

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 : 978-2-10-075678-0

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 l'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	– Gilles POREL (A1-5) – Philippe NOMPEX (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	– 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	– Dominique LAGORCE (C4) – Yannick MERLET (C4) – Éric ROCHARD (C4-5) – Yves LÉVI (C5; C6) – Nicole MERLET (C6; C7)
Nouveautés	– 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	– Christophe DAGOT (G1; G2; G3) – Philippe NOMPEX (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 BELES-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 AUPiais

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 (LGPM).

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 GOURMAUD

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 MOUUN

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 POTIN-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 REBOUILLOU

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 BROUÏN, 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 microfibres 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 <i>a</i> et <i>b</i> par HPLC, 788	
5.1.2 Dosage de la chlorophylle <i>a</i> 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

3.6 Performances à atteindre en clarification	869
3.6.1 Après coagulation/floculation et décantation ou flottation,	869
3.6.2 Après filtration en profondeur,	869
3.7 Principaux dysfonctionnements sur les paramètres de qualité	870
3.7.1 Sur la turbidité,	870
3.7.2 Sur la fuite de coagulant (Fe ou Al),	870
3.7.3 Sur un mauvais abattement du COT,	870
4 • Contrôle de la désinfection	871
4.1 Les contrôles analytiques utiles	871
4.2 Détermination du « C.t » en désinfection chimique	872
4.3 Tests en désinfection chimique	874
4.4 Tests en désinfection UV	875
4.5 Performances maximales à atteindre en désinfection (valeurs annoncées par la bibliographie)	876
4.5.1 Rétention par capture en clarification conventionnelle complète,	876
4.5.2 Rétention par filtration membranaire,	877
4.5.3 Inactivation par désinfection chimique au chlore et dérivés (pour des « C .t » > 15 min.mg/L),	877
4.5.4 Inactivation par désinfection chimique au dioxyde de chlore (pour des « C.t » de 10 à 15 min.mg/L),	877
4.5.5 Inactivation par désinfection chimique à l'ozone (pour des « C.t » de 1,6 à 2 min.mg/L),	877
4.5.6 Inactivation par désinfection UV (pour une dose de 400 J/m ²),	878
4.6 Maîtrise du risque de formation de sous-produits de désinfection	878
4.6.1 Formation de THM (et AOX) par chloration,	878
4.6.2 Formation de bromates par ozonation,	879
4.6.3 Formation de chlorites et chlorates par désinfection au ClO ₂ ,	879
4.6.4 Photo-produits par désinfection UV,	880
4.7 Désinfection chimique en réseau	880
5 • Contrôle des traitements spécifiques et d'affinage	881
5.1 Mise à l'équilibre	881
5.2 Affinage par charbon actif couplé ou non à l'ozonation	882
5.2.1 Les contrôles analytiques utiles,	883
5.2.2 Les différents tests,	883
5.2.3 Performances à atteindre en affinage sur charbon actif,	884
5.2.4 Principaux dysfonctionnements sur les paramètres de qualité,	884
5.3 Affinage pour élimination de composés minéraux spécifiques	885
5.3.1 Les contrôles analytiques utiles,	885
5.3.2 Les tests possibles,	885
6 • Contrôle des membranes	887
6.1 Objectifs des procédés à membrane	887
6.2 Analyses et tests utiles	887

6.3 Contrôles des propriétés membranaires	887
6.3.1 Contrôle de la perméabilité, 888	
6.3.2 Autres propriétés à contrôler éventuellement, 888	
6.4 Tests sur membrane	888
6.4.1 Tests d'innocuité sur membranes et modules neufs, 888	
6.4.2 Tests d'intégrité sur membranes et modules en service, 889	

