

DIRECTIVES OMS POUR
**L'UTILISATION SANS RISQUE DES
EAUX USÉES, DES EXCRETA ET DES
EAUX MÉNAGÈRES**

VOLUME III

*UTILISATION DES EAUX USÉES ET DES EXCRETA
EN AQUACULTURE*



**Organisation
mondiale de la Santé**



PNUE
Programme des Nations Unies
pour le Développement

**DIRECTIVES OMS POUR L'UTILISATION SANS RISQUE
DES EAUX USÉES, DES EXCRETA ET DES
EAUX MÉNAGÈRES**

**Volume III
Utilisation des eaux usées et des excreta
en aquaculture**



**Organisation
mondiale de la Santé**

Catalogage à la source : Bibliothèque de l'OMS

Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères.

v. I Considérations d'ordre politique et réglementaire – v. II Utilisation des eaux usées en agriculture – v. III Utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture – v. IV Utilisation des excreta et des eaux ménagères en agriculture.

1. Alimentation en eau – législation. 2. Agriculture. 3. Aquaculture.
5. Eaux usées 6. Recommandations comme sujet. I. Organisation mondiale de la Santé.

ISBN 978 92 4 254686 6 (set) (Classification NLM: WA 675)
ISBN 978 92 4 254682 8 (vol. I)
ISBN 978 92 4 254683 5 (vol. II)
ISBN 978 92 4 254684 2 (vol. III)
ISBN 978 92 4 254685 9 (vol. IV)

© Organisation mondiale de la Santé 2012

Tous droits réservés. Les publications de l'Organisation mondiale de la Santé sont disponibles sur le site Web de l'OMS (www.who.int) ou peuvent être achetées auprès des Éditions de l'OMS, Organisation mondiale de la Santé, 20 avenue Appia, 1211 Genève 27 (Suisse) (téléphone : +41 22 791 3264 ; télécopie : +41 22 791 4857 ; courriel : bookorders@who.int). Les demandes relatives à la permission de reproduire ou de traduire des publications de l'OMS – que ce soit pour la vente ou une diffusion non commerciale – doivent être envoyées aux Éditions de l'OMS via le site Web de l'OMS à l'adresse http://www.who.int/about/licensing/copyright_form/en/index.html

Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation mondiale de la Santé aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les lignes en pointillé sur les cartes représentent des frontières approximatives dont le tracé peut ne pas avoir fait l'objet d'un accord définitif.

La mention de firmes et de produits commerciaux ne signifie pas que ces firmes et ces produits commerciaux sont agréés ou recommandés par l'Organisation mondiale de la Santé, de préférence à d'autres de nature analogue. Sauf erreur ou omission, une majuscule initiale indique qu'il s'agit d'un nom déposé.

L'Organisation mondiale de la Santé a pris toutes les précautions raisonnables pour vérifier les informations contenues dans la présente publication. Toutefois, le matériel publié est diffusé sans aucune garantie, expresse ou implicite. La responsabilité de l'interprétation et de l'utilisation dudit matériel incombe au lecteur. En aucun cas, l'Organisation mondiale de la Santé ne saurait être tenue responsable des préjudices subis du fait de son utilisation.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des sigles et abréviations	vi
Avant-propos	vii
Remerciements	ix
Résumé d'orientation	xiii
1. Introduction	1
1.1 Objectifs et considérations générales	1
1.2 Public visé, définitions et portée des Directives	3
1.3 Organisation des Directives	3
1.4 Phénomènes conditionnant l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture	4
1.5 Panorama historique de l'aquaculture alimentée par des rejets	5
1.6 Pratique actuelle en matière d'aquaculture alimentée par des rejets	6
1.6.1 Bangladesh	7
1.6.2 Chine	7
1.6.3 Inde	9
1.6.4 Indonésie	10
1.6.5 Viet Nam	10
1.6.6 Afrique	11
1.6.7 Europe	12
1.6.8 Amériques	12
1.6.9 Pacifique occidental	12
2. Cadre de Stockholm	13
2.1 Approche harmonisée pour l'évaluation et la gestion des risques	13
2.2 Évaluation de l'exposition environnementale	13
2.3 Évaluation du risque sanitaire	19
2.4 Risque tolérable	20
2.5 Objectifs liés à la santé	21
2.6 Gestion des risques	22
2.7 État de la santé publique	24
2.7.1 Maladies liées aux excreta	24
2.7.2 Schistosomiase	26
2.7.3 Maladies à transmission vectorielle	27
2.7.4 Mesure de l'état de la santé publique	29
3. Évaluation du risque sanitaire	31
3.1 Données microbiennes	31
3.1.1 Qualité microbiologique de l'eau des bassins	32
3.1.2 Preuves de la contamination des produits: poissons	34
3.1.3 Preuves de la contamination des produits: plantes	35
3.2 Preuves épidémiologiques	36
3.2.1 Maladies cutanées	36
3.2.2 Consommation de produits et autres expositions	36
3.3 Produits chimiques	37
3.4 Bénéfices pour la santé	40
4. Objectifs liés à la santé	43
4.1 Protection des consommateurs de produits	43
4.1.1 Trématodes	43
4.1.2 Autres agents pathogènes	44
4.1.3 Produits chimiques	47

4.2	Protection des travailleurs aquacoles et des communautés locales.....	48
4.2.1	Agents pathogènes	48
4.2.2	Irritants cutanés	50
4.2.3	Maladies à transmission vectorielle.....	50
4.3	Recommandations internationales et normes nationales.....	51
4.3.1	Exportations de produits alimentaires	51
4.3.2	Normes nationales.....	51
5.	Mesures de protection sanitaire	53
5.1	Mesures de protection sanitaire pour les différents groupes exposés.....	53
5.1.1	Consommateurs des produits	53
5.1.2	Travailleurs (et leur famille).....	53
5.1.3	Communautés locales.....	54
5.2	Efficacité des mesures de protection sanitaire.....	55
5.2.1	Traitement des excréta	56
5.2.2	Traitement des eaux usées	59
5.2.3	Restrictions portant sur les produits	62
5.2.4	Période de retrait dans l'épandage des déchets	64
5.2.5	Dépuration	65
5.2.6	Manipulation et préparation des poissons	65
5.2.7	Lavage/désinfection des produits et cuisson des aliments.....	66
5.2.8	Promotion de l'hygiène et de la santé	67
5.2.9	Vaccination et chimiothérapie.....	67
5.2.10	Mesures de limitation de l'exposition à l'intention des travailleurs, des personnes manipulant les produits et des communautés locales	68
5.2.11	Lutte contre les maladies à transmission vectorielle.....	70
5.3	Trématodes: considérations spéciales.....	72
5.3.1	Réduction de la contamination des bassins par des trématodes et interruption du cycle de vie de ces parasites.....	72
5.3.2	Lutte contre les hôtes intermédiaires.....	74
5.3.3	Mesures de protection sanitaire après la récolte	74
5.3.4	Chimiothérapie à l'intention des êtres humains et des animaux	75
5.3.5	Schistosomiase	76
6.	Surveillance et évaluation du système.....	79
6.1	Surveillance	79
6.2	Fonctions de surveillance.....	80
6.3	Évaluation du système.....	80
6.4	Validation.....	82
6.5	Surveillance opérationnelle	84
6.6	Surveillance/vérification.....	88
6.7	Systèmes à petite échelle	89
6.8	Autres types de surveillance	89
6.8.1	Inspection des aliments.....	89
6.8.2	Surveillance sanitaire	90
7.	Aspects socioculturels, environnementaux et économiques	91
7.1	Aspects socioculturels	91
7.1.1	Perception par le public	91
7.1.2	Utilisation des excréta.....	92
7.1.3	Utilisation des eaux usées.....	94
7.1.4	Déterminants alimentaires.....	95

7.2 Préoccupations environnementales	95
7.3 Faisabilité économique et financière.....	97
7.3.1 Évaluation économique.....	98
7.3.2 Faisabilité financière	99
8. Aspects politiques	103
8.1 Politique.....	103
8.1.1 Politique internationale	104
8.1.2 Politiques nationales à propos de l'utilisation des eaux usées et des excréta.....	105
8.1.3 Rôle des eaux usées et des excréta dans la gestion intégrée des ressources en eau.....	105
8.2 Législation	105
8.2.1 Rôles et responsabilités des institutions	106
8.2.2 Droits d'accès.....	109
8.2.3 Propriété foncière.....	109
8.2.4 Santé publique.....	109
8.3 Réglementations	110
8.4 Mise au point d'un cadre politique national.....	110
8.4.1 Définition des objectifs	110
8.4.2 Évaluation de l'environnement politique.....	111
8.4.3 Mise au point d'approches nationales sur la base des Directives OMS.....	112
8.4.4 Travail de recherche.....	113
9. Planification et mise en œuvre.....	117
9.1 Compte rendu et communication.....	119
9.2 Interaction avec les communautés et les consommateurs	121
9.3 Exploitation des données et des informations	121
9.4 Critères de planification des projets.....	121
9.4.1 Services d'appui.....	124
9.4.2 Formation	124
Références.....	127
Annexe 1 : Dimensionnement des bassins piscicoles alimentés par des rejets	139
Annexe 2 : Code de conduite FAO pour une pêche responsable : aquaculture et impact environnemental.....	145
Annexe 3 : Évaluation de l'impact sanitaire	149
Annexe 4 : Glossaire des termes utilisés dans les Directives	153

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CPP	Chiffre le plus probable
DALY	Année de vie corrigée de l'incapacité
DBO	Demande biochimique en oxygène
DDT	Dichlorodiphényltrichloroéthane
EIS	Évaluation de l'impact sanitaire
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
HACCP	Analyse des risques-maîtrise des points critiques
IC	Intervalle de confiance
OMC	Organisation mondiale du Commerce
OMD	Objectifs du Millénaire pour le développement
OMS	Organisation mondiale de la Santé
OR	Odds ratio
PCB	Polychlorobiphényle
PRISM	Project in Agriculture, Rural Industry Science and Medicine (Bangladesh)
QMRA	Évaluation quantitative du risque microbien
TDE	1,1-dichloro-2,2-bis(<i>p</i> -chlorophényl)éthane
UFC	Unité formant colonie

L'Assemblée générale des Nations Unies de 2000 a adopté les objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) le 8 septembre 2000. Les OMD les plus directement liés à l'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture sont les objectifs N° 1 « Réduire l'extrême pauvreté et la faim » et N° 7 « Assurer un environnement durable ». L'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture peut aider les communautés à produire davantage de cultures alimentaires et à tirer parti de ressources précieuses en eau et en nutriments. Cette utilisation doit cependant s'effectuer sans risque afin que ses bénéfices pour la santé publique et l'environnement soient les plus importants possibles.

Pour protéger la santé publique et faciliter un usage rationnel des eaux usées et des excreta en agriculture et en aquaculture, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a publié en 1973 des recommandations concernant l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture sous le titre *La réutilisation des effluents : méthodes de traitement des eaux usées et mesures de protection sanitaire* (OMS, 1973). À l'issue d'une revue approfondie d'études épidémiologiques et d'autres informations, ces recommandations ont été actualisées en 1989 sous le titre *Guide pour l'utilisation sans risque des eaux résiduaires et des excreta en agriculture et aquaculture – mesures pour la protection de la santé publique* (OMS, 1991). Ces recommandations ont eu une grande influence et de nombreux pays les ont adoptées pour les appliquer ou les adapter à leurs pratiques en matière d'utilisation des eaux usées et des excreta.

L'utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture est de plus en plus considérée comme une méthode réussissant à combiner recyclage de l'eau et des nutriments, renforcement de la sécurité alimentaire des ménages et amélioration de la nutrition des ménages pauvres. L'intérêt récent pour l'utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture est motivé par la rareté de l'eau, la disponibilité insuffisante des nutriments et des préoccupations concernant les effets sur la santé et l'environnement de cette utilisation. La version précédente des Directives a dû être réactualisée pour prendre en compte des données scientifiques récentes sur les agents pathogènes, les produits chimiques et d'autres facteurs, et notamment certaines évolutions dans les caractéristiques des populations et les pratiques sanitaires, des méthodes d'évaluation des risques perfectionnées, des aspects sociaux ou ayant trait à l'équité et des pratiques socioculturelles. Il était tout particulièrement nécessaire d'examiner les données fournies par les études épidémiologiques et les évaluations des risques.

Pour que sa présentation s'adapte mieux au public visé, la troisième édition des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères* est divisée en quatre volumes séparés : *Volume I : Considérations d'ordre politique et réglementaire*, *Volume II : Utilisation des eaux usées en agriculture*, *Volume III : Utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture* ; et *Volume IV : Utilisation des excreta et des eaux ménagères en agriculture*.

Les recommandations de l'OMS sur les questions liées à l'eau reposent sur un consensus scientifique et sur les meilleures données disponibles. Un grand nombre de spécialistes ont participé à leur élaboration. Les *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères* visent à protéger la santé des agriculteurs (et de leur famille), des communautés locales et des consommateurs des produits cultivés. Elles sont destinées à être adaptées en fonction de facteurs socioculturels, économiques et environnementaux nationaux. Lorsque les Directives abordent des questions techniques – par exemple le traitement des eaux usées –, elles mentionnent explicitement les technologies facilement disponibles et applicables (tant du point de vue technique qu'économique), mais n'excluent pas la possibilité d'en utiliser d'autres. Des normes trop strictes peuvent ne pas être applicables sur la durée et, paradoxalement, conduire à une moindre protection

sanitaire car elles risquent d'être considérées comme impossibles à atteindre dans les conditions locales et, donc, d'être ignorées. Les Directives s'efforcent donc de maximiser à la fois le bénéfice global pour la santé publique et l'usage utile de ressources rares.

À l'issue d'une réunion d'experts tenue à Stockholm, en Suède, l'OMS a publié le document *Water quality: Guidelines, standards and health – Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease* (Fewtrell & Bartram, 2001). Ce document présente un cadre harmonisé pour l'élaboration de recommandations et de normes concernant les dangers microbiens liés à l'eau. Ce cadre prévoit l'évaluation des risques pour la santé en préalable à la fixation des objectifs sanitaires, la définition d'approches fondamentales pour lutter contre les dangers et l'évaluation de l'impact d'une combinaison de ces approches sur l'état de la santé publique. Il est flexible et permet aux pays de prendre en compte les risques sanitaires pouvant résulter d'expositions microbiennes par le biais de l'eau de boisson ou de contacts avec de l'eau à usage récréatif ou professionnel. Il importe de replacer les risques sanitaires découlant de l'utilisation d'eaux usées en aquaculture dans le contexte du niveau de morbidité global parmi une population donnée.

Le présent Volume des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères* fournit des informations sur l'évaluation et la gestion des risques associés aux dangers microbiens et aux produits chimiques toxiques. Il justifie la nécessité de promouvoir un usage sans risque des eaux usées et des excréta en aquaculture, et notamment d'appliquer des procédures minimales et des objectifs liés à la santé spécifiques, et explique comment il est prévu d'exploiter ces besoins. Le Volume III présente également les approches utilisées dans l'établissement des recommandations, y compris les objectifs liés à la santé, et comprend une révision en profondeur des stratégies pour garantir la salubrité de l'eau sur le plan microbien – notamment en ce qui concerne les trématodes véhiculés par l'eau.

Cette version des Directives remplace les versions antérieures (1973 et 1989). Elle est reconnue comme représentant la position du système des Nations Unies sur les questions relatives aux eaux usées, aux excréta, aux eaux ménagères et à la santé, formulée par UN-Water, l'organisme coordonnateur des 24 agences et programmes des Nations Unies concernés par les problèmes liés à l'eau. Elle poursuit le développement de notions, de démarches et de connaissances évoquées dans les éditions antérieures et renferme des informations supplémentaires sur :

- la charge globale de maladies véhiculées par l'eau au sein d'une population et sur la façon dont l'utilisation d'eaux usées et d'excréta en aquaculture peut contribuer à cette charge ;
- le Cadre de Stockholm pour le développement de recommandations relatives à l'eau et la définition d'objectifs liés à la santé ;
- l'analyse des risques ;
- les stratégies de gestion des risques, y compris un développement plus poussé des parties consacrées aux nématodes véhiculés par l'eau ;
- des produits chimiques ;
- les stratégies de mise en œuvre des Directives.

Cette version révisée des Directives sera utile à toutes les personnes confrontées à des problèmes concernant l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, la santé publique et la gestion de l'eau et des déchets, et notamment aux scientifiques exerçant dans les domaines de l'environnement et de la santé publique, aux formateurs, aux chercheurs, aux ingénieurs, aux décideurs et aux personnes chargées de la normalisation et de la réglementation.

REMERCIEMENTS

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) souhaite exprimer sa gratitude à tous ceux dont les efforts ont permis la publication des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, Volume III: Utilisation des eaux usées et des excréta en aquaculture*, et en particulier le Dr Jamie Bartram (Coordonnateur du Département Eau, assainissement et santé de l'OMS, à Genève) et M. Richard Carr (Responsable technique au Département Eau, assainissement et santé de l'OMS, à Genève), qui ont coordonné l'élaboration de ce volume.

Un groupe d'experts international a fourni les éléments et a participé à la rédaction et à la révision du Volume III des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*. De nombreuses personnes ont contribué, directement ou à travers des activités connexes, à chacun des chapitres. L'OMS remercie pour leurs apports¹ dans le développement de ces Directives :

Mohammad Abed Aziz Al-Rasheed, Ministère de la Santé, Amman, Jordanie
Saqr Al Salem, Centre régional OMS pour les activités relatives à l'hygiène de l'environnement, Amman, Jordanie
John Anderson, New South Wales Department of Public Works & Services, Sydney, Australie
Andreas Angelakis, Fondation nationale pour la Recherche en Agriculture, Institut d'Héraklion, Héraklion, Grèce
Takashi Asano,* University of California at Davis, Davis, Californie, États-Unis d'Amérique
Nicholas Ashbolt,* University of New South Wales, Sydney, Australie
Lorimer Mark Austin, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, Afrique du Sud
Ali Akbar Azimi, Université de Téhéran, Téhéran, Iran
Javed Aziz, University of Engineering & Technology, Lahore, Pakistan
Akiça Bahri, Institut national de Recherche en Génie rural, Eau et Forêt, Ariana, Tunisie
Mohamed Bazza, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Le Caire, Égypte
Ursula Blumenthal,* London School of Hygiene and Tropical Medicine, Londres, Royaume-Uni
Jean Bontoux, Université de Montpellier, Montpellier, France
Laurent Bontoux, Commission européenne, Bruxelles, Belgique
Robert Bos, OMS, Genève, Suisse
François Brissaud, Université de Montpellier II, Montpellier, France
Stephanie Buechler,* International Water Management Institute, Pantancheru, Andhra Pradesh, Inde
Paulina Cervantes-Olivier, Agence française de Sécurité sanitaire de l'Environnement et du Travail, Maisons Alfort, France
Andrew Chang,* University of California at Riverside, Riverside, Californie, États-Unis d'Amérique
Guéladio Cissé, Centre suisse de Recherche scientifique, Abidjan, Côte d'Ivoire
Joseph Cotruvo, J. Cotruvo & Associates, Washington, DC, États-Unis d'Amérique
Brian Crathorne, RWE Thames Water, Reading, Royaume-Uni

¹ La présence d'un astérisque (*) indique que des apports importants sont en préparation.

