorescence	595
4.2 Dénombrement des bactéries aérobies revivifiables (germes aérobies mésophiles, hétérotrophes)	597
4.2.1 Méthode par incorporation en milieu gélosé,	598
4.2.2 Méthode par ensemencement en surface sur milieu gélosé,	600
4.3 Dénombrement des coliformes	601
4.3.1 Classification des coliformes. Intérêt et modalités de leur recherche,	601
4.3.2 Méthode de dénombrement par filtration sur membrane,	603
4.3.3 Méthode de détermination du nombre le plus probable (NPP) par inoculation de tubes en milieux liquides (ou fermentation en tubes multiples),	605
4.3.4 Dénombrement des <i>Escherichia coli</i> par ensemencement en milieu liquide (NPP) en microplaques,	608
4.4 Dénombrement des <i>Enterococcus</i>	610
4.4.1 Classification. Intérêt et modalités de leur recherche,	610
4.4.2 Méthode par filtration sur membrane,	611
4.4.3 Méthode par ensemencement en milieu liquide pour détermination du nombre le plus probable (méthode en tubes),	612
4.4.4 Méthode de dénombrement des <i>Enterococcus</i> par ensemencement en milieu liquide (NPP) sur microplaque,	614
4.5 Recherche et dénombrement des bactéries sulfito-réductrices et de leurs spores	617
4.5.1 Signification de la recherche de ces bactéries,	617
4.5.2 Méthode par incorporation en gélose,	619
4.5.3 Méthode par enrichissement en milieu liquide,	620
4.5.4 Méthode par filtration sur membrane,	622
4.5.5 Recherche et dénombrement des spores de <i>Clostridium</i> sulfito-réducteurs,	624
4.6 Recherche des bactériophages	625
5 • Bactéries spécifiques	629
5.1 Recherche de <i>Campylobacter jejuni</i>	629
5.2 Recherche et dénombrement des <i>Legionella</i> et de <i>Legionella pneumophila</i>	631
5.3 Recherche des leptospires	637
5.4 Recherche et dénombrement de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	638
5.5 Recherche des <i>Salmonella</i>	640
5.6 Recherche des staphylocoques pathogènes	651
5.7 Recherche du vibron cholérique et des <i>Vibrio</i>	653
5.8 Recherche de <i>Yersinia enterocolitica</i>	655
5.9 Recherche des bactéries sulfato-réductrices (vibrions sulfato-réducteurs)	657
5.10 Recherche et dénombrement des actinomycètes	660
5.11 Recherche de mycobactéries dans l'eau	661

6 • Analyse virale	665
6.1 Détection des virus dans l'eau	665
6.1.1 Méthode de concentration sur laine de verre, 668	
6.1.2 Méthode de concentration sur filtres électrochargés, 672	
6.1.3 Méthode de concentration sur filtre en microfibrilles de verre, 672	
6.1.4 Méthode de concentration sur poudre de verre, 675	
6.1.5 Méthode de concentration des enterovirus dans les boues, 675	
6.2 Concentration secondaire des virus (laine de verre, filtres électrochargés et microfibre de verre)	677
6.3 Concentration tertiaire des virus	677
6.4 Isolement et numération des virus	678
6.4.1 Méthode des plages, 678	
6.4.2 Dénombrement par microméthode en milieu liquide (NPP), 679	
6.5 Identification des virus	680
6.5.1 Caractérisation des virus isolés, 680	
6.5.2 Identification des enterovirus isolés, 680	
6.5.3 Identification des souches vaccinales de poliovirus, 680	
6.6 Méthodes moléculaires	680
7 • Parasitologie	683
7.1 Introduction	683
7.2 Description du pathogène	684
7.3 Méthode	684
7.4 Mode opératoire	686
7.4.1 Première concentration sur cartouche filtrante, 686	
7.4.2 Éluion, 687	
7.4.3 Récupération des parasites (réaction IMS), 688	
7.4.4 Identification (morphologie et taille) et le dénombrement des parasites, 690	
7.4.5 Expression des résultats, 692	
7.4.6 Contrôle qualité, 692	
8 • Les amibes libres	693
8.1 Introduction	693
8.2 Pathologie	693
8.3 Domaine d'application	694
9 • Bonnes pratiques de biologie moléculaire	699
9.1 L'extraction des acides nucléiques	699
9.1.1 Les technologies, 699	
9.1.2 Conservation, 700	
9.2 L'amplification et détection des amplicons	701
9.2.1 Les technologies d'amplification, 701	
9.2.2 Les technologies de détection, 702	
9.2.3 Matériel, 706	
9.2.4 Conception des amorces et sondes, 706	

9.3 L'analyse	708
9.3.1 Les contrôles, 708	
9.3.2 Évaluation des performances, 709	
9.3.3 L'interprétation, 711	
9.4 L'environnement et matériel	711
9.4.1 Environnement, 712	
9.4.2 Matériel, 712	
Bibliographie	713

C

Contrôle analytique du bon état des masses d'eau naturelle – Indicateurs biologiques de qualité – Bioessais