Bibliographie	891
----------------------	------------

E

Contrôle du fonctionnement des réseaux et des circuits d'eau

1 • Dégradation de la qualité des eaux en réseau	897
1.1 Paramètres influençant l'évolution de la qualité de l'eau dans les circuits	897
1.2 Les croissances bactériennes en réseau et leur rôle dans la dégradation de la qualité des eaux	898
1.3 <i>Legionella</i> et légionellose	902
2 • Distribution de l'eau potable	905
2.1 Cadre réglementaire	905
2.2 Caractéristiques et dysfonctionnements des réseaux	905
2.3 Paramètres à contrôler dans les eaux transportées	908
2.3.1 Teneur en désinfectant résiduel et évolution, 908	
2.3.2 Microorganismes, 910	
2.3.3 Particules, 910	
2.3.4 Teneur en matière organique, 911	
2.3.5 Sous-produits de désinfection, 911	
2.3.6 Métaux, 912	
2.3.7 Micropolluants organiques, 913	
2.4 Voies d'amélioration	913
3 • Réseaux d'eaux chaudes sanitaires (ECS)	915
3.1 Caractéristiques des installations d'ECS et domaines d'utilisation	915
3.2 Les risques infectieux liés aux eaux chaudes	917
3.3 Contexte réglementaire	917
3.4 Les enjeux dans les ERP	919
3.5 Contrôle et maîtrise du risque légionelle dans les réseaux d'ECS	920

4 • Circuits de refroidissement (installations de dispersion d'eau dans un flux d'air)	923
4.1 Caractéristiques des tours de refroidissement	924
4.2 Problèmes rencontrés: pathologies des réseaux et proliférations de légionelles	926
4.3 Aspects réglementaires	927
4.3.1 Régime de classement dans la rubrique 2921 des ICPE,	927
4.3.2 Modalités de surveillance des légionelles,	928
4.3.3 Entretien préventif et surveillance de l'installation,	928
4.3.4 Procédures à suivre en cas de dépassement,	929
4.3.5 Maîtrise de la qualité des rejets,	930
4.4 Stratégies de traitement des installations de refroidissement	931
4.5 Maîtrise de l'entartrage et de la corrosion	932
4.6 Procédés de nettoyage et de désinfection des circuits	933
4.6.1 Traitement chimique par des produits biocides oxydants,	934
4.6.2 Traitement chimique par des produits biocides non oxydants,	935
4.6.3 Utilisation de composés à propriétés tensio-actives,	935
4.7 Gestion hydraulique des installations	936
4.8 Méthodes de suivi des installations	937
Bibliographie	939

F

Contrôle de la désinfection chimique (toutes eaux)

1 • Généralités	945
1.1 Objectifs de la désinfection par voie chimique	945
1.2 Critères d'évaluation de la désinfection	946
1.3 Choix et conditions d'application des désinfectants chimiques	949
1.3.1 Eau potable,	949
1.3.2 Eaux de piscines,	949
1.3.3 Circuits de refroidissement,	950
1.3.4 Eaux résiduelles urbaines épurées,	950
2 • Chlore et chloramines	951
2.1 Chimie du chlore et des chloramines	951
2.1.1 Réactions chlore/ammoniacale,	952
2.1.2 Réactions avec les ions bromures,	954
2.1.3 Formation de composés organohalogénés,	954

2.2 Analyse des solutions concentrées (eaux et extraits de Javel) par titrage iodométrique	955
2.3 Dosage du chlore résiduel total	957
2.4 Dosage du chlore résiduel total, libre ou combiné	959
2.5 Demande en chlore	970
3 • Dioxyde de chlore	973
3.1 Chimie et réactivité du dioxyde de chlore	973
3.2 Préparation des solutions mères de dioxyde de chlore	974
3.3 Analyse des solutions concentrées	975
3.4 Dosage du dioxyde de chlore résiduel	979
3.5 Demande en dioxyde de chlore	987
4 • Ozone	989
4.1 Chimie de l'ozone	989
4.2 Dosage de l'ozone dans l'air ozoné	990
4.3 Dosage de l'ozone dans l'eau	993
4.4 Demande en ozone	996
5 • Brome et iode	999
5.1 Formes chimiques et utilisations	999
5.2 Dosage du brome ou de l'iode résiduel par la méthode à la N, N-diéthylphénylène-1,4 diamine (DPD)	999
5.3 Dosage du brome ou de l'iode résiduel par ampérométrie	1000
6 • Peroxyde d'hydrogène	1001
6.1 Formes chimiques et utilisations	1001
6.2 Analyse des solutions concentrées	1001
6.3 Dosage du peroxyde d'hydrogène résiduel par la méthode au sel de titane (méthode d'EISENBERG)	1004
7 • Acide peracétique	1007
7.1 Formes chimiques et utilisations	1007
7.2 Dosage de l'acide peracétique par méthode volumétrique (iodométrie et manganimétrie)	1008
7.3 Dosage de l'acide peracétique résiduel par chromatographie liquide haute performance	1009
8 • Chloroisocyanurates	1011
8.1 Formes chimiques et utilisations	1011
8.2 Dosage de l'acide isocyanurique et des chloroisocyanurates dans les eaux de piscines	1012
8.3 Dosage de l'acide isocyanurique en présence de chlore libre	1014