David Cunliffe, Environmental Health Service, Adelaïde, Australie
Anders Dalsgaard,* Royal Veterinary and Agricultural University, Frederiksberg, Danemark
Gayathri Devi,* International Water Management Institute, Pantancheru, Andhra Pradesh, Inde
Pay Drechsel, International Water Management Institute, Accra, Ghana
Bruce Durham, Veolia Water Systems, Derbyshire, Royaume-Uni
Peter Edwards,* Institut asiatique de Technologie, Klong Luang, Thaïlande
Dirk Engels, OMS, Genève, Suisse
Badri Fattel, Université hébraïque de Jérusalem, Jérusalem, Israël
John Fawell, consultant indépendant, Flackwell Heath, Royaume-Uni
Pinchas Fine, Institute of Soil, Water and Environmental Sciences, Bet-Dagan, Israël
Jay Fleisher, Nova Southeastern University, Fort Lauderdale, Floride, États-Unis d'Amérique
Yanfen Fu, National Centre for Rural Water Supply Technical Guidance, Pékin, République populaire de Chine
Yaya Ganou, Ministère de la Santé, Ouagadougou, Burkina Faso
Alan Godfrey, United Utilities Water, Warrington, Royaume-Uni
Maria Isabel Gonzalez Gonzalez, National Institute of Hygiene, Epidemiology and Microbiology, La Havane, Cuba
Cagatay Guler, Université Hacettepe, Ankara, Turquie
Gary Hartz, Directeur, Indian Health Service, Rockville, Maryland, États-Unis d'Amérique
Paul Heaton, Power and Water Corporation, Darwin, Territoire du Nord, Australie
Ivanildo Hespanhol, Université de São Paulo, São Paulo, Brésil
José Hueb, OMS, Genève, Suisse
Petter Jenssen,* Université des Sciences de la Vie, Aas, Norvège
Blanca Jiménez,* Université nationale autonome de Mexico, Mexico, Mexique
Jean-François Junger, Commission européenne, Bruxelles, Belgique
Ioannis K. Kalavrouziotis, Université d'Ioannina, Agrinio, Grèce
Peter Kolsky, Banque mondiale, Washington, DC, États-Unis d'Amérique
Doulaye Koné,* Institut fédéral pour les Sciences et les Technologies de l'Environnement, Suisse (EAWAG)/Département Eau et Assainissement dans les Pays en Développement (SANDEC), Dübendorf, Suisse
Sasha Koo-Oshima, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, Italie
Alice Sipiyan Lakati, Department of Environmental Health, Nairobi, Kenya
Valentina Lazarova, Services ONDEO, Le Pecq, France
Pascal Magoarou, Commission européenne, Bruxelles, Belgique
Duncan Mara,* University of Leeds, Leeds, Royaume-Uni
Gerardo Mogol, Département de la Santé, Manille, Philippines
Gerald Moy, OMS, Genève, Suisse
Rafael Mujeriego, Université technique de Catalogne, Barcelone, Espagne
Constantino Nurizzo, Politecnico di Milano, Milan, Italie
Gideon Oron, Université Ben Gourion du Néguev, Kiryat Sde-Boker, Israël
Mohamed Ouahdi, Ministère de la Santé et de la Population, Alger, Algérie
Albert Page,* University of California at Riverside, Riverside, Californie, États-Unis d'Amérique

Genxing Pan,* Université agricole de Nanjing, Nanjing, République populaire de Chine

Nikolaos Paranychianakis, Fondation nationale pour la recherche agricole, Institut d'Héraklion, Héraklion, Grèce

Martin Parkes, North China College of Water Conservancy and Hydropower, Zhengzhou, Henan, République populaire de Chine

Anne Peasey,* Imperial College (auparavant à la London School of Hygiene and Tropical Medicine), Londres, Royaume-Uni

Susan Petterson,* University of New South Wales, Sydney, Australie

Liqa Raschid-Sally, International Water Management Institute, Accra, Ghana

Kerstin Röske, Institut de Médecine, de Microbiologie et d'Hygiène, Dresde, Allemagne

Lorenzo Savioli, OMS, Genève, Suisse

Caroline Schönning, Institut suédois pour la Lutte contre les Maladies infectieuses, Stockholm, Suède

Janine Schwartzbrod, Université de Nancy, Nancy, France

Louis Schwartzbrod, Université de Nancy, Nancy, France

Jørgen Schlundt, OMS, Genève, Suisse

Natalia Shapirova, Ministère de la Santé, Tachkent, Ouzbékistan

Hillel Shuval, Université hébraïque de Jérusalem, Jérusalem, Israël

Thor-Axel Stenström,* Institut suédois pour la Lutte contre les Maladies infectieuses, Stockholm, Suède

Martin Strauss,* Institut fédéral pour les Sciences et les Technologies de l'Environnement, Suisse (EAWAG)/Département Eau et Assainissement dans les Pays en Développement (SANDEC), Dübendorf, Suisse

Ted Thairs, EUREAU Working Group on Wastewater Reuse (ancien Secrétaire), Herefordshire, Royaume-Uni

Terrence Thompson, Bureau régional OMS du Pacifique occidental, Manille, Philippines

Sarah Tibatemwa, National Water & Sewerage Corporation, Kampala, Ouganda

Andrea Tilche, Commission européenne, Bruxelles, Belgique

Mwakio P. Tole, Kenyatta University, Nairobi, Kenya

Francisco Torrella, Université de Murcia, Murcia, Espagne

Hajime Toyofuku, OMS, Genève, Suisse

Wim van der Høek, consultant indépendant, Landsmeer, Pays-Bas

Johan Verink, ICY Waste Water & Energy, Hanovre, Allemagne

Marcos von Sperling, Université fédérale de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brésil

Christine Werner, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, Allemagne

Steve White, RWE Thames Water, Reading, Royaume-Uni

Nos remerciements vont aussi à Marla Sheffer pour l'édition du texte complet de ces Directives, à Windy Prohom et à Colette Desigaud pour leur aide dans l'administration du projet et à Peter Gosling, qui a joué le rôle de rapporteur lors de la dernière réunion d'examen, en vue de finaliser cette troisième édition, à Genève.

Nous n'aurions pu produire ces Directives sans le soutien généreux du Département du Développement international du Royaume-Uni, de l'Agence suédoise de Coopération pour le Développement international (SIDA), en partie par l'intermédiaire de l'Institut

environnemental de Stockholm, du Ministère des Affaires étrangères de Norvège, de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit et du Ministère des Affaires étrangères des Pays-Bas (DGIS) par l'intermédiaire de WASTE (conseillers en environnement urbain et développement).

RÉSUMÉ D'ORIENTATION

Le présent volume des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères* de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) décrit l'état actuel des connaissances concernant l'impact de l'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture sur la santé des consommateurs des produits, des travailleurs, de leur famille et des communautés locales. Pour chaque groupe vulnérable, les dangers pour la santé sont identifiés et des mesures de protection sanitaire appropriées, destinées à atténuer les risques, sont examinées.

L'objectif principal des Directives est d'obtenir la meilleure protection possible de la santé publique et de faire un usage optimal de ressources importantes. Le présent volume a pour but de rendre l'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture aussi sûre que possible, de manière à ce que ses bénéfices pour les ménages sur le plan de la nutrition et de la sécurité alimentaire puissent être largement partagés au sein des communautés concernées. Ainsi, les effets préjudiciables pour la santé de l'utilisation de ce type d'aquaculture doivent être soigneusement pesés en regard des avantages sanitaires et environnementaux associés à ces pratiques. Cependant, il ne s'agit pas d'un simple arbitrage. Quelle que soit la contribution de l'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture à la sécurité alimentaire et à l'état nutritionnel, il importe d'identifier les dangers qui lui sont associés, de définir les risques qu'elle présente pour les groupes vulnérables et de concevoir des mesures visant à réduire ces risques.

Ce volume est destiné à servir de base au développement d'approches internationales et nationales (notamment de normes et de réglementations) pour gérer les risques sanitaires découlant des dangers associés à l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture et à fournir un cadre pour la prise de décision aux niveaux national et local. Les informations qu'il apporte s'appliquent à l'usage intentionnel d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture, mais également à l'utilisation non délibérée dans le cadre de cette aquaculture d'eau contaminée sur le plan fécal.

Les Directives offrent un cadre de gestion préventive et intégrée de la sécurité, s'appliquant du point de génération des eaux usées à celui de consommation des produits cultivés avec des eaux usées ou des excreta. Elles présentent les exigences minimales raisonnables en termes de bonnes pratiques pour protéger la santé des personnes utilisant des eaux usées ou des excreta ou consommant des produits cultivés avec ces déchets et fournissent des informations servant ensuite à formuler des objectifs liés à la santé. Ni les bonnes pratiques minimales, ni les objectifs liés à la santé ne sont des limites contraignantes. L'approche privilégiée par les autorités nationales ou locales pour mettre en œuvre les Directives, et notamment les objectifs liés à la santé, dépendra des conditions sociales, culturelles, environnementales ou économiques locales et des connaissances sur les voies d'exposition, la nature et la gravité des dangers, ainsi que sur l'efficacité des mesures de protection sanitaire disponibles.

Cette version révisée des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères* sera utile aux personnes confrontées à des problèmes relatifs à la sécurité d'utilisation des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères, à la santé publique, au développement des ressources en eau et à la gestion des eaux usées. Elle s'adresse notamment aux spécialistes de la santé environnementale et de la santé publique, aux formateurs, aux chercheurs, aux ingénieurs, aux décideurs politiques et aux personnes chargées de la normalisation et de l'élaboration des réglementations.

Introduction

Un certain nombre de forces influent tant négativement que positivement sur le développement de la production aquacole utilisant des eaux usées ou des excreta. Dans bien des

cas, les zones dans lesquelles on pratiquait traditionnellement une aquaculture alimentée par des eaux usées ou des excreta s'amenuisent sous l'effet de l'urbanisation, avec pour conséquences une pollution accrue des eaux de surface et le développement d'une production aquacole à haut niveau d'intrants pour produire des cultures de rapport. L'essentiel de la production aquacole utilisant des eaux usées ou des excreta se concentre dans certaines parties de l'Asie. Si l'usage intentionnel d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture est en régression, l'emploi involontaire d'eau contaminée pour des activités aquacoles augmente dans certaines régions.

Cadre de Stockholm

Le Cadre de Stockholm est une approche intégrée qui combine évaluation et gestion des risques pour lutter contre les maladies liées à l'eau. Il constitue un cadre harmonisé pour la mise au point de recommandations et de normes relatives à la santé traitant des dangers microbiens liés à l'eau et à l'assainissement. Ce Cadre prévoit une évaluation des risques sanitaires en préalable à la définition des objectifs liés à la santé et à la mise au point de valeurs indicatives, l'élaboration de stratégies de base pour limiter ces risques et l'évaluation de l'impact de ces stratégies combinées sur la santé publique. C'est le cadre contextuel de ces Directives et d'autres recommandations de l'OMS relatives à l'eau.

Évaluation des risques sanitaires

Pour évaluer les risques sanitaires, on fait appel à trois types d'évaluation : analyses chimiques et microbiologiques en laboratoire, études épidémiologiques et évaluation quantitative des risques microbiens (et chimiques). Globalement, on dispose de peu de données sur l'impact sanitaire des pratiques aquacoles utilisant des eaux usées ou des excreta. Les éléments disponibles laissent à penser que les eaux usées et les excreta non traités contiennent souvent des concentrations notables d'agents pathogènes. Ces agents peuvent survivre suffisamment longtemps dans l'environnement pour pouvoir se transmettre à des êtres humains et pour que la transmission de maladies associées à l'aquaculture alimentée par des rejets se produise.

La présence de trématodes dans les aliments présente des risques sanitaires importants pour les personnes qui consomment des poissons ou des végétaux crus ou insuffisamment cuits. L'application de mesures visant à empêcher la transmission de trématodoses d'origine alimentaire doit être prioritaire, sous réserve que ces mesures soient pertinentes. Les agents pathogènes liés aux excreta sont à l'origine de dangers sanitaires pour les consommateurs de produits et pour les personnes pouvant être en contact avec l'eau contaminée. Pour les consommateurs de produits, le risque sanitaire peut être imputable pour une grande part à des pratiques inadaptées dans le nettoyage des poissons, entraînant une contamination croisée entre le contenu des viscères et la chair comestible. Améliorer l'hygiène sur les marchés et les pratiques de transformation et de nettoyage des poissons représente donc une intervention importante pour la protection de la santé.

Objectifs liés à la santé

Les objectifs liés à la santé définissent un niveau de protection sanitaire s'appliquant à chaque danger. Ces objectifs peuvent être définis à partir d'une mesure standard de la maladie, telle que le nombre d'années de vie corrigées de l'incapacité ou DALY (10^{-6} DALY, par exemple) ou d'un résultat sanitaire approprié, comme la prévention de la transmission de trématodoses par ces aliments associée à des pratiques aquacoles utilisant

des rejets. Pour réaliser un objectif lié à la santé, il faut mettre au point des mesures de protection sanitaire. Habituellement, on parvient à atteindre cet objectif en combinant diverses mesures de protection sanitaire visant différents composants du système d'aquaculture utilisant des eaux usées ou des excréta. Le Tableau 1 présente les objectifs liés à la santé correspondant à différents dangers découlant des pratiques aquacoles utilisant des eaux usées ou des excréta.

Mesures de protection sanitaire

Diverses mesures de protection sanitaire peuvent être appliquées pour réduire les risques sanitaires pour les consommateurs des produits, les travailleurs agricoles et leur famille et pour les communautés locales.

Parmi les dangers rencontrés dans la consommation de produits de l'aquaculture alimentée par des rejets, figurent les agents pathogènes liés aux excréta, les trématodes transmis par les aliments et certains produits chimiques toxiques. La consommation des produits après une cuisson complète permet de réduire notablement le risque de maladie infectieuse. En revanche, la cuisson n'a que peu ou pas d'effet sur les concentrations de

Tableau 1. Objectifs liés à la santé pour l'aquaculture alimentée par des eaux usées ou des excréta

Groupe exposé	Danger	Objectif lié à la santé ^a	Mesure de protection sanitaire
Consommateurs, travailleurs et communautés locales	Agents pathogènes liés aux excréta	10 ⁻⁶ DALY	Traitement des eaux usées
			Traitement des excréta
			Promotion de l'hygiène et de la santé
Consommateurs	Agents pathogènes liés aux excréta	10 ⁻⁶ DALY	Chimiothérapie et vaccination
			Restriction portant sur les produits
	Trématodes transmis par les aliments	Absence d'infestation par des trématodes	Méthode ou calendrier d'épandage des eaux usées
			Dépuration
Produits chimiques	Doses journalières admissibles telles que spécifiées par la Commission du Codex Alimentarius	Manipulation et préparation des aliments	
		Lavage/désinfection des produits	
Travailleurs et communautés locales	Agents pathogènes liés aux excréta	10 ⁻⁶ DALY	Cuisson des aliments
			Accès contrôlé
	Irritants cutanés	Absence de pathologie cutanée	Port d'équipements de protection individuelle
			Lutte contre les vecteurs de maladie
	Schistosomes	Absence de schistosomiase	Lutte contre les hôtes intermédiaires
Agents pathogènes à transmission vectorielle	Absence de maladie à transmission vectorielle	Accès à une eau de boisson saine et à des dispositifs d'assainissement dans les installations aquacoles et au niveau des communautés locales	
			Limitation du contact avec les vecteurs (moustiquaires imprégnées d'insecticide, répulsifs)

^a Absence de maladie associée à l'exposition à des activités aquacoles utilisant des eaux usées ou des excréta.

produits chimiques toxiques éventuellement présents. Des considérations particulières relatives à la gestion des trématodes (y compris *Schistosoma* spp.) peuvent s'imposer en présence de parasites de ce type. Les mesures de protection sanitaire suivantes ont des effets sur les consommateurs des produits :

- traitement des eaux usées ;
- restrictions portant sur les produits ;
- respect de périodes de retrait dans l'épandage des eaux usées ou des excréta ;
- lutte contre les hôtes intermédiaires des trématodes ;
- dépuration ;
- manipulation et préparation des aliments selon les règles d'hygiène ;
- traitement post-récolte ;
- promotion de l'hygiène et de la santé ;
- lavage, désinfection et cuisson des produits ;
- chimiothérapie et vaccination.

Les activités aquacoles utilisant des eaux usées et des excréta ou le contact avec des agents dangereux présents dans ces déchets peuvent entraîner l'exposition des travailleurs et de leur famille à des maladies liées aux excréta, à des irritants cutanés, à la schistosomiase ou à des maladies à transmission vectorielle. Le traitement des eaux usées et celui des excréta sont des mesures de maîtrise des risques contre les maladies liées aux excréta, les irritants cutanés et la schistosomiase, mais n'ont guère d'incidence sur les maladies à transmission vectorielle. D'autres mesures de protection sanitaire sont applicables, parmi lesquelles :

- l'utilisation d'équipements de protection individuelle ;
- l'accès à une eau de boisson saine et à des installations d'assainissement dans les établissements aquacoles ;
- la promotion de l'hygiène et de la santé ;
- la chimiothérapie et la vaccination ;
- la lutte contre les vecteurs et les hôtes intermédiaires de maladies ;
- la réduction du contact avec les vecteurs de maladie.

Les communautés locales sont exposées aux mêmes dangers que les travailleurs, notamment si leurs membres peuvent accéder aux bassins recevant des eaux usées ou des excréta. S'ils n'ont pas accès à une eau de boisson saine, il peut arriver que ces membres utilisent l'eau contaminée pour la boisson ou à d'autres fins domestiques telles que le lavage du linge et de la vaisselle et la toilette. Il se peut aussi que les enfants jouent ou nagent dans l'eau contaminée. De même, si les activités aquacoles entraînent une intensification de la reproduction des vecteurs, les communautés locales peuvent être touchées par des maladies à transmission vectorielle, même si elles n'ont pas accès aux installations d'aquaculture alimentées par des déchets. Afin de réduire ces dangers pour la santé, il est possible de recourir aux mesures de protection sanitaire suivantes :

- traitement des eaux usées ;
- restriction de l'accès aux installations aquacoles ;
- accès à une eau de boisson saine et à des installations d'assainissement dans les installations aquacoles ;
- promotion de l'hygiène et de la santé ;

- chimiothérapie et vaccination ;
- lutte contre les vecteurs et les hôtes intermédiaires de maladies ;
- réduction des contacts avec les vecteurs de maladies.

Surveillance et évaluation du système

La surveillance a trois fonctions différentes : la validation du système, c'est-à-dire la démonstration de la capacité de celui-ci à remplir les exigences de conception ; la surveillance opérationnelle, qui fournit des informations sur le fonctionnement des différentes composantes des mesures de protection sanitaire ; et la vérification, qui habituellement s'effectue à la fin du processus, pour s'assurer que le système atteint les objectifs fixés.

On fait appel aux trois fonctions de la surveillance pour atteindre des objectifs à des moments différents. La validation est effectuée lors de la mise au point d'un nouveau système ou de l'adjonction de nouveaux procédés ; elle sert à vérifier ou à prouver que le système est capable de remplir les objectifs fixés. On utilise en routine la surveillance opérationnelle pour s'assurer que les procédés fonctionnent comme prévu. Ce type de surveillance repose sur des mesures simples et rapides à lire, permettant la prise en temps utile de décisions pour remédier à un éventuel problème. On recourt à la vérification pour montrer que le produit final (eaux usées ou excréta traités/eau des bassins, poissons ou plantes, par exemple) remplit les objectifs du traitement (objectifs traités en termes de réduction microbienne, par exemple) et en fin de compte les objectifs liés à la santé. Les données de surveillance/vérification ne sont collectées que périodiquement et parviendraient trop tard aux responsables pour qu'ils soient en mesure d'arrêter des décisions pour prévenir la survenue d'un danger. Cependant, la surveillance/vérification peut indiquer les tendances au cours du temps (par exemple si l'efficacité d'un procédé particulier va en s'améliorant ou en se dégradant).