1 • Généralités	723
1.1 Évaluation de l'état écologique des eaux	723
1.2 Écotoxicologie en milieu aquatique	724
2 • Cadre réglementaire – Les SDAGEs	727
2.1. La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE)	727
2.2. Les masses d'eau naturelle	728
2.3. Qu'est-ce que le « bon état » d'une masse d'eau douce de surface ?	729
2.4. Qu'est-ce que le « bon état » global d'une masse d'eau souterraine ?	730
2.5. Pour les masses d'eau côtière et de transition	731
2.6. Les SDAGEs (et PDM)	731
3 • Les indicateurs physico-chimiques prioritaires de la qualité des eaux naturelles	735
3.1. Les paramètres physico-chimiques utiles à l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau douce de surface (NQE des SP et SDP)	735
3.2. Les paramètres physico-chimiques utiles à l'évaluation de l'état écologique des masses d'eau douce de surface (NQE des PSEE)	736
3.3. Les paramètres physico-chimiques utiles à l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine (Valeurs seuils nationales)	737
3.4. Les objectifs de suppression et de réduction en 2021	750
3.5. La liste de vigilance	750

4 • Les indices (indicateurs) biologiques de la qualité des eaux naturelles	753
4.1 Généralités	753
4.2 Indice biologique global normalisé (IBGN)	754
4.2.1 Méthode Petits Cours d'Eau (MPCE), 761	
4.2.2 Méthode Grands Cours d'Eau (MGCE), 767	
4.3 Indice biologique diatomées (IBD)	770
4.4 Indice biologique macrophytique en rivière (IBMR)	775
4.5 Indice poissons rivière (IPR)	778
4.6 Indice oligochète de bioindication des sédiments (IOBS)	782
4.7 Compléments succincts sur les nouveaux indices (en préparation)	786
5 • Biomasse végétale planctonique	787
5.1 Chlorophylle et phéopigments	787
5.1.1 Dosage des chlorophylles a et b par HPLC, 788	
5.1.2 Dosage de la chlorophylle a et de l'indice phéopigments par spectrométrie d'absorption moléculaire, 789	
5.2 Efflorescences de cyanobactéries	793
5.2.1 Cyanobactéries et cyanotoxines, 793	
5.2.2 Détection des proliférations, analyse des cyanobactéries, 794	
6 • Les essais de toxicité ou bioessais	797
6.1 Sélections des modèles biologiques pour les essais	798
6.2 Protocole général des méthodes d'essai	804
6.3 Inhibition de la luminescence de la bactérie <i>Vibrio fischeri</i>	806
6.4 Inhibition de croissance d'une population d'algues vertes chlorococcale	812
6.5 Inhibition de la mobilité du crustacé cladocère <i>Daphnia magna</i>	816
6.6 Détermination de la toxicité létale vis-à-vis d'un poisson d'eau douce (<i>Brachydanio rerio</i>)	819
6.7 Détermination de la toxicité aiguë d'une substance vis-à-vis de <i>Salmo gairdneri</i>	823
6.8 Mesure des effets génotoxiques	825
6.9 Évaluation des effets perturbateurs endocriniens	827
7 • Méthodes biologiques pour le contrôle sur site et en continu de la toxicité des eaux	833
7.1 Contexte	833
7.2 Les tests biologiques utilisables sur site	833
7.2.1 Les biodétecteurs disponibles: principes de base et objectifs, 833	
7.2.2 Systèmes basés sur l'inhibition de la luminescence bactérienne, 835	
7.2.3 Systèmes basés sur la fluorescence algale, 836	
7.2.4 Systèmes basés sur l'activité photosynthétique algale, 837	
7.2.5 Systèmes basés sur l'activité locomotrice de la Daphnie, 837	
7.2.6 Systèmes basés sur le mouvement des valves des moules, 837	

7.2.7	Systèmes basés sur le comportement de nage du poisson,	838
7.2.8	Systèmes utilisant des poissons électrogènes,	838
7.3	Les stations d'alerte	839
7.4	Test poisson (<i>Brachydanio rerio</i>) adapté à une pollution accidentelle	841
8	• Eaux naturelles et changements climatiques	843
8.1	Généralités	843
8.2	Vers une évolution préoccupante des débits et niveaux d'eau douce naturelle et de la température des eaux de surface	843
8.3	Des impacts inévitables sur la qualité physico-chimique et microbiologiques des eaux naturelles	844
8.4	Les impacts sur le littoral	844
8.5	Les impacts sur les usages de l'eau	845
8.6	Les mesures	845
Bibliographie		847

D

Contrôle, par analyses et tests, du fonctionnement des usines de production d'eau potable

1	• Qualité des ressources – traitement et distribution	857
1.1	Qualité des ressources destinées à la production d'eau potable	857
1.2	Traitement et distribution	858
2	• Cadre réglementaire – limites et références de qualité	859
2.1	Les principes de la réglementation actuelle	859
2.2	Les exigences de qualité	859
2.3	Les contrôles sanitaire et interne	862
3	• Contrôle de la clarification	863
3.1	Contrôles analytiques utiles	863
3.2	Expérience du Jar-test	864
3.3	Essai en colonne de décantation	866
3.4	Expérience du flottatest	866
3.5	Contrôle du lit filtrant d'un filtre à profondeur	867