9 • Polyhexaméthylène biguanide (PHMB)	1015
9.1 Formes chimiques et utilisations	1015
9.2 Dosages spectrométriques du PHMB	1016
Bibliographie	1019

2^E PARTIE EAUX USÉES

G

Analyse des eaux usées

1 • Prélèvements	1027
1.1 Prélèvements	1027
1.2 Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eaux usées	1029
1.3 Caractéristiques et composition des eaux usées	1030
1.4 Approches analytiques envisageables	1031
2 • Critères globaux de pollution	1033
2.1 Objectifs et principe des critères globaux	1035
2.2 Matières en suspension (MES et MVS)	1036
2.3 Turbidité	1037
2.4 Matières en solution	1038
2.5 Matières décantables	1038
2.6 Matières totales ou matières sèches (MS)	1038
2.7 Pouvoir oxydo-réducteur (E_H et rH)	1039
2.8 Demande biochimique en oxygène (DBO)	1040
2.9 Demande chimique en oxygène (DCO)	1048
2.10 Carbone organique total (COT)	1056
2.11 Demande totale en oxygène (DTO)	1056
2.12 Oxydabilité au permanganate de potassium	1057
2.13 Azote	1057
2.14 Phosphore	1058
2.15 Test de putrescibilité au bleu de méthylène	1059
2.16 Biodégradabilité des eaux usées	1059
2.17 Matières oxydables	1059
2.18 Métox	1060
2.19 Matières inhibitrices	1061
2.20 Analyse UV multiparamètre	1061

3 • Dosages particuliers	1065
3.1 Agents de surface	1066
3.1.1 Agents de surface anioniques, 1066	
3.1.2 Agents de surface cationiques, 1067	
3.1.3 Agents de surface non ioniques, 1068	
3.2 AGV (Acides gras volatils)	1070
3.3 AOX (et TOX)	1071
3.4 Cyanates	1071
3.5 Dosage des cyanures	1073
3.5.1 Dosage des cyanures dits « libres », 1073	
3.5.2 Dosage des cyanures dits « aisément libérables », 1075	
3.5.3 Dosage des cyanures dits « totaux », 1076	
3.6 EDTA sel tétrasodique	1080
3.7 Huiles émulsifiées	1084
3.8 Hydrazine	1086
3.8.1 Dosage spectrométrique à la paradiméthylaminobenzaldéhyde, 1086	
3.8.2 Dosage par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse, 1087	
3.9 Hydrocarbures	1088
3.10 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	1088
3.11 Matières organiques extractibles (huiles, graisses)	1088
3.12 Métaux « lourds » et minéraux divers	1089
3.13 Morpholine (et autres amines)	1090
3.14 Phénols	1093
3.15 Polychlorobiphényles	1093
3.16 Résidus de médicaments et hormones	1093
3.17 Soufre réducteur	1093
3.17.1 Composés soufrés réducteurs par titrimétrie, 1094	
3.17.2 Sulfures par méthode iodométrique, 1095	
3.17.3 Sulfures par méthode potentiométrique, 1097	
3.17.4 Sulfites, 1098	
3.18 Stupéfiants	1099
3.19 Thiocyanates	1100
4 • Microbiologie et parasitologie	1101
4.1 Généralités	1101
4.2 Dénombrement des œufs d'helminthes dans les eaux usées	1101
Bibliographie	1105