La façon la plus efficace pour s'assurer régulièrement de l'absence de danger de l'aquaculture alimentée par des eaux usées ou des excréta est d'appliquer une approche globale d'évaluation et de gestion des risques couvrant toutes les étapes de cette aquaculture, de la génération et de l'utilisation des eaux usées et des excréta à la consommation des produits. Cette approche est intégrée au Cadre de Stockholm. Elle comprend trois composantes importantes pour réaliser les objectifs liés à la santé : évaluation du système, détermination des mesures de maîtrise des risques à prendre et des méthodes pour surveiller ces mesures, et développement d'un plan de gestion.

Aspects socioculturels, environnementaux et économiques

Les schémas comportementaux humains sont des facteurs déterminants essentiels dans la transmission des maladies liées aux excréta. Pour évaluer la possibilité sur le plan social de modifier certains schémas comportementaux en vue d'introduire des schémas d'utilisation des eaux usées et des excréta ou de réduire la transmission des maladies dans le cadre des schémas existants, il faut au préalable comprendre les valeurs culturelles attachées aux pratiques que semble privilégier la société concernée, mais qui facilitent la transmission de maladies. Il existe un lien étroit entre la perception par le public de l'utilisation des eaux usées et des excréta et les croyances culturelles.

Lorsqu'ils sont correctement planifiés et gérés, les schémas d'utilisation des eaux usées et des excréta peuvent avoir un impact positif sur l'environnement et sur la production piscicole et végétale. Les effets bénéfiques pour l'environnement peuvent être dus à :

- la prévention d'une pollution des eaux de surface ;
- la préservation ou l'utilisation plus rationnelle des ressources en eau douce, en particulier dans les zones arides et semi-arides : eau douce pour la demande urbaine, eaux usées pour les usages aquacoles ;
- la réduction des risques d'inondation dans les zones urbaines, dans la mesure où les canaux, les bassins et les lacs alimentés en eaux usées jouent le rôle de « tampons » lors des fortes précipitations ;
- la réduction des besoins en engrais artificiels, qui s'accompagne en parallèle d'une diminution des dépenses énergétiques et de la pollution industrielle en d'autres endroits.

Les principaux impacts négatifs sur l'environnement sont souvent liés à la contamination des eaux souterraines ou de surface à proximité des installations d'aquaculture alimentée par des eaux usées ou des excreta. D'autres impacts négatifs résultent de pratiques aquacoles d'ordre général (introduction d'espèces non indigènes ou destruction des mangroves, par exemple) et ne sont pas spécifiquement associés à l'aquaculture alimentée par des eaux usées ou des excreta.

Les facteurs économiques sont particulièrement importants lors de l'évaluation de la viabilité d'un nouveau schéma d'utilisation d'eaux usées ou d'excreta, mais même des projets économiquement valables peuvent échouer faute d'une planification financière rigoureuse. L'évaluation économique évalue l'intérêt économique d'un projet, tandis que la planification financière examine comment ce projet peut être financé. Les améliorations des pratiques existantes doivent aussi être financées d'une manière ou d'une autre et doivent donc faire l'objet d'une planification financière.

Aspects politiques

La gestion sans risque des pratiques aquacoles utilisant des eaux usées ou des excreta est rendue plus facile par des politiques, des législations, des cadres institutionnels et des réglementations appropriés aux niveaux international, national et local. Dans nombre de pays où l'on utilise des eaux usées ou des excreta en aquaculture, ces cadres font défaut.

Par politique, on entend un ensemble de procédures, de règles et de mécanismes d'allocation qui constituent la base des programmes et des services. Les politiques définissent des priorités et les stratégies qui leur sont associées allouent les ressources nécessaires à leur mise en œuvre. Elles sont mises en œuvre par quatre types d'instrument : lois et réglementations, mesures économiques, programmes d'information et d'éducation, et affectation de droits et de responsabilités pour la prestation de services.

Dans le développement d'un cadre politique national pour faciliter la pratique sans risque d'une aquaculture alimentée par des eaux usées ou des excreta, il importe de définir les objectifs politiques, d'évaluer l'environnement politique actuel et de développer une approche nationale. Les approches nationales en faveur de pratiques sans risque d'aquaculture alimentée par des rejets s'inspirant des Directives de l'OMS protègent au mieux la santé des populations lorsqu'elles s'intègrent à des programmes complets de santé publique incluant d'autres mesures sanitaires, telles que la promotion de l'hygiène et de la santé et l'amélioration de l'accès à une eau de boisson saine et à un assainissement convenable. D'autres programmes complémentaires, comme les campagnes de chimiothérapie, doivent s'accompagner d'une promotion de la santé et d'une éducation sanitaire pour modifier des comportements qui conduiraient autrement à une réinfestation par des trématodes transmis dans les aliments ou par des helminthes intestinaux.

Les approches nationales doivent être adaptées aux circonstances socioculturelles, environnementales et économiques, mais doivent aussi viser à améliorer progressivement la santé publique. La priorité doit être donnée aux interventions qui répondent aux menaces les plus graves sur le plan local. À mesure que des ressources et des données nouvelles deviennent disponibles, des mesures de protection sanitaire supplémentaires peuvent être introduites.

Planification et mise en œuvre

La planification et la mise en œuvre des programmes d'aquaculture alimentée par des eaux usées ou des excreta requièrent une approche progressive et globale, répondant d'abord aux priorités sanitaires les plus urgentes. Les stratégies de développement des programmes nationaux doivent inclure des volets sur la communication avec les parties prenantes, sur les interactions avec celles-ci et sur la collecte et l'exploitation des données.

En outre, la planification des projets au niveau local nécessite d'évaluer plusieurs facteurs sous-jacents importants. La pérennité des activités aquacoles utilisant des eaux usées ou des excreta dépend de l'évaluation et de la prise en compte de huit critères importants : santé, faisabilité économique, impact sur la société et perception par le public, faisabilité financière, impact environnemental et faisabilités commerciale, institutionnelle et technique.

1 INTRODUCTION

Le présent volume du *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères* décrit l'état actuel des connaissances concernant les impacts sanitaires potentiels de l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture. Le présent chapitre présente les objectifs de ces Directives, les considérations générales qu'elles soulèvent et le public qu'elles visent. Il fournit également une présentation générale des recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) relatives à l'eau et précise dans quelle mesure ces recommandations s'appliquent à l'aquaculture alimentée par des eaux usées ou des excréta. Il décrit aussi les forces influant sur les activités aquacoles utilisant des rejets et indique comment et où ces activités se pratiquent dans le monde.

1.1 Objectifs et considérations générales

Le principal objectif de ces Directives est de protéger au mieux la santé publique et de maximiser les usages bénéfiques de ressources importantes. Le présent volume a pour ambition d'aider à rendre les activités aquacoles utilisant des eaux usées ou des excréta aussi sûres que possible de manière à ce que leurs bénéfices en termes de satisfaction des besoins nutritionnels et de sécurité alimentaire pour les ménages soient largement partagés parmi les communautés exposées. La réalisation de cette ambition nécessite des stratégies pour limiter le plus possible la transmission d'affections ou de maladies liées aux eaux usées ou aux excréta (qu'elles soient dues à des agents infectieux ou à des produits chimiques toxiques), de maladies à transmission vectorielle et de trématodoses (d'origine alimentaire ou à *Schistosoma*) aux aquaculteurs et leur famille, aux communautés locales et aux consommateurs de produits. Il est possible d'y parvenir en limitant le plus possible l'exposition humaine à des agents pathogènes et à des produits chimiques toxiques présents dans les eaux usées ou les excréta et en prévenant l'intensification de la reproduction des vecteurs ou des hôtes intermédiaires qui pourrait survenir dans les conditions créées par les activités aquacoles utilisant des rejets.

Ces Directives passent en revue le corpus de connaissances sur la transmission des pathologies et des maladies infectieuses résultant de l'exposition à des produits chimiques toxiques associés à l'aquaculture alimentée par des rejets. Les données sur la transmission des maladies et sur l'efficacité des différentes mesures de protection sanitaire sont utilisées pour établir des recommandations et des valeurs guides. Ces recommandations reposent sur la définition d'objectifs liés à la santé qui visent l'obtention d'un certain niveau de protection sanitaire dans une population exposée. Ce niveau de santé peut être obtenu en combinant différentes stratégies de gestion (restrictions portant sur les produits et limitation de l'exposition humaine, par exemple) et des objectifs en termes de qualité microbiologique de l'eau en vue de parvenir au résultat sanitaire spécifié. Les Directives comprennent ainsi une description des bonnes pratiques et des spécifications portant sur la qualité microbiologique de l'eau et peuvent aussi indiquer :

- un niveau de gestion ;
- la concentration à laquelle un constituant ne présente pas de risque notable pour la santé des principaux groupes d'utilisateurs ;
- une condition dont le respect permet de rendre improbables de telles expositions ;
ou
- une combinaison de ces deux dernières conditions.

Les Directives fournissent un cadre de gestion préventive intégrée (voir la discussion à propos du Cadre de Stockholm, au chapitre 2) de la sécurité, s'appliquant du point de

génération des déchets à la consommation des produits élevés ou cultivés avec les eaux usées et les excreta (voir Encadré 1.1). Elles formulent des exigences minimales raisonnables en termes de bonnes pratiques pour protéger la santé des personnes utilisant des eaux usées ou des excreta, ou encore consommant des produits élevés ou cultivés avec ces eaux ou ces excreta, et fournissent des informations utilisables ensuite pour établir des valeurs guides numériques. Ni les bonnes pratiques minimales, ni les valeurs guides numériques ne constituent des limites contraignantes. Pour définir ces limites, il est préférable d'envisager les recommandations des Directives dans le contexte environnemental, social, économique et culturel du pays concerné.

L'objectif de la démarche suivie dans ces Directives est d'aider à l'élaboration de normes et de réglementations nationales pouvant être mises en œuvre et appliquées facilement et permettant de protéger la santé publique. Chaque pays doit examiner ses besoins et ses capacités concernant le développement d'un cadre réglementaire. Parmi les éléments assurant le succès de l'application de ces Directives figure l'existence d'un cadre politique reposant sur une assise large et comprenant des incitations positives et négatives à la modification des comportements et au suivi et à l'amélioration des situations. Une coordination et une coopération intersectorielles aux niveaux national et local et l'acquisition de compétences et d'une expertise appropriées faciliteront sa mise en œuvre.

Dans de nombreuses situations, il est impossible d'appliquer d'un seul coup la totalité des recommandations des Directives. Celles-ci fixent aussi des valeurs cibles, destinées à permettre leur mise en œuvre progressive. Ces cibles doivent être atteintes au cours du temps de manière méthodique, en fonction de la situation réelle de départ et des ressources existantes du pays ou de la région. Les menaces les plus graves pour la santé doivent être traitées en premier, en leur accordant le plus fort degré de priorité. Avec le temps, il devrait être possible d'ajuster le cadre de gestion des risques pour tendre vers une amélioration continue de la santé publique.

Enfin, la société dans son ensemble a un rôle à jouer dans l'appréciation de la sécurité – ou du niveau de risque tolérable dans des circonstances données. C'est à chaque pays qu'il revient finalement de juger, en tenant compte des réalités sanitaires, environnemen-

Encadré 1.1 Qu'est-ce que les Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères ?

Les Directives OMS constituent un cadre de gestion préventive intégrée dont l'objectif est d'optimiser les bénéfices pour la santé publique de l'aquaculture alimentée par des rejets. Elles s'articulent autour d'une composante santé et d'une composante mise en œuvre. La protection de la santé dépend de ces deux composantes.

La composante santé :

- définit un niveau de protection sanitaire exprimé sous forme d'objectif lié à la santé pour chaque danger ;
- identifie les mesures de protection sanitaire qui, appliquées collectivement, permettraient d'atteindre l'objectif lié à la santé fixé.

La composante mise en œuvre :

- met en place des procédures de surveillance et d'évaluation du système ;
- définit les responsabilités institutionnelles et en matière de supervision ;
- impose une documentation de l'état et du fonctionnement du système ;
- impose la confirmation du bon fonctionnement du système par une surveillance indépendante.

tales et socio-économiques nationales et des règles du commerce international, si le bénéfice tiré de l'application de l'une des recommandations des Directives ou de l'un des objectifs liés à la santé comme norme nationale ou locale justifie le coût de cette application.

■ 1.2 Public visé, définitions et portée des Directives

La version révisée des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères* sera utile à toutes les personnes confrontées à des problèmes relevant de l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, de la santé publique ou de la gestion de l'eau et des déchets. Elle s'adresse notamment aux spécialistes de la santé publique et de la santé environnementale, aux formateurs, aux chercheurs, aux ingénieurs, aux décideurs politiques et aux personnes responsables de l'élaboration des normes et des réglementations.

Le présent volume des Directives traite de l'utilisation des eaux usées et des excréta en aquaculture. Il s'intéresse principalement aux eaux usées composées essentiellement d'eaux-vannes, domestiques, dont la teneur en rejets industriels ne menace pas le fonctionnement du réseau d'égout ou de l'installation de traitement, la santé publique ou l'environnement. La possibilité d'utiliser en aquaculture des eaux usées renfermant des concentrations notables de produits chimiques industriels doit être appréciée au cas par cas. Les excréta désignent les fèces et les urines; aux fins de ces Directives, ils peuvent désigner aussi les boues fécales ainsi que les boues et les matières de vidange. Les termes fréquemment employés dans ce volume sont définis dans le glossaire en annexe 4. Les boues provenant du traitement des eaux usées municipales ou industrielles n'entrent pas dans le champ d'application de ce document.

Les considérations de santé publique et les objectifs liés à la santé relatifs à l'aquaculture s'appliquent aux cas d'utilisation indirecte des eaux usées (rejet dans les eaux de surface, lesquelles sont ensuite employées en aquaculture, par exemple). La gestion des risques sanitaires dans ce type de situation peut nécessiter des approches différentes de celles adoptées pour l'utilisation planifiée d'eaux usées ou d'excréta en aquaculture. Ces approches sont évoquées plus en détail au chapitre 5.

Aux fins de ces Directives, l'aquaculture désigne la production de poissons, de crustacés et de plantes aquatiques. La gestion des risques sanitaires associés à la consommation de mollusques qui se nourrissent en filtrant l'eau est complexe, car ces animaux concentrent à des niveaux très élevés dans leur chair les contaminants présents dans l'environnement et sont souvent consommés crus ou partiellement cuits. Ces problèmes sont discutés plus en détail dans d'autres documents de l'OMS et sont considérés comme sortant du champ d'application de ces Directives.

■ 1.3 Organisation des Directives

La Figure 1.1 présente l'organisation de ce volume. Le chapitre 2 expose dans ses grandes lignes le Cadre de Stockholm. Le chapitre 3 décrit les éléments servant de base aux Directives pour les évaluations épidémiologiques et microbiennes et pour l'évaluation des risques, développés formellement dans le chapitre 4 en tant qu'objectifs liés à la santé. Le chapitre 5 examine les mesures de protection sanitaire applicables pour atteindre les objectifs liés à la santé. Le chapitre 6 passe en revue les besoins en matière de surveillance. Le chapitre 7 présente les aspects socioculturels et liés à la perception par le public devant être pris en compte dans l'aquaculture alimentée par des rejets. Le chapitre 8 analyse les aspects politiques à différents niveaux et le chapitre 9 passe en revue les

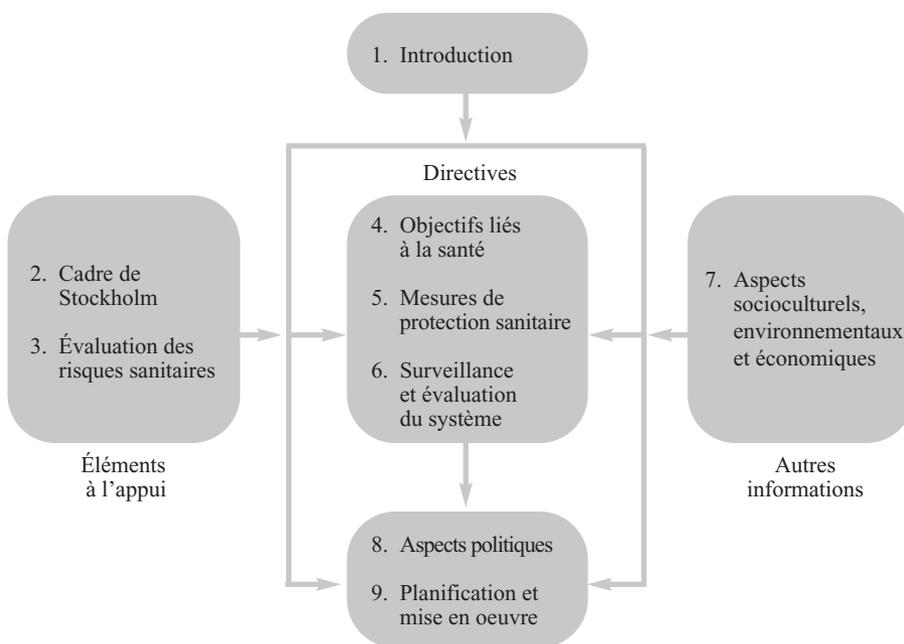


Figure 1.1

Organisation du Volume III des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères*

problèmes de mise en œuvre et de planification. L'annexe 1 présente un bassin de stabilisation des déchets conçu pour faciliter l'aquaculture alimentée par des rejets et l'annexe 2 certaines parties du Code de conduite pour une pêche responsable de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), portant sur le développement de l'aquaculture. L'annexe 3 examine l'évaluation de l'impact sanitaire de l'utilisation d'eaux usées en aquaculture. L'annexe 4 est un glossaire des termes utilisés dans les *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères*.

■ 1.4 Phénomènes conditionnant l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture

Un certain nombre de facteurs pourront dans l'avenir faire augmenter ou diminuer l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture. Actuellement, l'emploi *intentionnel* d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture est en diminution dans de nombreuses régions du monde où il était traditionnellement pratiqué. L'urbanisation et l'expansion des zones urbaines et périurbaines ont rendu des terres servant auparavant à l'aquaculture plus intéressantes pour d'autres usages comme le développement immobilier. De plus, les aquaculteurs passent à la production d'espèces de plus grande valeur comme les crevettes, qui font l'objet d'un élevage intensif dans des systèmes de monoculture à haut niveau d'intrant, utilisant des aliments synthétiques. Les crevettes et certaines autres espèces de grande valeur ne peuvent être élevées dans des systèmes aquacoles alimentés par des rejets, car elles ont besoin pour survivre d'une eau de grande qualité et sont particulièrement sensibles aux fortes concentrations d'ammoniaque. Le développement écono-

mique peut aussi avoir un impact sur l'aquaculture alimentée par des rejets. En effet, les populations urbaines aisées peuvent être moins disposées à accepter des produits provenant de l'élevage ou de la culture dans des eaux usées ou des excreta.

Cependant, comme la pollution des eaux de surface s'accroît dans de nombreuses zones, l'utilisation involontaire d'eaux usées et d'excreta en aquaculture peut en fait être en augmentation. Les eaux usées et les excreta représentent des sources importantes d'eau et de nutriments, qui peuvent servir à accroître la production piscicole et végétale. Ce point est plus important dans la mesure où l'eau douce devient de plus en plus rare dans divers pays. Dans un grand nombre de régions, les poissons et les végétaux sont élevés ou cultivés dans des eaux de surface fortement contaminées par des eaux usées ou des excreta. Comme indiqué plus haut, le développement des zones urbaines s'opère souvent au détriment de l'aquaculture alimentée par des rejets mais, dans certains cas, il peut également contribuer à une plus grande utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture – notamment dans les pays moins développés où la pratique d'activités agricoles ou aquacoles à petite échelle est fréquente dans les grandes villes ou les zones environnantes. Les zones urbaines peuvent procurer aux aquaculteurs une source d'eau fiable (eaux usées, par exemple) et offrir un accès direct aux marchés, en minimisant la distance sur laquelle des produits périssables doivent être transportés avant d'être vendus.

L'aquaculture alimentée par des rejets peut être considérée comme une option de traitement des eaux usées peu onéreuse car elle permet de réduire efficacement les teneurs en matières organiques, en nutriments et en agents pathogènes de ces eaux usées ou de ces excreta. La vente des poissons ou des végétaux produits peut servir à compenser les coûts de traitement des eaux usées (voir chapitre 7).

■ 1.5 Panorama historique de l'aquaculture alimentée par des rejets

L'aquaculture alimentée par des rejets se pratique depuis très longtemps dans plusieurs pays de l'est, du sud et du sud-est de l'Asie, et notamment en Chine, où cette activité remonte à plusieurs siècles (Edwards & Pullin, 1990 ; Edwards, 1992, 2000). Le développement de ce type d'aquaculture par les agriculteurs et les communautés locales visait principalement à accroître la production alimentaire. Pour pratiquer cette aquaculture, ils ont souvent eu recours à des matières ou à des boues de vidange, ou encore à des eaux de surface contenant une pollution fécale, sans soumettre ces rapports à aucun prétraitement.

Les systèmes principalement conçus pour traiter des eaux usées et intégrant une composante aquaculture sont apparus plus tardivement. Environ 90 de ces systèmes ont été construits en Allemagne entre la fin du XIX^e siècle et les années 1950. La plupart d'entre eux ont été fermés entretemps, à l'exception notable de certains bassins piscicoles de Munich, encore utilisés pour le traitement tertiaire des boues activées et servant également de sanctuaire pour les oiseaux (Prein, 1996). Les bassins piscicoles alimentés par des eaux-vannes sont apparus en Asie plus tardivement qu'en Europe – en Inde dans les années 1930, en Chine à partir des années 1950 et au Viet Nam dans les années 1960 –, mais ces systèmes ont été développés pour accroître la production piscicole et non comme moyen de traitement des eaux usées. La pisciculture expérimentale dans des bassins de stabilisation des eaux usées artificiels a été pratiquée et continue de l'être dans toutes les régions du monde, et un certain nombre d'exemples par pays sont présentés ci-après. Malgré le grand nombre de dispositifs expérimentaux à petite échelle d'aquaculture alimentée par des rejets développés, cette pratique n'a pas encore été adoptée par les producteurs aquacoles industriels (Edwards, 1992, 2000).

1.6 Pratique actuelle en matière d'aquaculture alimentée par des rejets

Les systèmes actuellement en service présentent une grande diversité (Tableau 1.1, Figure 1.2). Ils utilisent des eaux usées, des excreta humains frais ou encore des matières ou des boues de vidange. Le Tableau 1.2 indique les noms vulgaires et scientifiques des espèces élevées ou cultivées dans le cadre de l'aquaculture alimentée par des rejets.

Les eaux usées ou les excreta employés en aquaculture sont ajoutés directement dans des bassins d'élevage de poissons (principalement des carpes, des poissons-chats et des tilapias) ou de culture de plantes aquatiques (macrophytes tels que le lotus, le mimosa d'eau ou l'épinard d'eau) destinés directement à la consommation humaine. L'utilisation indirecte de ces rejets pour produire des juvéniles ou des poissons adultes et des végétaux aquatiques (herbe à canard, par exemple) servant à l'alimentation du bétail ou d'autres poissons est moins courante. Les poissons peuvent être élevés dans des parcs ou des enclos grillagés et les végétaux aquatiques être fixés sur des pieux plantés dans des bassins ou, plus couramment, dans de l'eau de surface présentant une contamination fécale. Il est aussi possible d'introduire des eaux usées dans des lacs ou des réservoirs pour élever des poissons et/ou cultiver des végétaux aquatiques.

L'aquaculture alimentée par des rejets permet de cultiver un certain nombre de plantes, dont le cresson, la châtaigne d'eau, l'épinard d'eau et le mimosa d'eau. La plupart d'entre elles peuvent grandir dans des bassins aquacoles, des canaux véhiculant eaux usées, etc., ainsi que dans un sol agricole. Lorsque ces plantes sont cultivées dans un environnement aqueux, tout agent pathogène présent dans l'eau est susceptible de se retrouver dans leurs racines ou toute autre partie en contact avec l'eau. La consommation

Tableau 1.1 Types de systèmes aquacoles alimentés par des eaux usées et des excreta

Type de rejet et système de distribution	Système aquacole	Organisme élevé ou cultivé	Exemple de lieu où ce type de système aquacole est mis en œuvre
Matières de vidange (latrines suspendues)	Bassin	Poissons	Chine, Indonésie, Viet Nam
Matières de vidange (latrines suspendues)	Bassin	Herbe à canard	Bangladesh
Matières de vidange, boues de vidange (charriage)	Bassin	Poissons	Chine, Viet Nam
Eaux de surface contaminées (déplacement de l'eau)	Bassin	Poissons	Bangladesh, Indonésie, Viet Nam
Eaux de surface contaminées (déplacement de l'eau)	Bassin	Herbe à canard	Chine
Eaux de surface contaminées (déplacement de l'eau)	Enclos grillagé dans une rivière	Poissons	Indonésie
Eaux de surface contaminées (déplacement de l'eau)	Pieux plantés dans une rivière, bassin peu profond	Végétaux aquatiques	Très répandu en Asie
Eaux-vannes (déplacement de l'eau)	Bassin	Poissons	Allemagne, Chine, Inde, Viet Nam
Eaux-vannes (déplacement de l'eau)	Bassin	Herbe à canard	Bangladesh

Source: Adapté de PNUE (2002).

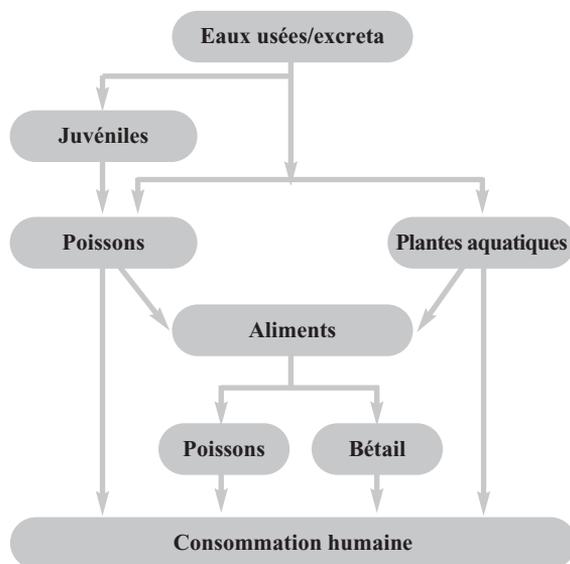


Figure 1.2
Utilisation des eaux usées ou des excreta en aquaculture (PNUE, 2002)

de végétaux aquatiques joue un rôle important dans la sécurité alimentaire de nombreux pays d'Asie du Sud-Est.

L'aquaculture alimentée par des rejets se pratique essentiellement en Asie, avec un niveau d'activité quasiment insignifiant sur les autres continents. Le lecteur trouvera ci-après des exemples d'activités aquacoles alimentées par des rejets exercées dans certains pays où ce secteur est important ou dans d'autres ayant récemment entrepris d'introduire ce type d'aquaculture (PNUE, 2002).

1.6.1 Bangladesh

L'aquaculture alimentée par des rejets se pratique involontairement au Bangladesh. Dans la métropole de Dhaka, on élève des poissons dans des étendues d'eau recevant un apport d'eau contaminée sur le plan fécal. Cette pratique est maintenant limitée par la charge de matières organiques qui devient excessive et par l'urbanisation rapide.

Le projet PRISM Bangladesh (projet dans les domaines de l'agriculture, du génie rural et de la médecine), une organisation non gouvernementale, exploite des systèmes de traitement des eaux usées produisant de l'herbe à canard, alimentés par les rejets d'un hôpital à Mirzapur (Gijzen & Ikramullah, 1999) et par les eaux usées municipales à Khulna, l'herbe à canard récoltée servant à nourrir des poissons (Haq & Ghosal, 2000) (voir partie 5.2.3). PRISM Bangladesh a également introduit dans quelque 50 villages des systèmes de bassins alimentés par les latrines ménagères et permettant de cultiver de l'herbe à canard, laquelle sert ensuite à nourrir des poissons élevés dans des bassins installés à faible distance.

1.6.2 Chine

En Chine, on utilise des matières de vidange en aquaculture, notamment dans les zones rurales isolées, mais cet usage décline fortement dans les principales régions aquacoles

Tableau 1.2 Noms vulgaires et scientifiques des poissons et des végétaux élevés ou cultivés dans le cadre de l'aquaculture alimentée par des rejets

Nom vulgaire	Nom scientifique
Poissons	
Carpes chinoises :	
Carpe à grosse tête	<i>Aristichthys nobilis</i>
Carpe herbivore	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>
Carpe argentée	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>
Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>
Principales carpes indiennes :	
Carpe Catla	<i>Catla catla</i>
Carpe Mrigal	<i>Cirrhinus mrigala</i>
Carpe Rohu	<i>Labeo rohita</i>
Poisson mandarin	<i>Siniperca chautsi</i>
Poisson-lait	<i>Chanos chanos</i>
Tilapia du Mozambique	<i>Oreochromis mossambicus</i>
Tilapia du Nil	<i>Oreochromis niloticus</i>
Pangasius	<i>Pangasius hypophthalmus</i>
Poisson-chat à grosse tête	<i>Clarias macrocephalus</i>
Plantes	
Menthe aquatique	<i>Mentha aquatica</i>
Herbe à canard	<i>Lemna</i> spp., <i>Spirodela polyrhiza</i> et <i>Wolffia arrhiza</i>
Lotus	<i>Nelumbo nucifera</i>
Fougère aquatique azolla	<i>Azolla</i> spp.
Spiruline	<i>Spirulina</i> spp.
Macre nageante	<i>Trapa natans</i>
Châtaigne d'eau	<i>Eliocharis tuberosa</i>
Cresson	<i>Nasturtium officinale</i>
Céleri annamite	<i>Oenanthe stolonifera</i>
Mimosa d'eau	<i>Neptunia oleracea</i>
Épinard d'eau	<i>Ipomoea aquatica</i>
Menthe sauvage	<i>Mentha pipesota</i> L.

situées dans les bassins des fleuves Pearl et Yangtze, en raison de la croissance économique rapide et de la perte de terres servant à cette aquaculture. Les progrès de l'assainissement ont réduit la disponibilité des matières de vidange et l'augmentation du coût de la main d'œuvre favorise l'utilisation d'engrais artificiels, de suppléments alimentaires et d'aliments formulés. En outre, l'intensification de l'aquaculture a conduit à la présence dans les bassins d'excès de nutriments provenant des aliments, d'où une diminution des besoins en fertilisation.

Les matières de vidange (et le fumier) sont utilisées pour cultiver de l'herbe à canard, qui elle-même sert à alimenter des juvéniles de carpe herbivore jusqu'au stade où ils peuvent se nourrir d'herbe ou d'aliments formulés. Bien que le moyen le plus courant pour élever des poissons mandarins carnivores de grande valeur soit la polyculture avec des carpes, certains aquaculteurs élèvent des juvéniles de carpe argentée de faible valeur dans des bassins alimentés par des matières de vidange en tant qu'aliments vivants pour les poissons mandarins.

L'utilisation d'eaux-vannes pour l'aquaculture en bassin ou en lac a également diminué à partir du pic de 20 000 hectares atteint au niveau national dans les années 1980, sous l'effet combiné de l'eutrophisation et de la pollution industrielle (Li, 1997). L'épuisement de l'oxygène dissous dans des lacs alimentés par des eaux usées a conduit à la mort massive de poissons. En Chine, les eaux-vannes domestiques sont la plupart du temps mélangées à des eaux usées industrielles de sorte que les poissons élevés dans les systèmes alimentés par des rejets peuvent être contaminés par diverses substances chimiques toxiques (métaux lourds, hydrocarbures et composants phénoliques, par exemple). Outre les difficultés de commercialisation dues à leur odeur et à leur goût désagréable, ces poissons sont, et c'est le point le plus important, impropres à la consommation humaine d'un point de vue sanitaire.

Aucun gouvernement n'a formulé d'interdiction formelle à l'égard de l'aquaculture alimentée par des rejets, mais les agences concernées ont conseillé aux aquaculteurs de ne pas pratiquer ce type d'aquaculture, en particulier dans les zones périurbaines. Néanmoins, cette pratique continue d'exister dans les zones rurales et urbaines pauvres. Avec l'amélioration du niveau de vie, la population urbaine se préoccupe de plus en plus de la salubrité des aliments et peut rejeter les produits de l'aquaculture alimentée par des rejets.

1.6.3 Inde

C'est à Calcutta que l'on trouve le plus grand complexe piscicole alimenté par des eaux usées du monde, où il occupe près de 3800 hectares (Bose, 1944; Strauss & Blumenthal, 1990; Edwards, 1992). Ce complexe apporte des bénéfices considérables sur le plan environnemental (traitement des eaux usées à faible coût, drainage des eaux d'orage et apport à la grande ville d'un poumon vert) et sur le plan social (emplois pour des pisciculteurs, pour des prestataires de services tels que les producteurs de juvéniles et pour des personnes participant au transport et à la commercialisation des poissons). Néanmoins, il est menacé par l'expansion urbaine et sa surface s'est réduite par rapport aux 8000 hectares de départ.

Les eaux usées brutes provenant de Calcutta sont convoyées par deux canaux de 27 km vers les pêcheries situées au nord et au sud du Lac salé, construites sur les terres marécageuses à l'est de Calcutta. Ces canaux alimentent un réseau complexe de canaux secondaires et tertiaires, qui approvisionnent en eaux usées les bassins piscicoles remplis de carpes chinoises, des principales espèces de carpe indienne et de tilapias. Les bassins sont vidés chaque année en février pour éliminer les boues déposées au fond et remplis à nouveau avec des eaux usées brutes six ou huit semaines plus tard. Après une période de deux à trois semaines destinée à permettre le développement d'un phytoplancton, on remplit les bassins de poissons et on y introduit lentement pendant 5 à 10 jours par mois une quantité supplémentaire d'eaux usées. Cette introduction d'eaux usées à petit débit évite la désoxygénation des bassins d'élevage. Les poissons atteignent une taille commerciale en l'espace de cinq à six mois et les rendements annuels des pêcheries situées

au nord et au sud du Lac salé sont respectivement de 1400 et 1000 kg/ha environ, bien que des fermes piscicoles bien gérées puissent atteindre 5000 kg/ha.

Certains de ces bassins piscicoles sont loués par la ville de Calcutta, certains sont privés et quelques-uns sont gérés sous un régime de coopérative. Les bassins piscicoles fournissent des emplois à la population locale à raison de 7,5 emplois/ha. Ils produisent 10 à 20% des poissons consommés dans le grand Calcutta (Morrice, Chowdhury & Little, 1998).

Les enseignements tirés par les aquaculteurs du développement de ce système sur les dernières décennies ont été mis à profit pour installer des systèmes intégrant un prétraitement dans trois municipalités appartenant à la zone métropolitaine de Calcutta, dans le cadre du Plan d'action Ganga (Gosh, 1997) et à Kalyani, à l'ouest du Bengale (Jana, 1998). Un système de traitement des eaux usées utilisant de l'herbe à canard et des bassins piscicoles a été récemment construit à Cuttack, dans la province de l'Orissa (CIFA, sans date).

1.6.4 Indonésie

La fertilisation des bassins piscicoles avec des excreta provenant de latrines suspendues se pratique principalement au sud-est de Java-Ouest. Dans les quatre régences (zones administratives) de Bandung, Ciamis, Garut et Tasikmalaya, où cette pratique est la plus courante et qui abritent une population de près de 8 millions d'habitants, quelque 33 000 tonnes de poissons, essentiellement des carpes communes et des tilapias du Nil et du Mozambique, sont produites chaque année dans 10 000 ha environ de bassins (Djajadiredja et al., 1979).

Strauss & Blumenthal (1990) décrivent une pisciculture utilisant des excreta dans le village de Cikoneng, peuplé de 3900 habitants et situé à 20 km au sud-est de Bandung. Cikoneng est un «village piscicole» typique : les eaux du drainage naturel de surface effectué par les ruisseaux et les rivières parviennent dans 5 hectares de bassins (taille moyenne des bassins : 590 m²), vers lesquels des gouttières et des conduites en bambou canalisent aussi les eaux de ruissellement locales et l'eau provenant des rizières. Les bassins sont interconnectés et l'eau s'écoule des bassins supérieurs aux bassins inférieurs. Les bassins sont également utilisés pour le lavage et la baignade par tous les villageois, à l'exception des plus aisés qui possèdent leurs propres puits. Des latrines suspendues sont installées au-dessus des bassins pour l'évacuation des excreta et la fertilisation directe. Certaines familles utilisent également pour la fertilisation du son de riz et des fientes de poules. Les bassins sont vidangés complètement une fois par an, tous les poissons étant alors capturés et vendus. Les rendements annuels en poissons se situent entre 1600 et 2800 kg/ha. Les boues déposées au fond des bassins sont retirées et utilisées dans les rizières locales comme conditionneur de sol et engrais. Des poissons sont aussi prélevés une fois par semaine pour la consommation locale après cuisson. Dans certains bassins, on cultive également des épinards d'eau, qui sont consommés cuits comme légumes.

1.6.5 Viet Nam

Au Viet Nam, l'utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture est très répandue, tout comme l'alimentation en excreta des bassins piscicoles par des latrines suspendues, l'apport par charriage de matières de vidange pour fertiliser les nurseries de poissons et les bassins piscicoles, ainsi que l'élevage de poissons et la culture de plantes aquatiques dans des eaux de surface ou des eaux-vannes contaminées.

La latrine suspendue au-dessus d'un bassin piscicole est le système le plus courant pour l'évacuation des matières de vidange dans le delta du Mékong. Une enquête menée en 1989 par l'Institut d'Hygiène et de Santé publique de Hô Chi Minh-Ville a montré que 65% des toilettes du delta étaient des latrines de ce type, soit au total 360 000 dispositifs, dont chacun est utilisé en moyenne par 4 à 5 familles. La principale espèce de poisson élevée, *Pangasius hypophthalmus*, se nourrit directement d'excreta humains. La plupart de ces installations sont reliées aux rivières ou aux canaux voisins, ce qui implique un certain renouvellement de l'eau des bassins dû aux variations du niveau de l'eau avec les marées. Le système de latrine suspendue au-dessus d'un bassin piscicole procure des bénéfices, parmi lesquels les aliments et les revenus provenant des poissons, la disponibilité d'un dispositif d'assainissement sans odeur et l'absence de problèmes liés à la reproduction des mouches et à la manipulation de matières de vidange.

À titre d'exemple illustrant le convoyage des matières de vidange, les matières de vidange fraîches de la ville Bac Ninh, située dans le delta du Fleuve rouge au nord du Viet Nam, sont achetées par des commerçants spécialisés et transportées à bicyclette jusqu'aux nurseries produisant des juvéniles. Sur des bases contractuelles, ces commerçants chargent dans les bassins des nurseries jusqu'à une tonne de matières de vidange fraîches par hectare et par semaine en tant que fertilisant primaire. La valeur des matières de vidange, dictée par leur rareté et leur prix, atteint jusqu'à cinq fois celle du lisier de porc (Little & Pham, 1995).