H

Contrôle du fonctionnement des stations de traitement d'eaux usées

1 • Eaux usées & assainissement	1111
1.1 Les eaux usées	1111
1.2 L'assainissement collectif	1111
1.3 L'assainissement individuel ou autonome	1112
2 • Cadre réglementaire - performances minimales	1113
2.1 Les principes de la réglementation actuelle	1113
2.2 Arrêté du 21 juillet 2015	1113
2.3 Arrêté du 9 août 2006 sur les rejets en eau de surface	1116
2.4 Circulaire du 29/09/2010 sur la surveillance des micropolluants	1116
3 • Paramètres d'exploitation des stations d'épuration biologique	1119
3.1 Les charges	1119
3.1.1 Charge massique, 1119	
3.1.2 Charge volumique, 1119	
3.2 Les temps de séjour	1120
3.2.1 Temps de séjour hydraulique, 1120	
3.2.1 Âge des boues (ou temps de séjour des solides), 1120	
3.3 Les taux de recyclage	1121
3.3.1 Taux de recyclage des boues, 1121	
3.3.2 Recirculation de la liqueur mixte, 1121	
3.4 La production de boue	1121
3.5 Autres paramètres de dimensionnement	1122
3.5.1 Indice de MOLHMAN – Indice de boue – Taux de boue, 1122	
3.5.2 Vitesse ascensionnelle, 1123	
3.5.3 La consommation d'oxygène, 1123	
3.6 Exemples de valeurs des paramètres	1124
4 • Caractérisation par analyse et essais des eaux à traiter	1125
4.1 Estimation simple de la biodégradabilité d'une eau	1125
4.2 Caractérisation approfondie d'un effluent et modélisation des effets épuratoires	1126
4.2.1 Fractionnement, 1126	
4.2.1 Identification, 1127	
4.2.3 Modélisation, 1128	
4.3 Essais de simulation de boues activées	1131

5 • Caractérisation par analyse et essais des biomasses et des boues	1135
5.1 Activité de la biomasse – Mesure respirométrique	1135
5.2 Essai d'inhibition de la respiration des boues activées	1137
5.3 Potentiel Bio-Méthanogène (BMP)	1139
5.4 Analyse physico-chimique, chimique et microbiologique des boues	1141
5.5 Tests physiques sur les boues	1141
5.5.1 Siccité de la boue, 1141	
5.5.2 Décantabilité, 1141	
5.5.3 Filtrabilité – Résistance spécifique et compressibilité, 1142	
6 • Essais et tests pour dimensionnement	1147
6.1 Capacité d'oxygénation d'un bassin d'aération	1147
6.2 Principaux essais à mener en traitement physico-chimique	1150
6.2.1 Expérience du « Jar test » ou flocculateur à hélices, 1150	
6.2.2 Essai en colonne de décantation, 1150	
6.2.3 Expérience du flottatest, 1151	
6.3 Principaux essais à mener en traitement tertiaire et désinfection par voie physico-chimique	1151
6.3.1 Affinage par charbon actif couplé ou non à l'ozonation, 1151	
6.3.2 Désinfection chimique, 1152	
6.3.3 Désinfection UV, 1152	
6.4 Utilisation de membranes	1152
Bibliographie	1153

3^E PARTIE

AUTRES MILIEUX

(EN RELATION AVEC LES EAUX DOUCES)

I

Eau de mer

1 • Généralités et prélèvements	1159
1.1 L'eau de mer, un milieu aquatique particulier	1159
1.2 Prélèvements	1161
1.3 Stockage	1164

2 • Mesure du pH	1165
3 • Salinité	1167
3.1 Dosage des halogénures	1168
3.2 Mesure de la conductivité électrique	1172
4 • Alcalinité	1173
4.1 Alcalinité totale	1173
4.2 Alcalinité carbonatée	1176
4.3 Carbone minéral total	1176
4.4 Pression partielle en CO ₂ et concentration en CO ₂ libre	1176
4.5 Concentration en hydrogénocarbonates	1177
4.6 Concentration en carbonates	1177
5 • Anions	1187
5.1 Bore	1187
5.2 Bromures	1187
5.3 Cyanures	1188
5.4 Fluorures	1188
5.5 Nitrites	1188
5.6 Nitrates	1190
5.7 Composés phosphorés	1192
5.7.1 Orthophosphates, 1193	
5.7.2 Phosphore total, 1193	
5.7.3 Phosphore organique, 1193	
5.7.4 Polyphosphates, 1194	
5.8 Silicates	1194
5.9 Sulfures	1198
6 • Cations	1201
6.1 Concentration par cocrystallisation	1201
6.2 Concentration par extraction liquide-liquide	1203
6.3 Concentration par coprécipitation	1204
6.4 Concentration par résines	1206
6.5 Détermination des éléments à l'état de traces par spectrométrie d'absorption atomique	1207
6.6 Détermination des éléments à l'état de traces par spectrométrie d'émission ou de masse avec plasma à couplage inductif (ICP/OES ou ICP/MS).	1207
6.7 Détermination des éléments à l'état de traces par polarographie à redissolution anodique	1207
7 • Constituants organiques	1211
7.1 Azote organique	1212
7.1.1 Méthode par dosage de l'ammonium après minéralisation, 1212	