Hô Chí Minh-Ville dispose d'un système unique de production de semence de tilapia dans environ 500 ha de bassins alimentés en discontinu avec des eaux de surface contaminées par des matières fécales. Cette zone est la principale source de juvéniles de tilapias pour le sud du Viet Nam. Les aquaculteurs disposent habituellement de deux bassins et alternent production de juvéniles et culture de lotus et de mimosas d'eau destinés à la consommation humaine.

Dans plusieurs grandes villes, notamment dans le nord du pays, l'utilisation en aquaculture (et en agriculture) d'eaux-vannes et d'eaux de surface contaminées constitue le seul moyen de traiter ces eaux. Le plus grand système de ce type se trouve à Hanoï, dont les eaux-vannes non traitées s'évacuent avec les rivières pour aboutir dans une zone à basse altitude, le district de Thanh Tri, fertilisant près de 500 ha de bassins piscicoles (Vo, 1996). Les principales espèces élevées sont les carpes Rohu, les carpes argentées et les tilapias qui font l'objet d'une polyculture, soit dans des bassins séparés, soit en association avec du riz une partie de l'année. Les rendements moyens en poissons vont de 4,7 t/ha pour la polyculture poissons/riz à 5,6 t/ha pour l'élevage de poissons pratiqué seul pour une saison de grossissement de 10 mois. La privatisation des terres rend plus difficile l'approvisionnement en eaux usées de certaines zones, d'où une diminution d'environ 35% de la surface consacrée à l'aquaculture en raison du dysfonctionnement du réseau communal de distribution des eaux usées. L'urbanisation rapide autour de Hanoï entraîne un déclin de l'aquaculture alimentée par des rejets.

1.6.6 Afrique

L'utilisation intentionnelle en aquaculture d'excreta et d'eaux usées n'est pas une pratique traditionnelle (Larsson, 1994). Néanmoins, des poissons destinés à l'alimentation humaine sont élevés dans des lacs contenant une pollution fécale (Demanou & Brummett, 2003). Si des expériences de pisciculture dans des bassins de stabilisation des eaux usées recevant des effluents secondaires traités ont été réalisées en Égypte (Khalil & Hussein, 1997) et en Afrique du Sud (Slabbert, Morgan & Wood, 1989), il ne semble pas que ces essais aient débouché sur des activités industrielles (Hendy & Youssef, 2002).

1.6.7 Europe

Outre l'expérience acquise en Allemagne, présentée dans la partie 1.5, un système alimenté par des eaux-vannes a été mis en place à Fonyod en Hongrie et a permis de réaliser la transition du stade expérimental à la pratique industrielle (Olah, 1990). Cependant, ce système n'est plus exploité car l'intérêt de ses propriétaires pour ce type de technologie s'est estompé avec l'évolution des conditions économiques en Hongrie (L. Varadi, communication personnelle, 2002).

1.6.8 Amériques

Il semble n'exister qu'un seul exemple d'activité aquacole utilisant des rejets en Amérique latine: il s'agit d'une installation située à Lima, au Pérou (J. M. Cavallini, communication personnelle, 2002). Un projet, sponsorisé par le Programme des Nations Unies pour le Développement et la Banque mondiale, est parvenu à démontrer que l'élevage de tilapias dans des effluents tertiaires traités provenant de l'installation de traitement des eaux usées de San Juan, à Lima, permettait à la fois de produire des aliments et des emplois et d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans un environnement désertique (Cavallini, 1996; PNUE, 2002). Les tilapias ont présenté une croissance satisfaisante, atteignant un gabarit commercial de 250 g en l'espace de 4 mois. La capacité des bassins était de 4 tonnes de poissons par hectare sans alimentation supplémentaire. Les poissons ainsi élevés étaient acceptables pour les consommateurs de Lima, même lorsqu'ils connaissaient leur origine.

À la suite des recherches menées dans l'installation de San Juan, l'unité d'aquaculture a été dotée d'une surface plus grande et exploitée par le Gouvernement péruvien à pleine charge pendant 12 ans, les poissonniers achetant finalement les 5 tonnes par an de tilapias récoltés par l'unité pilote pour les vendre principalement à des restaurants asiatiques. Une nouvelle unité aquacole de démonstration a été construite dans un autre district de Lima, Villa El Salvador. Bien que l'objectif des recherches menées à San Juan fut de mettre au point un système d'aquaculture alimenté par des rejets transposable dans d'autres pays de la Région, les tentatives pour introduire des pratiques aquacoles de ce type dans d'autres grandes villes d'Amérique latine ont échoué (J. M. Cavallini, communication personnelle, 2002).

1.6.9 Pacifique occidental

Il ne semble pas exister de pratique directe de l'aquaculture alimentée par des rejets dans la Région (D. Sharp, communication personnelle, 2002). À Nauru, on élève des poissons-lait dans un lagon d'eau saumâtre; malgré l'absence d'apport délibéré d'eaux usées dans ce lagon, des analyses de qualité de l'eau font état d'une contamination notable par des eaux-vannes. L'aquaculture alimentée par des rejets est considérée comme une option sous-utilisée dans les îles du Pacifique et son introduction pourrait contribuer à réduire la pollution des eaux souterraines et des écosystèmes coralliens.

Le Cadre de Stockholm est une approche intégrée associant évaluation et gestion des risques en vue de lutter contre les maladies liées à l'eau. Bien que ce Cadre ait été mis au point pour les maladies infectieuses, il est aussi applicable aux maladies et aux pathologies résultant d'une exposition à des produits toxiques par le biais de l'eau. Le chapitre 2 présente sous forme résumée les différentes composantes de ce Cadre et la façon dont il s'applique à l'évaluation et à la gestion des risques associés à l'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture. Certaines composantes du Cadre sont exposées plus en détail dans d'autres chapitres.

■ 2.1 Approche harmonisée pour l'évaluation et la gestion des risques

À l'issue d'une réunion d'experts tenue à Stockholm en Suède, l'OMS a publié le document *Water quality: Guidelines, standards and health – Assessment of risk and risk management for water-related disease* (Fewtrell & Bartram, 2001). Ce rapport fournit un cadre harmonisé pour la mise au point de recommandations et de normes s'appliquant aux dangers microbiens liés à l'eau et à l'assainissement. Le Cadre de Stockholm prévoit la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires en préalable à la définition des objectifs liés à la santé et à l'établissement de valeurs indicatives, la définition de stratégies de base pour maîtriser les risques et l'évaluation de l'impact de cette combinaison d'approches sur la santé publique (Figure 2.1 ; Tableau 2.1).

Le Cadre de Stockholm encourage les pays à prendre en compte le contexte social, culturel, économique et environnemental qui leur est propre et à comparer les risques sanitaires associés aux eaux usées et aux excréta avec ceux pouvant découler d'expositions microbiennes par d'autres voies faisant intervenir l'eau ou l'assainissement, ou d'expositions additionnelles (par exemple par le biais de l'alimentation, des pratiques d'hygiène, etc.). Cette approche facilite la gestion des maladies infectieuses d'une manière intégrée et holistique et non en les isolant des autres maladies ou voies d'exposition. Il est possible de comparer les issues des maladies résultant de différentes voies d'exposition en utilisant une mesure commune, telle que l'année de vie corrigée de l'incapacité (DALY), ou une mesure normalisée pour une population sur une période donnée (voir Encadré 2.1).

L'OMS a mis au point des directives concernant l'eau et l'assainissement en accord avec les principes du Cadre de Stockholm. La troisième édition des *Directives de qualité pour l'eau de boisson* (OMS, 2004a) comme les Volumes 1 et 2 des *WHO Guidelines for safe recreational water environments* (OMS, 2003a, 2005a) intègrent l'approche harmonisée de l'évaluation et de la gestion des risques fournie par ce Cadre. Les parties suivantes décrivent les différentes composantes du Cadre de Stockholm, illustrées par la Figure 2.1, et comment elles s'appliquent spécifiquement à l'utilisation des eaux usées et des excréta. Certaines des composantes du Cadre en rapport avec l'aquaculture alimentée par ces rejets sont évoquées plus en détail dans des chapitres ultérieurs de ce document.

■ 2.2 Évaluation de l'exposition environnementale

L'évaluation de l'exposition environnementale fournit des éléments de départ importants pour l'évaluation et la gestion des risques. C'est un processus qui recense les dangers présents dans l'environnement et évalue les différentes voies d'exposition pour les populations humaines (ou animales). Le Tableau 2.2 présente les dangers associés à l'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture, dont principalement la présence d'agents pathogènes, de certains vecteurs de parasites, de virus ou de certains produits chimiques.

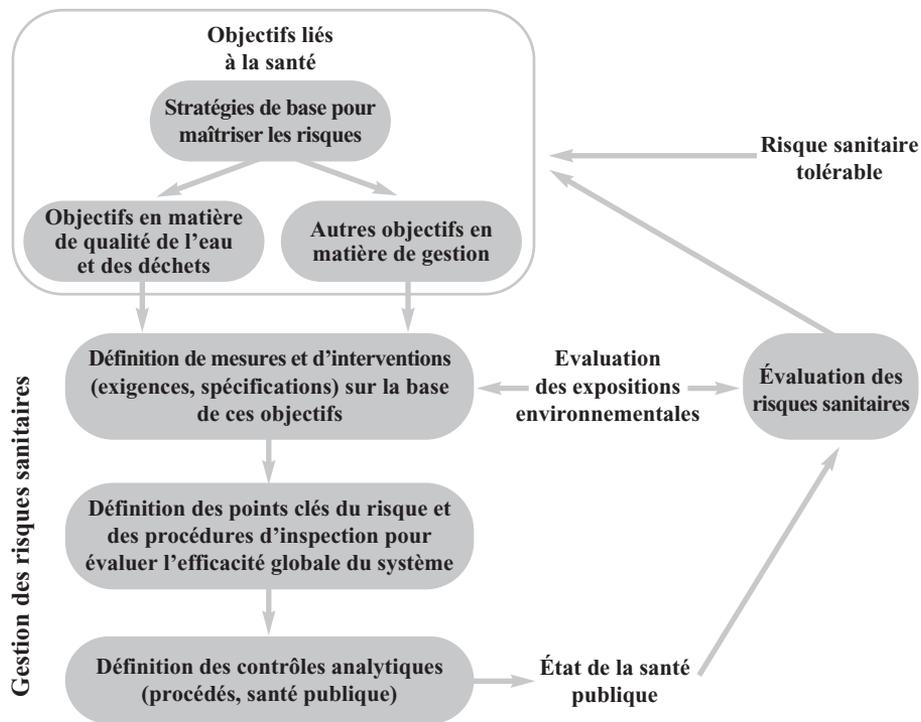


Figure 2.1

Cadre de Stockholm régissant l'élaboration de recommandations harmonisées pour la gestion des maladies infectieuses liées à l'eau (adapté d'après Bartram, Fewtrell & Stenström, 2001)

Encadré 2.1 Années de vie corrigées de l'incapacité (DALY)

Les DALY constituent une mesure de la santé d'une population ou de la charge de morbidité due à une maladie ou à un facteur de risque spécifique. Elles s'efforcent de mesurer le temps perdu du fait d'une incapacité ou d'un décès résultant d'une maladie, par comparaison avec une vie prolongée exempte d'incapacité et de maladie. On calcule les DALY en ajoutant les années de vie perdues en raison d'un décès prématuré à celles vécues avec une incapacité. Les années de vie perdues sont déterminées à partir des taux de mortalité par âge et des espérances de vie standard dans une population donnée. Les années de vie vécues avec une incapacité sont calculées en multipliant le nombre de cas par la durée moyenne de la maladie et par un facteur de gravité compris entre 1 (décès) et 0 (pleine santé), qui dépend de la maladie (par exemple la diarrhée aqueuse est associée à un facteur de gravité de 0,09 à 0,12, selon la tranche d'âge) (Murray & Lopez, 1996; Prüss & Havelaar, 2001). Les DALY offrent un outil important pour comparer les événements sanitaires car elles prennent en compte non seulement les effets sanitaires aigus, mais aussi les effets différés et chroniques – y compris la morbidité et la mortalité (Bartram, Fewtrell & Stenström, 2001).

L'expression du risque en DALY permet de comparer différents événements sanitaires (par exemple le cancer et la giardiase) et d'affecter des priorités aux décisions de gestion des risques.

Tableau 2.1 Éléments du Cadre de Stockholm et considérations importantes à leur propos

Composante du Cadre	Processus	Considérations
Évaluation du risque sanitaire	Études épidémiologiques	Meilleure estimation du risque – modérément prudente.
	QMRA	<p>La présentation des événements sanitaires sous forme de DALY facilite la comparaison des risques pour différentes expositions et divers choix de priorités.</p> <p>L'évaluation des risques est un processus itératif – les risques doivent être périodiquement réévalués en fonction des nouvelles données ou de l'évolution des conditions.</p> <p>L'évaluation des risques (QMRA) est un outil d'estimation des risques qui doit être étayé par d'autres données (investigations des flambées, preuves épidémiologiques et études du comportement des microbes dans l'environnement, par exemple).</p> <p>Ce processus dépend de la qualité des données.</p> <p>L'évaluation des risques doit prendre en compte les mauvais résultats à court terme.</p>
Risque sanitaire tolérable/ objectifs liés à la santé	Définition des objectifs liés à la santé en relation avec l'évaluation des risques	<p>Ces objectifs doivent être réalistes et réalisables compte tenu des contraintes s'exerçant dans chaque contexte.</p> <p>La définition des objectifs repose sur une approche de type risque/bénéfice; elle doit prendre en compte le rapport coût/efficacité des différentes interventions.</p> <p>Elle doit tenir compte des sous-populations sensibles.</p> <p>Il convient de sélectionner des agents pathogènes de référence en fonction des problèmes de contamination, des difficultés posées par les contrôles et de leur importance pour la santé (il peut être nécessaire de sélectionner plusieurs agents pathogènes de référence).</p> <p>Les objectifs liés à la santé permettent de définir un résultat sanitaire souhaité.</p>
Gestion des risques sanitaires	Définition d'objectifs portant sur la qualité de l'eau et des rejets	Les objectifs liés à la santé doivent servir de base au choix des stratégies de gestion des risques; la prévention des expositions passe par une combinaison de bonnes pratiques (par exemple la transformation des poissons dans le respect des règles d'hygiène, le port d'équipements de protection individuelle, etc.) et par la réalisation d'objectifs appropriés en matière de qualité de l'eau (absence d'œufs de trématodes viables, par exemple).
	Définition d'autres objectifs en matière de gestion	Les points de risque doivent être identifiés et utilisés pour anticiper et réduire le plus possible les risques sanitaires; les paramètres de surveillance peuvent être ajustés autour de ces points de risque.
	Définition de mesures et d'interventions	Il convient d'appliquer une approche multibarrière.
	Définition des points clés en matière de risque et des procédures d'inspection	Les stratégies de gestion des risques doivent prendre en compte les événements rares ou catastrophiques.
	Définition des contrôles analytiques	Il faut valider l'efficacité des mesures de protection sanitaire pour s'assurer que le système est en mesure de remplir les objectifs liés à la santé; cette validation s'impose également lors du développement d'un nouveau système ou de l'adjonction de barrières ou de technologies supplémentaires.

Tableau 2.1 (suite)

Composante du Cadre	Processus	Considérations
Gestion des risques sanitaires (suite)		<p>Surveillance: l'accent doit être globalement mis sur l'inspection ou l'audit périodique et sur des mesures simples, rapidement et fréquemment praticables, pour alimenter en données la gestion des risques.</p> <p>Les contrôles analytiques peuvent comprendre des examens des eaux usées et/ou des plantes à la recherche d'<i>Escherichia coli</i> ou encore d'œufs de trématode de métarcescaires infectieuses pour confirmer le fonctionnement des procédés de traitement avec l'efficacité souhaitée.</p> <p>Il est possible d'utiliser les données de contrôle pour pratiquer les ajustements du processus de gestion des risques nécessaires à l'amélioration de la sécurité.</p>
État de la santé publique	Surveillance de la santé publique	<p>Nécessité d'évaluer l'efficacité des interventions de gestion des risques sur certains événements sanitaires (à la fois par des investigations des flambées épidémiques et par l'évaluation des niveaux de fond des maladies).</p> <p>La surveillance des événements de santé publique fournit les informations nécessaires à un réglage fin, par itération, du processus de gestion des risques; les procédures d'estimation de la charge de morbidité faciliteront la surveillance des événements sanitaires dus à certaines expositions.</p> <p>Il est possible d'utiliser les estimations de la charge de morbidité pour replacer les expositions liées à l'eau dans un contexte de santé publique plus large en vue de définir un ordre de priorité pour les décisions de gestion des risques.</p>

Source: Adapté de Carr & Bartram (2004).

Le traitement des eaux usées et des excréta à des degrés variables peut réduire notablement les concentrations de certains contaminants (des agents pathogènes provenant des excréta et de certains produits chimiques, par exemple) (voir chapitre 5) et ainsi le risque de transmission de maladies. D'autres stratégies sont nécessaires pour prévenir la propagation des maladies à transmission vectorielle.

Les eaux usées brutes renferment divers agents pathogènes pour l'homme (voir chapitre 3). Les concentrations de ces agents varient d'une région à l'autre et au cours du temps. C'est dans les zones de forte endémie des maladies à transmission fécale-orale que ces concentrations atteignent les niveaux les plus élevés. Si des flambées épidémiques de maladies liées aux excréta se produisent, les concentrations des agents pathogènes responsables pourront aussi atteindre des valeurs importantes dans les eaux usées et les excréta.

De nombreux agents pathogènes sont capables de survivre (et parfois de se multiplier) dans l'environnement (dans l'eau, les sédiments ou les plantes, par exemple) sur des durées suffisamment longues pour permettre leur transmission aux êtres humains. Plusieurs facteurs influent cependant sur leur dépérissement, dont la température, le degré d'humidité, l'exposition au rayonnement ultraviolet, la présence ou l'absence d'hôtes intermédiaires appropriés, le temps écoulé, le type de végétaux, etc.

Les trématodes (transmis par les aliments et schistosomes) et les agents pathogènes responsables de maladies à transmission vectorielle (agents causals du paludisme, de la

Tableau 2.2 Exemples de dangers associés à l'aquaculture alimentée par des rejets

Danger	Voie d'exposition	Importance relative	Observations
Agents pathogènes associés aux excreta			
Bactéries (<i>E. coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp.)	Contact Consommation	Faible à moyenne	Les viscères contiennent toujours de fortes concentrations de bactéries. La contamination croisée entre le contenu des viscères et la chair comestible pendant le nettoyage représente le risque le plus important. La réalisation de la transformation et de la cuisson selon les règles d'hygiène permet de réduire ce risque. En cas de contact avec des eaux usées ou des excreta, une hygiène personnelle insuffisante accroît le risque d'infection ou de maladie.
Helminthes - Transmis par le sol (<i>Ascaris</i> , ankylostomes, <i>Taenia</i> spp.)	Contact Consommation	Faible à élevée	Les risques dépendent de la manière dont les eaux usées ou les excreta sont manipulés, du port ou non de chaussures, etc. Ils sont probablement plus élevés pour les producteurs ou les consommateurs de plantes aquatiques que pour les personnes qui élèvent ou consomment des poissons.
- Trématodes (<i>Clonorchis</i> , <i>Opisthorchis</i> , <i>Fasciola</i> , <i>Schistosoma</i>)	Contact Consommation	Nulle à élevée	Les trématodes et les schistosomes transmissibles par les aliments ne sont présents que dans certaines régions géographiques et ont besoin pour se transmettre d'hôtes intermédiaires appropriés. Les trématodes transmis par les aliments représentent un risque dans les zones où ils sont endémiques et où les poissons ou les plantes aquatiques sont souvent consommés crus. Des animaux peuvent faire office de réservoirs et il est alors difficile de les éliminer. La schistosomiase se transmet par contact avec de l'eau contaminée dans les régions d'endémie.
Protozoaires (<i>Giardia intestinalis</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Entamoeba</i> spp.)	Contact Consommation	Faible à moyenne	Mêmes observations que pour les bactéries.
Virus (virus de l'hépatite A ou de l'hépatite E, adénovirus, rotavirus, norovirus)	Contact Consommation	Faible à élevée	Mêmes observations que pour les bactéries
Irritants cutanés	Contact	Moyenne à élevée	Des maladies de peau telles que des dermatites de contact (eczémas) ont été signalées après un contact prolongé avec des eaux usées non traitées. La cause de ces maladies n'a pas encore été déterminée, mais elle réside probablement dans un mélange d'agents microbiens et chimiques. Dans certaines situations, des toxines cyanobactériennes peuvent être aussi en cause.

Tableau 2.2 (suite)

Danger	Voie d'exposition	Importance relative	Observations
Agents pathogènes responsables de maladies à transmission vectorielle <i>(Plasmodium spp., virus de la dengue, Wuchereria bancrofti)</i>	Contact avec des vecteurs	Nulle à moyenne	Le risque est limité aux zones géographiques où l'agent pathogène est endémique et où l'on trouve des vecteurs appropriés. Pas de risque spécifique associé à l'aquaculture, mais certains moustiques vecteurs de la filariose se reproduisent dans de l'eau renfermant une pollution organique.
Produits chimiques			
Antibiotiques (chloramphénicol)	Consommation	Nulle à faible	On n'utilise habituellement pas d'antibiotique dans le cadre de l'aquaculture alimentée par des rejets.
Toxines cyanobactériennes (microcystine-LR)	Contact Consommation	Faible à moyenne	On pense que le risque lié à la consommation de poisson est faible. Des cyanobactéries libérant des toxines peuvent contaminer les algues bleu-vert (spiruline) cultivées pour produire des compléments alimentaires humains. Ces toxines peuvent provoquer des irritations cutanées ou des difficultés respiratoires en cas de contact ou d'inhalation – situation probablement rare dans le contexte de l'aquaculture.
Métaux lourds (arsenic, cadmium, plomb, mercure)	Consommation	Faible	Le mercure peut s'accumuler chez les poissons carnivores qui vivent suffisamment longtemps, mais la plupart des poissons produits par l'aquaculture alimentée par des rejets sont récoltés jeunes. La qualité de l'eau des bassins habituellement maintenue dans les systèmes aquacoles alimentés par des déchets permet aussi de réduire l'absorption de mercure par les poissons et les plantes. D'autres métaux lourds peuvent aussi s'accumuler dans les poissons et les végétaux aquatiques, mais rarement à des concentrations considérées comme dangereuses.
Hydrocarbures halogénés (dioxines, furanes, PCB)	Consommation	Faible	Les dioxines et substances similaires peuvent s'accumuler dans les poissons (comme dans le cas du mercure décrit plus haut), mais le risque associé à l'aquaculture alimentée par des rejets est estimé à une valeur faible.
Pesticides (aldrine, DDT)	Contact Consommation	Faible	Le risque est lié aux pratiques agricoles. Les eaux usées et les excreta ne contiennent généralement pas de fortes concentrations de ces substances.

Sources : OMS (1995, 1999) ; Chorus & Bartram (1999) ; Gilroy et al. (2000) ; van der Hoek et al. (2005).

dengue, de la filariose ou de l'encéphalite japonaise, par exemple) peuvent aussi être dangereux, mais leur présence se limite souvent à certaines zones géographiques et leurs vecteurs ont besoin, pour se propager, de conditions écologiques spécifiques. Seules des espèces particulières de *Culex* transmettent la filariose lymphatique dans certaines parties du monde où leur reproduction est liée à la présence d'étendues d'eau contenant une pollution organique (voir partie 2.7 et chapitre 3).

Les produits chimiques toxiques peuvent comporter des risques, en particulier s'ils sont rejetés par l'industrie dans les égouts ou les canaux de drainage (voir Tableau 2.2). Leurs concentrations sont maximales lorsque l'industrie évacue directement des déchets dans le réseau d'égout, sans traitement préalable.

Les principales voies d'exposition aux contaminants associés à l'aquaculture alimentée par des rejets sont :

- le contact des êtres humains avec des eaux usées ou des excreta (ou encore avec des poissons ou des plantes contaminés) avant, pendant ou après leur utilisation (aquaculteurs et leur famille, vendeurs, communautés locales) ;
- la consommation de produits contaminés (contamination directe par des excreta ou des eaux usées ou contamination indirecte résultant d'une contamination croisée avec le contenu des viscères de poissons) ;
- la consommation de produits animaux (bœuf ou porc, par exemple) contaminés par des agents pathogènes ou des produits chimiques du fait de l'exposition de ces animaux à des eaux usées ou à des excreta (lorsqu'ils mangent ou s'abreuvent, par exemple).

■ 2.3 Évaluation du risque sanitaire

On peut évaluer le risque que comporte l'exposition humaine aux dangers associés à l'aquaculture alimentée par des rejets à partir des études épidémiologiques et des évaluations quantitatives du risque microbien (QMRA).

Les études épidémiologiques visent à évaluer les risques sanitaires liés à l'emploi d'eaux usées ou d'excreta en comparant les niveaux de morbidité dans la population exposée (qui utilise des eaux usées ou des excreta ou encore consomme des produits élevés ou cultivés avec ces rejets) avec les niveaux de morbidité relevés dans une population non exposée ou témoin. Ces études peuvent déterminer soit l'excès de prévalence de l'infection (mesurée par la proportion d'individus infectés ou séropositifs) dans un groupe exposé par rapport à un groupe témoin, ou l'excès de prévalence ou d'incidence de la maladie (sur une période donnée) dans un groupe exposé par rapport à un groupe témoin. La différence entre les niveaux de morbidité peut ensuite être attribuée à la pratique consistant à utiliser des eaux usées ou des excreta, sous réserve que les deux populations comparées soient similaires à tous autres égards, y compris le statut socio-économique et l'origine ethnique. Les facteurs de confusion et les biais susceptibles d'influer sur ces résultats doivent être pris en compte à travers une sélection rigoureuse des groupes de population étudiés. Dans le contexte de ces Directives, les individus qui consomment des poissons ou des plantes aquatiques, travaillent (ou jouent) dans des bassins aquacoles alimentés par des rejets ou à proximité, ou encore vivent dans le voisinage de ces bassins appartiennent potentiellement à des groupes exposés et ceux ne remplissant aucune de ces conditions constituent des groupes témoins.

Il est possible d'utiliser les QMRA pour estimer le risque menaçant la santé humaine en prédisant les taux d'infection ou de morbidité compte tenu des densités de certains agents pathogènes, des taux supposés d'ingestion et de modèles dose-réponse appropriés

pour la population exposée. La QMRA fournit une technique pour évaluer les risques résultant de la présence d'un agent pathogène spécifique, associé à une voie d'exposition particulière. Elle offre un outil sensible pour estimer des risques, qui seraient par ailleurs difficiles et coûteux à mesurer, et complète donc de manière appréciable les enquêtes épidémiologiques, lesquelles sont moins sensibles et plus difficiles à réaliser. La QMRA comprend quatre étapes, exposées dans le Tableau 2.3. Cet outil n'est pas utilisé spécifiquement pour estimer les risques liés à la consommation de poissons ou de plantes produits par l'aquaculture alimentée par des rejets, mais les QMRA développées pour l'utilisation d'eaux usées en agriculture et les modèles destinés à évaluer les risques d'accumulation de produits chimiques toxiques peuvent donner une indication du niveau de risque résultant de certaines pratiques.

2.4 Risque tolérable

La gestion des risques dépend du contexte; il n'existe pas de formule de gestion des risques universellement applicable. Lorsqu'on élabore les recommandations concernant l'aquaculture alimentée par des rejets, la logique veut que les niveaux globaux de protection sanitaire soient comparables à ceux appliqués pour d'autres expositions liées à l'eau ou aux excréta (à travers la consommation d'eau de boisson ou le contact avec de l'eau à usage récréatif, ou encore du fait d'un assainissement insuffisant, par exemple). Cela suppose de comparer des événements sanitaires négatifs très différents, comme le cancer, la diarrhée, etc. Une expérience conséquente a maintenant été acquise dans la pratique de telles comparaisons, notamment en utilisant comme mesure la DALY (voir Encadré 2.1) (OMS, 2003a).

Pour les produits chimiques cancérigènes présents dans l'eau de boisson, les valeurs guides OMS ont été fixées de manière à ce que l'excès de risque ne dépasse pas 10^{-5} (OMS, 2004a). Cela signifie que l'on relèverait au maximum un cas en excès de cancer pour 100 000 habitants ingérant sur leur durée de vie de l'eau de boisson contenant le produit chimique considéré à la concentration guide. La charge de morbidité associée à ce niveau de risque, ajustée selon la gravité de la maladie, représente approximativement 1×10^{-6} DALY (1 μ DALY) par personne et par an (OMS, 2004a). Ce niveau de charge

Tableau 2.3 Modèle d'évaluation des risques d'apparition d'un effet quelconque sur la santé humaine

Étape	Objectif
1. Identification des dangers	Décrire les effets aigus et chroniques sur la santé humaine associés à un danger particulier quelconque (agent pathogène ou produit chimique toxique, notamment).
2. Caractérisation des dangers	Évaluation de la relation dose-réponse en vue de caractériser la relation entre différentes doses administrées et l'incidence de l'effet sur la santé, y compris les mécanismes sous-jacents et l'extrapolation à l'homme des systèmes modélisés.
3. Évaluation des expositions	Déterminer la taille et la nature de la population exposée, ainsi que la voie, l'intensité et la durée de l'exposition.
4. Caractérisation des risques	Combiner les données fournies par les étapes d'identification de l'exposition, de la relation dose-réponse et des dangers pour estimer l'ampleur du problème de santé publique et évaluer la variabilité et l'incertitude.

Source: Adapté d'après l'OMS (2003a).

de morbidité peut être comparé à celui produit par une maladie bénigne, mais plus fréquente, telle que les diarrhées spontanément résolutive provoquées par un agent pathogène microbien. On estime la charge de morbidité associée à la diarrhée bénigne (avec un taux de létalité d'environ 1×10^{-5} , par exemple), pour un risque annuel de maladie de 1 pour 1000 (10^{-3}) (~1 sur 10 pour le risque sur la durée de vie), à environ 1×10^{-6} DALY (1 μ DALY) par personne et par an (OMS, 2004a).

■ 2.5 Objectifs liés à la santé

Les objectifs liés à la santé doivent faire partie de la politique sanitaire globale et prendre en compte la situation et les tendances de l'aquaculture alimentée par des rejets, ainsi que la contribution de cette aquaculture à la transmission des maladies (maladies liées à l'exposition à des excréta ou à des produits chimiques, ou encore maladies à transmission vectorielle), dans un contexte particulier comme dans le cadre général de la gestion de la santé. Le but en fixant ces objectifs est de définir des étapes importantes pour guider et enregistrer les progrès vers un objectif sanitaire prédéterminé. Pour garantir une protection et une amélioration efficaces de la santé, ces objectifs doivent être réalistes et adaptés aux conditions locales, et notamment aux facteurs socioculturels, économiques, environnementaux, techniques et institutionnels (OMS, 2003a). Tout cela implique normalement un réexamen et une mise à jour périodiques des priorités et des objectifs, qui à leur tour nécessiteront une révision des normes et des standards pour prendre en compte ces facteurs et les évolutions des informations disponibles (OMS, 2004a).

Les objectifs liés à la santé utilisent le risque de maladie tolérable comme référence pour fixer des objectifs spécifiques en matière de performances visant à ramener à ce niveau le risque de maladie. L'exposition à divers dangers par le biais des pratiques aquacoles utilisant des eaux usées et des excréta ou de la consommation de produits contaminés est associée à un certain niveau de risque. Des « barrières » limitant l'exposition à ces dangers permettront de réduire les risques sanitaires. Un dispositif combinant plusieurs barrières protégera mieux qu'une barrière simple, notamment en cas d'événement inhabituel, car toute barrière offre des performances variables au cours du temps et peut présenter une défaillance.

Les objectifs liés à la santé peuvent s'exprimer sous forme de combinaisons de plusieurs éléments ou de paramètres isolés, et notamment par :

- *un événement sanitaire* : tel que déterminé par les études épidémiologiques, la surveillance de santé publique ou une QMRA (DALY ou niveau de risque) ;
- *la qualité des eaux usées ou des excréta* : concentrations d'œufs de trématodes et/ou d'*E. coli*, par exemple ;
- *l'exposition aux eaux usées ou aux excréta* : durée ou type de l'exposition, par exemple ;
- *une performance* : par exemple un objectif de performances visant l'élimination des contaminants microbiens ou chimiques (pourcentage d'élimination des agents pathogènes résultant d'une combinaison d'exigences portant sur le traitement, de normes de qualité de l'eau et de techniques de limitation de l'exposition ; voir chapitre 4) ; la performance peut être déterminée de manière approximative par d'autres paramètres : temps de séjour dans les bassins et différents types de latrine, turbidité, matières solides en suspension, absence de sites de reproduction pour les vecteurs ou les hôtes intermédiaires, etc. ;
- *la spécification d'une technologie* : spécification d'un procédé de traitement, etc.

Par exemple, un objectif lié à la santé peut se définir comme l'absence de clonorchiose due à l'aquaculture alimentée par des rejets dans une population exposée. Plusieurs options sont utilisables pour parvenir à ce résultat. L'une d'elles peut se limiter uniquement au traitement des eaux usées et des excréta pour inactiver les œufs de *Clonorchis sinensis* (voir chapitres 4 et 5). S'il est impossible d'atteindre cet objectif en termes de qualité par un traitement de ces rejets, une deuxième option peut inclure des restrictions portant sur les produits – c'est-à-dire des mesures garantissant que les poissons ou les plantes aquatiques ne sont consommés qu'après cuisson complète. Ce type de cuisson appliqué aux poissons inactive toute métarceaire infectieuse de *Clonorchis*. La troisième option consisterait à traiter les poissons ou les plantes par séchage ou marinade dans une solution acide pendant un temps approprié (voir chapitre 5) avant leur consommation. En théorie, chacune de ces options devrait aboutir au même résultat – à savoir la prévention des infestations par *Clonorchis* chez les consommateurs de ces produits.

2.6 Gestion des risques

Une fois les objectifs liés à la santé définis, on peut passer au développement de stratégies de gestion des risques. Les mesures et les interventions diffèrent en fonction des pratiques aquacoles locales. Les objectifs en matière de performances destinés à réduire les expositions dans le cadre de l'aquaculture peuvent être variables. On peut déterminer par exemple qu'une certaine réduction de l'exposition aux agents pathogènes est nécessaire pour réaliser l'objectif lié à la santé affecté à l'aquaculture. Cet objectif pourrait être atteint en combinant traitements des eaux usées ou des excréta et périodes d'interruption de l'utilisation de ces rejets (plus la prévention de l'exposition des travailleurs et des communautés locales) (voir Figure 2.2). La lutte contre les populations de vecteurs et d'hôtes intermédiaires est aussi une intervention importante pour diminuer les risques de propagation des maladies à transmission vectorielle et des trématodoses.

La Figure 2.2 présente des stratégies de gestion des risques dans le cadre de l'utilisation d'eaux usées et d'excréta en aquaculture visant à prévenir les expositions à des agents pathogènes ou à des produits chimiques toxiques par la mise en place des barrières multiples (des stratégies complémentaires sont évoquées au chapitre 5). Ces stratégies peuvent combiner notamment les éléments suivants :

- *traitement des eaux usées* : destiné à éliminer les agents pathogènes et les produits chimiques toxiques jusqu'à des concentrations représentant un risque tolérable et pouvant être combiné à d'autres mesures pour réaliser l'objectif lié à la santé ;
- *restrictions portant sur les produits* : élevage de poissons ou culture de végétaux non destinés directement à la consommation humaine, ou encore faisant toujours l'objet d'une transformation (cuisson) avant consommation ;
- *épandage* : en utilisant des techniques d'épandage des eaux usées ou des excréta qui limitent l'exposition des travailleurs et la contamination des produits ou en prévoyant des laps de temps suffisants entre l'épandage des rejets et la récolte pour permettre le dépérissement des agents pathogènes (introduction discontinue des eaux usées dans les bassins piscicoles, périodes de retrait, zones tampons ou dépuración pour purifier le contenu des viscères des poissons avant leur transformation, par exemple) ;
- *méthodes de limitation de l'exposition* : limiter l'accès du public aux bassins, faire porter aux travailleurs des vêtements de protection, cuire les aliments correctement avant leur consommation et faire appliquer les bonnes pratiques d'hygiène alimentaire pour réduire les contaminations croisées entre le contenu des viscères

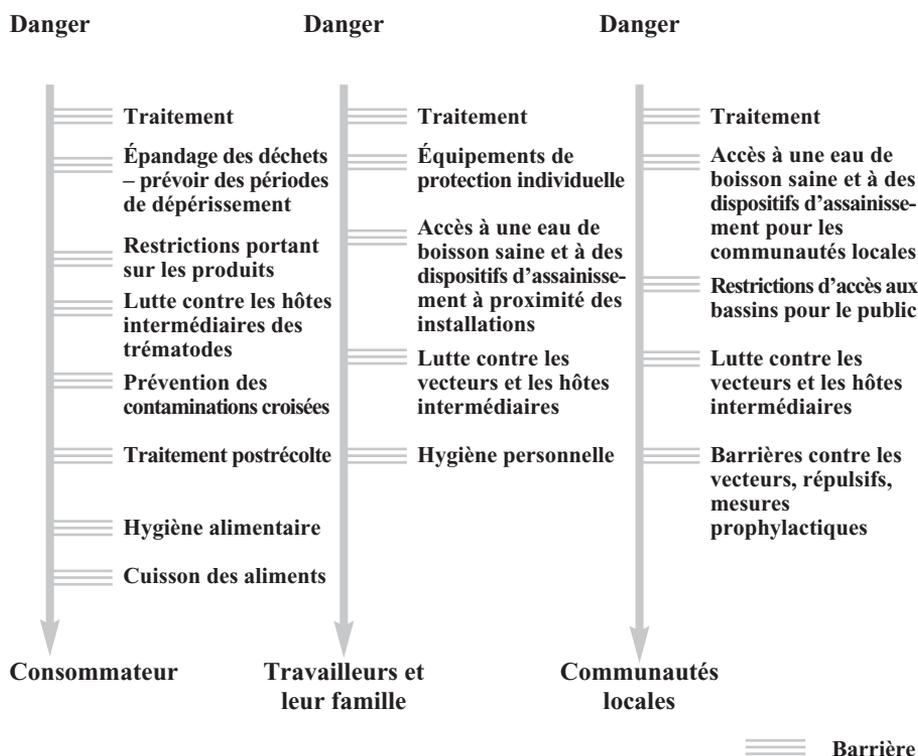


Figure 2.2

Exemples de barrières contre les dangers de l'aquaculture alimentée par des rejets

des poissons et d'autres aliments pendant le nettoyage, ainsi que les bonnes pratiques d'hygiène personnelle, telles que le lavage des mains au savon pour éliminer les contaminants en cas de contact avec des eaux usées ou des excréta ou avec des produits contaminés par ces rejets.