7.1.2	Méthode par dosage des nitrites et nitrates après photo-oxydation, 1213	
7.1.3	Méthode par dosage des nitrates après oxydation par le persulfate de potassium sous pression, 1213	
7.1.4	Méthode de dosage de l'azote total par oxydation à haute température, 1215	
7.2	Carbone organique	1215
7.3	Demande biochimique en oxygène (DBO)	1216
7.4	Demande chimique en oxygène (DCO)	1216
7.5	Oxydabilité au permanganate de potassium (indice permanganate)	1216
7.6	Résidus d'hydrocarbures	1216
7.7	Micropolluants organiques	1219
8 •	Dosages particuliers	1221
8.1	Oxygène dissous	1221
8.2	Estimation de la radioactivité due aux émetteurs gamma	1224
8.3	Uranium	1225
8.4	Chlorophylle	1226
8.5	Phéophytine	1231
9 •	La mesure des matières inhibitrices (MI) en eau de mer	1235
9.1	Notion d'écotoxicité ou l'effet des produits	1235
9.2	Les bio-essais: Principe	1235
9.3	Détermination de l'écotoxicité	1236
9.4	Le test «daphnie»	1237
9.5	Le test «artémia»	1238
9.6	Le test sur des bactéries luminescentes	1238
9.7	Autres indicateurs biologiques	1239
9.8	Bio-essais <i>in situ</i>	1239
Bibliographie		1241

J

Caractérisation et analyse des biofilms

1 •	Contexte	1249
1.1	Les biofilms dans les circuits d'eau	1249
1.2	Les biofilms épilithiques ou environnementaux	1250

2 • Objectifs et stratégie d'analyse	1251
3 • Collecte et récupération	1253
3.1 Méthodes de collecte des biofilms	1253
3.2 Techniques de grattage du matériau	1253
3.3 Récupération par sonication	1254
4 • Phases cristallisées et morphologie	1257
4.1 Microscopie électronique à balayage (MEB) – Couplage avec un système de détection en dispersion d'énergie du rayonnement X émis (EDS)	1257
4.2 Microscopie électronique en transmission (MET)	1258
4.3 Microscopie confocale à balayage laser	1259
4.4 Diffraction de rayons X (DRX)	1260
4.5 Analyse chimique de surface par spectrométrie de photoélectrons (XPS)	1260
4.6 Caractérisation par spectrométrie infrarouge (FTIR)	1261
4.7 Microscopie à force atomique (AFM)	1262
4.8 Détermination de l'épaisseur des biofilms	1263
4.8.1 Détermination de l'épaisseur et de l'élasticité par voie électrochimique (analyse du transport de matière),	1263
4.8.2 Détermination de l'épaisseur par analyse du transfert thermique,	1266
5 • Analyse chimique et physico-chimique	1269
5.1 Analyses globales	1269
5.1.1 Détermination de la teneur en matière organique,	1269
5.1.2 Analyse des éléments minéraux,	1270
5.1.3 Analyse élémentaire (C, H, N, O, S),	1271
5.2 Analyse de micropolluants organiques et minéraux dans les biofilms	1272
6 • Analyse microbiologique	1275
6.1 Dénombrement des bactéries totales et cultivables des biofilms	1275
6.1.1 Dénombrement des bactéries hétérotrophes cultivables,	1275
6.1.2 Dénombrement des bactéries totales par épifluorescence,	1276
6.2 Méthodes de biologie moléculaire pour la détection et le dénombrement de sous-groupes bactériens	1278
6.3 Analyse des légionelles dans les biofilms	1279
6.4 Évaluation de la biomasse active par ATP-métrie	1279
7 • Analyse <i>in situ</i>	1281
Bibliographie	1283