Les données relatives à l'efficacité des procédures de prévention des expositions (par exemple les périodes de retrait et autres mesures de protection sanitaire), associées à des données sur la présence d'agents pathogènes et de produits chimiques dans les eaux usées ou les excréta et à des objectifs de qualité de l'eau, permettent de définir des conditions opératoires dont on peut raisonnablement attendre qu'elles conduisent à la réalisation de ces objectifs liés à la santé (voir chapitre 4). Les données concernant l'efficacité des procédures et la présence éventuelle d'agents pathogènes doivent prendre en compte les performances en régime permanent et celles obtenues pendant les opérations de maintenance et les périodes de charge inhabituelle. Bien que les systèmes d'indicateurs servant au contrôle des performances puissent exiger des mesures analytiques en laboratoire (par exemple la recherche d'*E. coli* ou des œufs de trématodes), l'accent doit globalement être mis sur des inspections/audits périodiques et sur des mesures simples, réalisables fréquemment et rapidement et pouvant alimenter directement le processus de gestion (Bartram, Fewtrell & Stenström, 2001).

2.7 État de la santé publique

La partie 2.2 identifie les différents dangers associés à l'aquaculture alimentée par des rejets. Les dangers ayant la plus forte probabilité de provoquer des pathologies sont les agents pathogènes liés aux excreta (y compris les trématodes), les irritants cutanés et les agents pathogènes à transmission vectorielle. Pour la plupart des produits chimiques (à l'exception peut-être des toxines cyanobactériennes qui contaminent les spirulines cultivées pour produire des compléments nutritionnels humains ; Gilroy et al., 2000), on pense que les risques sont faibles et qu'une exposition dangereuse à ces produits par le biais de l'aquaculture alimentée par des rejets est difficilement concevable dans la mesure où, le plus souvent, une exposition prolongée est nécessaire pour provoquer une maladie (OMS, 1999). Le Tableau 2.4 présente des exemples d'estimations de la mortalité et de la morbidité pour certaines maladies pouvant avoir un lien avec l'aquaculture alimentée par des rejets.

2.7.1 Maladies liées aux excreta

Les infections liées aux excreta (voir Tableau 2.5) sont des maladies transmissibles dont les agents causals (virus, bactéries, protozoaires ou helminthes pathogènes) sont libérés par l'organisme des personnes infectées (ou des animaux infectés dans certains cas) dans les excreta (fèces et urines). Ces agents causals finissent par atteindre d'autres personnes et pénètrent dans l'organisme soit par la bouche (lors de la consommation de cultures contaminées, par exemple), soit à travers la peau (infestation par des ankylostomes ou des schistosomes, par exemple). En aquaculture, le risque le plus préoccupant est celui de transmission de trématodes parasites par le biais des aliments, car les maladies associées à ces parasites s'accompagnent d'une forte morbidité (se référer à la partie 2.7.2 et notamment au Tableau 2.7 pour plus d'indications sur les infestations par des trématodes associées à l'aquaculture alimentée par des rejets).

Dans de nombreux pays, les infections liées aux excreta sont courantes, les excreta et les eaux usées renfermant en conséquence de fortes concentrations d'agents pathogènes. L'incapacité à traiter et à gérer correctement les eaux usées et les excreta de par

Tableau 2.4 Mortalité dans le monde et nombre de DALY dues à des maladies pouvant avoir un lien avec l'aquaculture alimentée par des rejets

Maladie	Mortalité (décès/an)	Charge de morbidité (DALY/an)	Observations
Diarrhée	1 798 000	61 966 000	99,8% des décès se produisent dans les pays en développement et 90% d'entre eux concernent des enfants.
Schistosomiase	15 000	1 702 000	Maladie rencontrée dans 74 pays; on estime le nombre de personnes infectées dans le monde à 200 millions, parmi lesquelles 20 millions subiront des séquelles graves.
Infestation par des trématodes transmis par les aliments	N. D.	N. D.	Nombre de personnes infestées dans le monde estimé à 40 millions, un dixième de la population mondiale étant jugé à risque.
Filariose lymphatique	0	5 777 000	Cette maladie n'est pas mortelle, mais entraîne une morbidité importante. Plus de 40% des personnes infestées vivent en Inde.

N. D. : données non disponibles.

Sources : OMS (1995, 2002, 2003b, 2003c, 2004b, 2005b).

Tableau 2.5 Maladies liées aux excreta

Agent	Maladie
Bactéries	
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastro-entérite, séquelles à long terme (arthrite, par exemple)
<i>Escherichia coli</i>	Gastro-entérite
<i>E. coli</i> O157:H7	Diarrhée sanglante, syndrome urémique hémolytique
<i>Leptospira</i> spp.	Leptospirose
<i>Salmonella</i> (nombreux sérotypes)	Salmonellose, gastro-entérites, diarrhées, séquelles à long terme (arthrite, par exemple)
<i>Salmonella typhi</i>	Fièvre typhoïde
<i>Shigella</i> (plusieurs sérotypes)	Shigellose (dysenterie), séquelles à long terme (arthrite, par exemple)
<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniose, gastro-entérite, diarrhée, séquelles à long terme (arthrite, par exemple)
Helminthes	
<i>Ancylostoma duodenale</i> et <i>Necator americanus</i> (ankylostomes)	Ankylostomiase
<i>Ascaris lumbricoïdes</i> (ascaris lombricoïdes)	Ascariadiase
<i>Clonorchis sinensis</i> (douve hépatique)	Clonorchiasse
<i>Diphyllobothrium latum</i> (vers plat infestant les poissons)	Diphyllobothriase
<i>Fasciola hepatica</i> et <i>F. gigantica</i> (douve hépatique)	Fasciolase
<i>Fasciolopsis buski</i> (douve intestinale)	Fasciolopsiase
<i>Opisthorchis viverrini</i> (douve hépatique)	Opisthorchiase
<i>Paragonimus westermani</i> (douve pulmonaire)	Paragonimiase
<i>Schistosoma</i> spp. (douve sanguine)	Schistosomiase, bilharziase
<i>Taenia saginata</i> et <i>T. solium</i> (vers plats)	Téniase
<i>Trichuris trichuria</i> (trichocéphales)	Trichurose
Protozoaires	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiase (dysenterie)
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiose, diarrhée, fièvre
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Diarrhée persistante
<i>Entamæba histolytica</i>	Amibiase (dysenterie amibienne)
<i>Giardia intestinalis</i>	Giardiose
Virus	
Adénovirus (nombreux types)	Maladies respiratoires, infections oculaires
Astrovirus (nombreux types)	Gastro-entérite
Calicivirus (plusieurs types)	Gastro-entérite
Coronavirus	Gastro-entérite

Tableau 2.5 (suite)

Agent	Maladie
Virus Coxsackie A	Herpangine, méningite aseptique, maladies respiratoires
Virus Coxsackie B	Fièvre, paralysie, maladies respiratoires, cardiaques ou rénales
Échovirus	Fièvre, éruption cutanée, maladies respiratoires et cardiaques, méningite aseptique
Entérovirus (nombreux types)	Gastro-entérites diverses
Virus de l'hépatite A	Hépatite infectieuse
Virus de l'hépatite E	Hépatite infectieuse
Norovirus	Gastro-entérite
Parvovirus (plusieurs types)	Gastro-entérite
Poliovirus	Paralysie, méningite aseptique
Réovirus (plusieurs types)	Pas clairement définie
Rotavirus (plusieurs types)	Gastro-entérite

Sources: Sagik, Moor & Sorber (1978); Hurst, Benton & Stetler (1989); Edwards (1992); National Research Council (1998).

le monde est directement responsable d'effets préjudiciables pour la santé et l'environnement. Les excreta humains sont mis en cause dans la transmission de nombreuses maladies infectieuses, dont le choléra, la typhoïde, l'hépatite, la polio, la schistosomiase et des helminthiases, y compris diverses trématodoses. La plupart de ces maladies liées aux excreta se déclarent chez des enfants vivant dans des pays pauvres. Globalement, l'OMS estime que les diarrhées sont responsables à elles seules de 3,2% des décès dans le monde et de 4,2% de la charge de morbidité mondiale totale, exprimée en DALY (OMS, 2004b).

La diarrhée ou les maladies gastro-intestinales sont souvent utilisées comme indicateur indirect pour les maladies infectieuses véhiculées par l'eau. Mead et al. (1999) estiment qu'en moyenne, un habitant des États-Unis d'Amérique (appartenant à une tranche d'âge quelconque) souffre de 0,79 épisode de gastro-entérite aiguë (caractérisée par la présence de diarrhée, de vomissements ou de l'un et l'autre de ces symptômes) par an. Les taux de gastro-entérite aiguë chez les adultes dans le monde sont généralement du même ordre de grandeur (Tableau 2.6). Cependant, les enfants – en particulier ceux vivant dans des conditions à haut risque, caractérisées le plus souvent par une hygiène, un assainissement et une qualité de l'eau médiocres – présentent généralement des taux de maladies gastro-intestinales plus élevés. Kosek, Bern & Guerrant (2003) ont constaté que les enfants de moins de cinq ans habitant dans des pays en développement subissaient un nombre médian d'épisodes diarrhéiques de 3,2 par an.

2.7.2 Schistosomiase

La schistosomiase est une maladie parasitaire importante dans diverses parties du monde (voir Tableau 2.7). Les trématodes ont des cycles de vie complexes comprenant le passage des œufs dans une étendue d'eau par le biais des excreta (habituellement les fèces, mais aussi l'urine pour l'une des espèces de schistosomes); ces œufs ensuite éclosent et infectent des mollusques. Les parasites se développent dans ces mollusques et sont libérés dans l'eau, milieu à partir duquel ils infestent des poissons ou s'enkystent dans des plantes

Tableau 2.6 Incidence des maladies diarrhéiques par personne et par an en 2000, selon la région et l'âge

Région	Incidence des maladies diarrhéiques, tous âges confondus	Incidence des maladies diarrhéiques, tranche 0–4 ans	Incidence des maladies diarrhéiques, tranche 5–80 ans et plus
Régions développées	0,2	0,2–1,7	0,1–0,2
Régions en développement	0,8–1,3	2,4–5,2	0,4–0,6
Moyenne mondiale	0,7	3,7	0,4

Source : Adapté de Mathers et al. (2002).

aquatiques. L'infestation résulte de la consommation à l'état cru ou sans cuisson suffisante de poissons ou de plantes contenant des métacercaires de trématodes enkystées et viables. Les schistosomes infectent directement les êtres humains en pénétrant à travers la peau lors d'un contact avec de l'eau contaminée.

Bien que rarement fatales, les trématodoses peuvent entraîner une morbidité conséquente et des complications conduisant au décès. Les principaux genres importants pour la santé humaine sont *Clonorchis*, *Opisthorchis*, *Fasciola*, *Fasciolopsis* et *Paragonimus*. Globalement, on pense que des trématodes transmis par les aliments infestent 40 millions de personnes dans le monde et qu'un dixième de la population mondiale est exposé à un risque d'infestation (voir Tableau 2.4) (OMS, 1995). La schistosomiase touche environ 200 millions de personnes dans le monde, dont 80 % vivent en Afrique subsaharienne, où l'aquaculture directement alimentée par des rejets est rare mais où l'eau utilisée pour les activités aquacoles peut être indirectement contaminée par des rejets.

Une étude des trématodoses transmises par les aliments réalisée par Keiser & Utzinger (2005) indique que le nombre des clonorchiasis a triplé en Chine sur la période de 10 ans allant de 1995 à 2004. Ces auteurs estiment que 15 millions de Chinois étaient infestés par *Clonorchis sinensis* en 2004. On pense que la multiplication des trématodoses transmises par les aliments est liée à la croissance exponentielle de l'industrie aquacole sur la même période. Même si l'aquaculture délibérément alimentée par des rejets a selon toutes probabilités décliné pendant cette période, l'usage involontaire en aquaculture d'eau contaminée par des eaux usées ou des excreta a probablement aussi contribué à la plus grande fréquence des trématodoses d'origine alimentaire.

2.7.3 Maladies à transmission vectorielle

Mêmes si elles ne sont pas spécifiquement associées à l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta, les maladies à transmission vectorielle comme le paludisme ou la filariose doivent être envisagées dans les régions d'endémie. Avant le développement des projets de gestion des ressources en eau (y compris les projets d'aquaculture alimentée par des rejets), une évaluation de l'impact sanitaire doit être pratiquée (voir annexe 3) (OMS, 2000). Comme le montre le Tableau 2.8, des phénomènes liés à certaines activités aquacoles peuvent entraîner un accroissement des populations vectorielles. Néanmoins, seuls certains moustiques, en particulier les vecteurs de la filariose (par exemple *Culex quinquefasciatus*), peuvent se reproduire dans de l'eau contenant une pollution organique. De plus, les larves de moustiques sont souvent mangées par des poissons, mais elles peuvent survivre en présence d'une végétation émergente qui les protège de leurs prédateurs. Des algues ou des plantes recouvrant la surface de l'eau peuvent empêcher les larves de venir respirer en surface. Diverses mesures pour limiter la reproduction des vecteurs dans le

Tableau 2.7 Principales trématodoses pouvant être associées à l'aquaculture alimentée par des rejets

Trématodose	Pays
<p>Clonorchiose <i>Clonorchis sinensis</i> est à l'origine d'infestations humaines et animales. La distribution de la maladie dans les pays d'endémie est liée à la présence des mollusques hôtes, en particulier <i>Parafossarulus manchouricus</i>.</p> <p>Outres les humains, des animaux sauvages et domestiques peuvent aussi jouer le rôle de réservoirs du parasite. Les larves sont excrétées par les hôtes et ingérées par des mollusques d'eau douce. Après multiplication, des formes larvaires du parasite nageant librement dans l'eau (appelées cercaires) sont libérées par les mollusques, puis pénètrent dans la musculature des poissons où ils constituent des métacercaires enkystés. Ces parasites peuvent infester diverses espèces de poissons d'eau douce.</p> <p>Après ingestion, les métacercaires de <i>Clonorchis</i> se déenkynt dans l'intestin grêle et migrent vers la voie biliaire où elles provoquent une maladie clinique. L'infestation peut entraîner, en tant que complications, des cholangites pyogènes récurrentes, des cholangiohépatites et des cholangiocarcinomes (OMS, 1995). Les métacercaires peuvent survivre dans la musculature des poissons sur des durées considérables – pendant des semaines pour le poisson séché et pendant quelques heures pour les produits salés ou conservés dans le vinaigre ; elles sont cependant détruites par une cuisson suffisante.</p>	<p>Chine, Fédération de Russie, République de Corée, Viet Nam</p>
<p>Opisthorchiase <i>Opisthorchis viverrini</i> et <i>Opisthorchis felineus</i> provoquent des opisthorchiases chez les êtres humains et chez de nombreux hôtes animaux. Certaines espèces de mollusques (genre <i>Bithyna</i>), que l'on rencontre principalement dans les rizières des régions d'endémie, constituent un premier hôte intermédiaire courant. Pour ces deux espèces d'<i>Opisthorchis</i>, la pathogénicité, la thérapie et la lutte sont analogues à celles s'appliquant à <i>Clonorchis sinensis</i>. Bien que le nombre d'espèces de poissons pouvant servir d'hôtes intermédiaires semble inférieur à celui des hôtes potentiels de <i>Clonorchis sinensis</i>, le risque d'opisthorchiase associé à la consommation de poissons élevés en aquaculture par rapport à celle de poissons tirés du milieu sauvage reste à évaluer.</p>	<p><i>O. viverrini</i> : Cambodge, République démocratique populaire lao, Thaïlande <i>O. felineus</i> : Kazakhstan, Fédération de Russie (Sibérie), Ukraine</p>
<p>Distomatose hépatique La distomatose hépatique est une infestation des voies biliaires par <i>Fasciola hepatica</i> et <i>F. gigantica</i> (douve hépatique). Bien que ce parasite infeste principalement les ovins, les bovins et d'autres animaux, les êtres humains peuvent aussi lui servir d'hôtes. Dans certaines zones (parties de la Bolivie et du Pérou), les hommes sont devenus des hôtes définitifs. Les œufs passent des êtres humains ou d'animaux infestés dans l'eau, où ils éclosent pour donner des miracides, qui à leur tour infestent des mollusques hôtes intermédiaires. Ces mollusques libèrent ensuite des cercaires, qui s'enkyntent sous forme de métacercaires sur des plantes aquatiques. L'infestation des êtres humains se produit après la consommation à l'état cru ou partiellement cuit de plantes contaminées. Dans les zones d'endémie humaine, certaines des métacercaires restent à l'état flottant au lieu de s'enkynter sur des végétaux. Cela permet leur transmission à des êtres humains par l'intermédiaire de l'eau de boisson ou par contamination des aliments ou des ustensiles de cuisine lavés avec de l'eau contaminée. Parmi les symptômes de la distomatose hépatique, on peut mentionner la fièvre, les douleurs abdominales, l'anémie, les vertiges, le sang dans les urines, l'asthme bronchique et des lésions hépatiques graves. L'infestation des enfants s'accompagne habituellement de manifestations cliniques sévères et peut être fatale. L'importance de l'aquaculture alimentée par des rejets dans la transmission de <i>F. hepatica</i> et de <i>F. gigantica</i> reste à évaluer.</p>	<p>Zones tempérées d'Afrique, d'Asie, d'Australie, d'Europe, d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud et l'on élève des ruminants.</p>

Tableau 2.7 (suite)

Trématodose	Pays
<p>Distomatose intestinale</p> <p>La distomatose intestinale est une infestation des intestins par le parasite <i>Fasciolopsis buski</i>, dont le cycle de vie est similaire à celui d'autres trématodes parasites nécessitant un hôte intermédiaire de type mollusque. Les mollusques libèrent des cercaires qui s'enkystent sur des végétaux sous forme de métacercaires infectieuses. L'infestation des êtres humains intervient après la consommation de ces végétaux à l'état cru ou partiellement cuit. La plupart des infestations par <i>F. buski</i> sont légères et asymptomatiques, mais des infestations plus lourdes peuvent occasionner de la diarrhée, des douleurs épigastriques, des nausées, des vomissements et un œdème de la face, de la paroi abdominale ou des membres inférieurs. Chez l'enfant, les infestations sévères peuvent être fatales.</p>	<p>Fédération de Russie, Kazakhstan, Pologne, République démocratique populaire lao, Thaïlande, Turquie, Ukraine, Viet Nam</p>
<p>Schistosomiase</p> <p>La schistosomiase est une infestation par des parasites sanguins du genre <i>Schistosoma</i> qui se logent dans les réseaux veineux qui drainent la vessie et le tractus intestinal. La maladie est provoquée par <i>Schistosoma haematobium</i>, <i>S. mansoni</i>, <i>S. japonicum</i>, <i>S. intercalatum</i> et <i>S. mekongi</i>. Comme pour d'autres trématodes parasites, le cycle de vie de ces schistosomes nécessite sa réplication chez un hôte intermédiaire de type mollusque. Les mollusques sont infestés par un stade larvaire du parasite connu sous le nom de miracide, qui se développe à partir des œufs libérés dans les urines ou les fèces des personnes infestées. Les mollusques libèrent à leur tour dans l'eau des cercaires qui pénètrent à travers la peau d'autres individus. Les schistosomiasis légères peuvent rester asymptomatiques, mais les schistosomiasis plus lourdes sont susceptibles de provoquer une splénomégalie ou une hépatomégalie, des pertes de sang ou un cancer de la vessie, selon l'espèce en cause.</p>	<p>Endémique dans 74 pays ; la plupart des infestations se produisent en Afrique subsaharienne, mais la maladie est également présente dans la Région de la Méditerranée orientale, dans certaines parties de l'Asie et dans les Amériques.</p>

Sources : Feachem et al. (1983); Wei (1984); Edwards (1992); Chen et al. (1994); OMS (1995, 1999); De et al. (2003); Hust & Ben Embarek (2003); TDR (2004).

cadre des programmes d'utilisation des eaux usées ou des excréta sont présentées au chapitre 4.