K

Boues, dépôts, sédiments

1 • Généralités	1287
1.1 Contexte	1287
1.1.1 Boues, 1287	
1.1.2 Dépôts, 1288	
1.1.3 Sédiments, 1288	
1.2 Aspect normatif de l'analyse	1288
2 • Échantillonnage, conservation et pré-traitement	1289
2.1 Principe général de l'échantillonnage des boues	1289
2.2 Principe général de l'échantillonnage d'un sédiment	1290
2.3 Préparation de l'échantillon de sédiments	1290
3 • Examen et analyse physico-chimique	1291
3.1 Examen microscopique et analyse directe par spectrométrie	1291
3.2 Analyse physico-chimique	1291
3.2.1 Teneur en matières sèches (ou siccité), en humidité (ou teneur en eau) et perte au feu (ou matières volatiles),	1291
3.2.2 Densité réelle et densité apparente,	1293
3.2.3 Indice volumique d'une boue,	1294
3.2.4 Détermination de la fraction inférieure à 50 µm d'un sédiment,	1294
3.2.5 Détermination du pourcentage d'insoluble d'un sédiment,	1295
3.2.6 pH,	1295
3.2.7 Pouvoir calorifique,	1295
3.2.8 Lixiviation,	1296
4 • Analyse chimique	1297
4.1 Analyse élémentaire de la fraction organique	1297
4.1.1 Carbone organique total,	1297
4.1.2 Azote total et Kjeldahl,	1298
4.1.3 Phosphore total,	1298
4.2 Minéralisation et dosage des éléments minéraux	1298
4.2.1 Dosage des traces métalliques mobilisables,	1298
4.2.2 Dosage du mercure mobilisable,	1300
4.2.3 Fusion alcaline,	1300
4.2.4 Analyse des « minéralisats », « digestats » et « lixiviats »,	1301
4.3 Analyse des micropolluants organiques	1302
4.3.1 Exemples de techniques d'extraction des micropolluants organiques,	1302
4.3.2 Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB),	1303
4.3.3 Dosage des résidus d'hydrocarbures,	1304

4.3.4	Autres micropolluants organiques, 1308	
4.3.5	Acides gras volatils dans les boues, 1308	
4.4	Analyse microbiologique et biologique	1308
4.4.1	Généralités, 1309	
4.4.2	Dénombrement des œufs d'helminthes dans les boues résiduaires, 1309	
5	Contrôles précisant la destination des boues et sédiments	1313
5.1	Boues de station d'épuration urbaine	1313
5.1.1	Origine, 1313	
5.1.2	Valorisation agricole, 1313	
5.1.3	Caractérisations et tests pour le traitement des boues, 1315	
5.2	Sédiments	1315
5.2.1	Contexte, 1315	
5.2.2	Cadre réglementaire sur les sédiments de cours d'eau, 1316	
5.2.3	Cadre réglementaire sur les sédiments marins et d'estuaires, 1317	
5.2.4	Destination finale des sédiments, 1318	
	Bibliographie	1321

4^E PARTIE

PRÉSENTATION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE

L

Conseils pour la présentation des résultats

1	Assurer la qualité	1327
1.1	La norme NF EN ISO/CEI 17025	1327
1.2	Les organismes d'accréditation	1327
1.3	L'accréditation des laboratoires d'essais	1328
1.4	L'intérêt de l'accréditation pour un laboratoire	1329
1.5	Accréditation vs Certification	1330
1.6	La procédure d'accréditation	1331
1.6.1	Dépôt du dossier de demande d'accréditation, 1331	
1.6.2	Audit, 1331	
1.6.3	Décision, 1332	
1.6.4	Notification de la décision, 1332	
1.6.5	Suivi, 1332	
1.7	Les enjeux de la démarche qualité	1332

2 • Fiabiliser les résultats	1335
2.1 Définitions importantes	1335
2.2 Utilisation des statistiques dans l'analyse hydrologique	1336
3 • Préciser le contexte réglementaire	1337
3.1 L'état des masses d'eau naturelle	1337
3.2 Eaux destinées à la consommation humaine (EDCH)	1342
3.3 Eaux chaudes sanitaires (ECS)	1343
3.4 Installations de refroidissement	1344
3.5 Eaux de baignade et de piscine	1344
3.6 Eaux résiduaires urbaines	1346
3.7 Boues et sédiments	1347
4 • Éditer le rapport d'analyse ou d'essais	1349
Préambule	1349
4.1 Présentation d'un rapport d'essais	1349
4.1.1 Les bases du contenu rapport, 1349	
4.1.2 Présentation des résultats, 1350	
4.1.3 Prélèvement et expédition des échantillons, 1351	
4.2 Unités de mesure	1352
4.2.1 Unités pondérales, 1352	
4.2.2 Unités molaires, 1352	
4.3 Cas particulier d'une analyse ionique	1352
4.3.1 Notion d'équivalence et de normalité, 1352	
4.3.2 Degré français, 1353	
4.3.3 Contrôle des résultats de l'analyse d'eau, 1353	
4.3.4 Représentation graphique des résultats de l'analyse d'eau, 1357	
Bibliographie	1359

M

Éléments d'interprétation des résultats

1 • Généralités	1363
2 • Le risque sanitaire	1365
2.1 Notion de risque acceptable	1365
2.2 Démarche d'évaluation des risques chimiques	1366
2.3 Construction des valeurs guides pour les substances chimiques	1372

2.4 Risque de contamination microbiologique	1375
2.4.1 Interprétation en fonction de la nature du micro-organisme recherché, 1380	
2.4.2 Interprétation en fonction de l'utilisation de l'eau, 1383	
2.5 Évaluation du risque sanitaire en production d'eau potable	1392
2.5.1 Quels risques sanitaires en production et distribution d'eau potable?, 1392	
2.5.2 Des débuts de solutions, 1394	
3 • Le risque écologique (chimique) des milieux aquatiques	1397
3.1 Notions de «PNEC» et de «MAC»	1397
3.1.1 Les données expérimentales de base pour l'évaluation de l'écotoxicité, 1398	
3.1.2 Une méthode d'approche de l'évaluation du risque écotoxicologique dans les eaux et les sédiments, 1399	
3.2 Le risque toxicologique par empoisonnement secondaire	1402
3.2.1 Les données expérimentales de base pour l'évaluation de risque toxicologique par empoisonnement secondaire, 1402	
3.2.2 Une méthode d'approche de l'évaluation du risque toxicologique par empoisonnement secondaire, 1403	
3.3 Le risque chimique sanitaire par la consommation d'organismes contaminés	1405
3.3.1 Les données expérimentales de base pour l'évaluation de risque pour la santé humaine, 1405	
3.3.2 Une méthode d'approche de l'évaluation du risque chimique sanitaire par la nourriture et l'eau de boisson, 1405	
4 • Éléments d'interprétation de l'analyse physico-chimique	1409
Préambule	1409
Liste des paramètres chimiques de Acénaphthène à Zinc (cf. index pour retrouver le paramètre souhaité), 1412 à 1655	
5 • Éléments d'interprétation de l'analyse microbiologique	1657
Préambule	1657
Liste des paramètres microbiologiques de Adénovirus à <i>Yersinia</i> (cf. index pour retrouver le paramètre souhaité), 1659 à 1693	
Bibliographie	1695

N

Mémento du laboratoire d'analyse d'eau

1 • Grandeurs et unités de mesure	1717
1.1 Multiples et sous-multiples d'unités	1717
1.2 Unités de mesure spécifiques à la chimie des eaux	1717
1.3 Unités anglo-saxonnes	1718
1.4 Conversion des degrés Celsius et Fahrenheit	1720
1.5 Degrés Baumé et densité	1720
2 • Les éléments chimiques	1721
2.1 Classification périodique des éléments	1721
2.2 Masses atomiques relatives	1724
2.3 Étymologie des éléments	1724
3 • Mémento chimique	1729
3.1 Notions de concentration	1729
3.2 Acides et bases	1731
3.3 Solutions tampon	1733
3.4 Indicateurs colorés	1734
3.5 Dosages d'oxydo-réduction	1734
3.6 Mélanges réfrigérants	1737
4 • Mémento sur la radioactivité	1739
4.1 Termes et unités radiologiques utilisés	1739
4.2 Table de conversion Curies-Becquerels	1740
4.3 Période radioactive et équivalence de masse des principaux radionucléides	1740
4.4 Radioexposition moyenne annuelle de l'homme, naturelle et artificielle	1743
Glossaire	1745
Index	1751

1^{RE} PARTIE

EAUX NATURELLES, EAU POTABLE ET RÉSEAUX

A	Analyse physico-chimique	3
B	Analyse microbiologique des eaux	567
C	Contrôle analytique du bon état des masses d'eau naturelle – Indicateurs biologiques de qualité – Bioessais	721
D	Contrôle, par analyses et tests, du fonctionnement des usines de production d'eau potable . .	853
E	Contrôle du fonctionnement des réseaux et des circuits d'eau	895
F	Contrôle de la désinfection chimique (toutes eaux)	943

A

Analyse
physico-chimique