2.7.4 Mesure de l'état de la santé publique

On ne peut mesurer les impacts des mesures de gestion des risques que si l'on connaît exactement ou de manière approximative l'état de santé de référence de la population concernée.

De même, il est possible de fixer de valeurs du risque tolérable et des objectifs liés à la santé si l'on dispose de certaines connaissances sur les types de maladie pouvant résulter de l'utilisation d'eaux usées ou d'excréta dans le contexte local, ainsi que sur leur incidence et leur prévalence.

Il est important de comprendre le rôle que peut jouer l'aquaculture alimentée par des rejets dans la transmission de maladies liées à l'eau au sein d'une communauté. Par exemple, si les bassins d'aquaculture sont la seule source de poissons consommés par la communauté et si les poissons sont infestés par des métacercaires de trématodes, il est alors fortement probable que la consommation de ces poissons crus ou préparés de manière inadéquate soit responsable de la majorité des trématodoses touchant cette communauté. Il serait par conséquent judicieux de mettre en place ou d'exiger des mesures de protection sanitaire telles que le traitement des eaux usées/excréta avant leur utilisation dans l'installation aquacole. Cependant, si l'emploi d'eaux usées ou d'excréta en aquaculture ne contribue que pour un faible pourcentage aux maladies liées à l'eau dans une

Tableau 2.8 Maladies à transmission vectorielle pouvant avoir un lien avec l'aquaculture alimentée par des rejets

Maladie	Vecteur	Risque d'apparition de cette maladie du fait des pratiques aquacoles utilisant des eaux usées et des excreta	Observations
Dengue	<i>Aedes aegypti</i>	Faible	Les vecteurs se reproduisent dans l'eau stagnante (vieux pneus, boîtes de conserve, bouteilles, etc.). Ils sont présents en Asie du Sud-Est, mais pas en Chine.
Filariose	<i>Culex quinquefasciatus</i>	Moyen	Les vecteurs du genre <i>Culex</i> se reproduisent dans de l'eau contenant une pollution organique. La filariose est endémique dans la plupart des pays où l'on pratique l'aquaculture alimentée par des rejets.
Encéphalite japonaise	<i>Culex</i> spp.	Faible	Les vecteurs se reproduisent dans les rizières inondées. L'encéphalite japonaise est endémique dans de nombreux pays où l'on pratique l'aquaculture alimentée par des rejets.
Paludisme	<i>Anopheles</i> spp.	Faible	Les vecteurs se reproduisent dans de l'eau non polluée; 90% des cas de paludisme se déclarent en Afrique, où l'aquaculture alimentée par des rejets n'est pas courante. On a signalé la reproduction d'anophèles dans des séries de bassins de stabilisation.

Sources: OMS (1988a); TDR (2004).

communauté donnée, investir des montants importants dans la réduction de cette contribution ne serait pas efficace sur le plan économique.

Les informations de départ sur les niveaux de fond de la morbidité dans la population peuvent être obtenues auprès des établissements de santé locaux et à partir des données de surveillance de la santé publique, d'analyses de laboratoire, d'études épidémiologiques ou de travaux de recherche spécifiques menés sur une communauté similaire ou choisie. Les fluctuations saisonnières de l'incidence de la maladie (pendant la saison humide ou la saison froide, notamment) doivent être prises en compte (les infections à rotavirus atteignent un pic pendant la saison froide, par exemple). Lors de l'évaluation de l'utilisation des eaux usées et des excreta dans une zone donnée, il importe d'établir la situation de référence en termes de morbidité et d'estimer ensuite les tendances (si l'incidence de la morbidité augmente ou diminue, par exemple). Des niveaux de fond élevés de la morbidité (trématodose, par exemple) ou des flambées épidémiques (typhoïde, par exemple) peuvent être une indication que les procédures de gestion des risques n'ont pas été appliquées correctement et qu'elles doivent être renforcées ou reconsidérées.

L'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture produit à la fois des effets positifs et négatifs sur la santé publique. L'emploi intentionnel de ces rejets dans les activités aquacoles n'étant pas très répandu, les informations disponibles sur les impacts sanitaires de cet emploi sont assez limitées. Les informations disponibles sont résumées dans le présent chapitre.

3.1 Données microbiennes

Les données microbiennes sont utilisables pour indiquer la présence éventuelle de dangers dans l'environnement. L'analyse microbienne est un processus important dans l'apport de données destinées à l'évaluation des risques. Des informations spécifiques au site sur les types et les nombres d'agents pathogènes présents dans les eaux usées ou les excreta, dans les bassins alimentés par ces rejets et dans les poissons et les produits qu'ils fournissent sont utilisables pour quantifier les risques.

Les eaux usées et les excreta non traités renferment divers organismes excrétés, y compris des agents pathogènes, dont les types et les nombres dépendent des niveaux de fond des maladies dans la population. Le Tableau 3.1 présente les plages de concentrations de divers organismes excrétés que l'on peut trouver dans les eaux usées et les excreta. Les types et les concentrations d'agents pathogènes pouvant être très variables, il est utile de recueillir des données au niveau local pour évaluer les risques et mettre au point des stratégies pour les gérer. Les organismes excrétés peuvent être éliminés ou inactivés par de nombreux procédés de traitement des eaux usées ou des excreta. Les efficacités d'élimination pour les différents types d'organismes sont évoquées plus en détail au chapitre 5.

Il est rare que l'on dose directement les agents pathogènes dans les eaux usées ou les excreta car leurs concentrations sont variables et les méthodes analytiques souvent difficiles ou coûteuses à mettre en œuvre. On utilise à la place des indicateurs de contamination fécale tels qu'*E. coli* ou les coliformes thermotolérants en tant qu'indicateurs indirects d'agents pathogènes ayant des caractéristiques similaires et susceptibles d'être présents dans les eaux usées ou les excreta. Habituellement, mais pas toujours, leur concentration dans l'eau est proportionnelle à la contamination fécale présente. Dans le cas des eaux usées et des excreta, les indicateurs peuvent témoigner du degré de traitement ou de purification naturelle que ces rejets ont subi et fournir ainsi une estimation grossière du risque associé à leur utilisation. Des méthodes d'analyse normalisées ont été mises au point pour *E. coli* et les coliformes thermotolérants et sont largement employées.

Malheureusement, il n'existe pas d'organisme indicateur parfait pour les eaux usées et les excreta, et notamment pour les agents pathogènes bactériens non fécaux, les trématodes, les virus et les protozoaires, dans la mesure où les concentrations de bactéries indicatrices fécales ne correspondent souvent pas aux concentrations de ces organismes. Pour une discussion plus poussée des avantages et des inconvénients des différents indicateurs fécaux, se référer à OMS (2004a) et à Jiménez (2003).

Un grand nombre des agents pathogènes excrétés peuvent survivre dans l'environnement suffisamment longtemps pour être transmis aux êtres humains lors d'un contact avec des eaux usées ou des excreta ou de la consommation de produits contaminés provenant des bassins aquacoles alimentés par de tels rejets (voir Tableau 3.2). Le dépérissement des agents pathogènes dans les bassins piscicoles peut être plus proche de celui observé dans les bassins de maturation appartenant aux systèmes de bassins de stabilisation (c'est-à-dire plus rapide que celui s'opérant dans d'autres eaux de surface), car les deux types de bassin présentent des propriétés similaires (Edwards et al., 1984, Edwards,

Tableau 3.1 Concentrations d'organismes excrétés dans les eaux usées et les fèces

Organisme	Nombre d'organismes dans les eaux usées (par litre)	Nombre d'organismes dans les fèces ^a (par gramme)
Bactéries		
Coliformes thermotolérants	10 ⁸ –10 ¹⁰	10 ⁵ –10 ¹¹
<i>Campylobacter jejuni</i>	10–10 ⁴	10 ⁶ –10 ⁹
<i>Salmonella</i> spp.	1–10 ⁵	10 ⁴ –10 ⁸
<i>Shigella</i> spp.	10–10 ⁴	10 ⁷
<i>Vibrio cholerae</i>	10 ² –10 ⁵	10 ⁷
Helminthes		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	1–10 ³	1–10 ⁵
<i>Schistosoma mansoni</i>	ND	1–10 ³
<i>Clonorchis sinensis</i>	ND	10 ²
Protozoaires		
<i>Cryptosporidium parvum</i>	1–10 ⁴	10 ⁷ –10 ⁸
<i>Entamoeba histolytica</i>	1–10 ²	10 ⁵ –10 ⁸
<i>Giardia intestinalis</i>	10 ² –10 ⁵	10 ⁵ –10 ⁸
Virus		
Virus entériques	10 ⁵ –10 ⁶	10 ⁴ –10 ⁹
Rotavirus	10 ² –10 ⁵	10 ⁷ –10 ¹¹

N. D. : pas de données.

Sources : Feachem et al. (1983); Strauss (1985); Mara & Silva (1986); Oragui et al. (1987); Yates & Gerba (1998); OMS (2002).

^a Estimations des nombres d'agents pathogènes pour les individus infectés.

Polprasert & Wee, 1987; Edwards, 1992). En général, la survie des agents pathogènes est en gros inversement proportionnelle à la température de l'eau. Si des eaux usées ou des excreta sont introduits en continu dans un bassin ou dans des eaux de surface où l'on pratique l'aquaculture, l'eau de ce bassin ou ces eaux de surface contiendront fort probablement en permanence des agents pathogènes viables.

Les agents pathogènes qui se concentrent dans les viscères des poissons ou qui infestent leurs tissus (*Clonorchis* ou *Opisthorchis*, par exemple) peuvent survivre (et dans certains cas se reproduire) jusqu'à ce que le poisson soit récolté et consommé (Buras, 1993; OMS, 1995). Les métacercaires de trématodes (*Fasciola hepatica*, par exemple) enkystées sur des végétaux peuvent rester infectieuses pendant de nombreux mois et peuvent même survivre à l'hiver sous les climats tempérés (Feachem et al., 1983).

Les trématodes ne peuvent se multiplier dans les bassins que si des mollusques hôtes intermédiaires sont également présents car cette étape de leur cycle de vie est spécifique de l'espèce de mollusque hôte. Le Tableau 2.7 de la partie 2.7.2 fournit des informations sur les principaux types de trématodes sources de préoccupations pour l'aquaculture alimentée par des rejets et pour les pays où les maladies associées sont endémiques.

3.1.1 Qualité microbiologique de l'eau des bassins

Des études ont été menées en laboratoire et dans des bassins aquacoles alimentés par des rejets sur l'association entre la qualité microbiologique de l'eau de bassin et la qualité

Tableau 3.2 Survie de divers organismes dans certains milieux environnementaux entre 20 et 30°C

Organisme	Durée de la survie (jours)	
	Eau douce et eaux-vannes	Plantes
Virus		
Entérovirus ^a	<120, mais habituellement <50	<60, mais habituellement <15
Bactéries		
Coliformes thermotolérants	<60, mais habituellement <30	<30, mais habituellement <15
<i>Salmonella</i> spp.	<60, mais habituellement <30	<30, mais habituellement <15
<i>Shigella</i> spp.	<30, mais habituellement <10	<10, mais habituellement <5
<i>Vibrio cholerae</i>	N. D.	<5, mais habituellement <2
Protozoaires		
Kystes d' <i>Entamoeba histolytica</i>	<30, mais habituellement <15	<10, mais habituellement <2
Oocystes de <i>Cryptosporidium</i>	<180, mais habituellement <70	<3, mais habituellement <2
Helminthes		
œufs d' <i>Ascaris</i>	Années	<60, mais habituellement <30
œufs de vers plats	Plusieurs mois	<60, mais habituellement <30
œufs de trématodes ^b	<30	<300 ^c

N. D. : absence de données.

Sources: Feachem et al. (1983); Strauss (1985); Robertson, Campbell & Smith (1992); Jenkins et al. (2002); Warnes & Keevil (2003).

^a Poliovirus, échovirus et virus Coxsackie.

^b Dans ces plages de températures et dans une eau bien oxygénée, les œufs de trématodes peuvent éclore rapidement pour donner des miracidies, qui dépériront dans les heures qui suivent s'ils ne trouvent pas un mollusque hôte intermédiaire approprié à infester. Dans des eaux plus froides ou anaérobies, les œufs de trématodes peuvent survivre pendant plusieurs mois.

^c Les métacercaires de *Fasciola hepatica* enkystées sur des plantes aquatiques peuvent rester infectieuses pendant de nombreux mois. Dans les environnements tempérés, elles peuvent survivre à l'hiver sur ces plantes. Les métacercaires présentes dans la chair des poissons peuvent rester infectieuses sur toute la vie de ces poissons.

des tissus des poissons élevés dans ces bassins. Les poissons et les végétaux accumulent passivement à leur surface des contaminants microbiens. Les poissons concentrent dans leurs viscères les bactéries, les virus et les protozoaires présents dans l'eau. Dans le cadre de l'aquaculture alimentée par des rejets, ils peuvent concentrer des microbes pathogènes pour l'homme car certains d'entre eux sont également présents dans l'eau. Il est rare que des agents pathogènes (à l'exclusion des trématodes) pénètrent dans la chair comestible des poissons (muscles). Cependant, si les poissons sont stressés – par exemple en raison du surpeuplement, de la mauvaise qualité de l'eau ou d'autres conditions –, les bactéries et les virus (il n'existe pas de données concernant les protozoaires) sont parfois en mesure de pénétrer dans la chair comestible. Des recherches ont été menées pour identifier un seuil de concentration bactérien au-delà duquel il y a pénétration dans le muscle des agents pathogènes (Edwards, 1984; Buras, Duek & Niv, 1985; Buras et al., 1987; Buras, 1990; Fattal, Doan & Tchorsch 1992). Les résultats de ces études sont néanmoins contradictoires et semblent plus liés aux conditions d'élevage entraînant le stress des poissons qu'à la qualité microbiologique de l'eau.

Les méthodes pour détecter les œufs de trématodes dans l'eau doivent faire l'objet d'une standardisation. En outre, dans l'eau oxygénée et chaude, ces œufs peuvent se développer rapidement pour donner des miracidés. Ces miracidés doivent trouver un mollusque approprié à infester dans les heures qui suivent, faute de quoi ils meurent (Feachem et al., 1983). Tout cela peut rendre difficile la surveillance des trématodes parasites dans l'eau. Dans les régions d'endémie, il est donc parfois plus judicieux d'identifier les mollusques hôtes intermédiaires appropriés et la présence de métacercaires enkystées dans la chair des poissons ou sur les végétaux.

Il est plus probable que les indicateurs microbiens de qualité de l'eau (*E. coli* ou coliformes thermotolérants, par exemple) donnent plus d'indications sur les risques sanitaires encourus à l'occasion de contacts prolongés ou étendus avec de l'eau (travailleurs ou autres groupes d'individus ayant accès à des installations aquacoles, par exemple; voir partie 3.2) que sur les risques sanitaires qui menacent les consommateurs de poissons.

3.1.2 Preuves de la contamination des produits : poissons

Les bactéries, les protozoaires et les virus pathogènes se retrouvent rarement dans la chair comestible des poissons, mais leur concentration dans le système digestif et dans le liquide intrapéritonéal de ces poissons est presque toujours supérieure à la concentration ambiante. Ces pathogènes peuvent aussi être présents à la surface de la peau des poissons (Edwards, 1992). La flore microbienne des poissons semble refléter la qualité microbiologique de l'eau dans laquelle ils ont été prélevés (Buras et al., 1997). Des preuves limitées laissent à penser que certains types de bactéries seraient capables de se reproduire dans le système digestif des poissons. On a constaté que *Salmonella* et *E. coli* survivaient et se multipliaient dans les viscères des tilapias et des carpes élevés dans des bassins alimentés par des rejets (Buras, 1993; Fattal et al., 1993). Une étude menée au Viet Nam et consistant à dénombrer les coliformes thermotolérants présomptifs chez les poissons élevés dans des bassins alimentés par des eaux usées (10^6 pour 100 ml) et dans des bassins non alimentés par de tels rejets (10^4 pour 100 ml) n'a mis en évidence aucune différence significative entre les nombres de coliformes thermotolérants présomptifs contenus dans les viscères de poissons provenant des deux catégories de bassins: à savoir la carpe commune (moyennes logarithmiques de 5,3 et 6,2, respectivement), le tilapia du Nil (moyennes logarithmiques de 5,2 et 4,6 respectivement) et la carpe argentée (moyennes logarithmiques toutes les deux égales à 4,7) (Lan et al., sous presse).

Dans les cas où l'on détecte des bactéries et des virus dans la chair comestible des poissons élevés dans des installations aquacoles alimentées par des rejets, les concentrations de ces organismes sont presque toujours extrêmement faibles. Par exemple, une étude menée au Viet Nam sur la qualité microbiologique des muscles de poissons élevés dans des bassins alimentés par ces rejets (10^6 coliformes thermotolérants pour 100 ml) et dans des bassins ne recevant pas de rejets (10^4 coliformes thermotolérants pour 100 ml) n'a trouvé aucun coliforme thermotolérant présomptif par gramme de muscle pour la majorité des poissons, avec seulement quelques spécimens contenant 2 à 3 coliformes thermotolérants présomptifs par gramme de tissu musculaire (Lan et al., sous presse). Des résultats similaires ont été rapportés par Fattal, Doan & Tchorsch (1992) et par Edwards (1984).

Des études de la qualité microbiologique (indicateurs microbiens) de la chair des poissons prélevés au point de récolte de l'installation aquacole alimentée par des rejets font souvent apparaître de faibles niveaux de contamination bactérienne. Cependant, lorsque les poissons produits par l'aquaculture alimentée par des rejets sont soumis à des

prélèvements sur les marchés, on trouve fréquemment des niveaux de contamination beaucoup plus élevés dans leur chair comestible. Cette observation indique que la contamination bactérienne des chairs de poisson s'effectue pour une grande part pendant le nettoyage après récolte, sous l'effet de la contamination croisée avec le contenu des viscères ou avec des installations peu hygiéniques.

Une étude réalisée au Viet Nam sur la qualité microbiologique du tissu musculaire de poissons provenant de bassins alimentés par des rejets (10^6 coliformes thermotolérants présomptifs) et de bassins ne recevant pas de rejets (10^4 coliformes thermotolérants présomptifs) a montré que les poissons prélevés au point de récolte présentaient des niveaux de contamination bactérienne presque identiques; la plupart des échantillons ne contenaient aucun coliforme thermotolérant présomptif par gramme de tissu musculaire, à l'exception de quelques-uns qui renfermaient 2 à 3 coliformes thermotolérants présomptifs par gramme de tissu musculaire. Les poissons issus des deux sites ont été récoltés et transportés vivants jusqu'au marché voisin. Après transformation sur le marché par les poissonniers, les poissons ont été achetés et ont fait l'objet de prélèvements. La chair comestible présentait des niveaux de contamination situés entre 800 et 17 000 et entre 2800 et 19 000 coliformes thermotolérants présomptifs par gramme de tissu musculaire pour les poissons provenant respectivement des bassins alimentés par des rejets et des bassins ne recevant pas de rejets (il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes). Pour les deux types de poissons, le niveau de contamination entre le point de récolte et le point de vente avait augmenté de manière exponentielle (Lan et al., sous presse).

Les cercaires infectieuses de trématodes parasites (*Opisthorchis viverrini* et *Clonorchis sinensis*, par exemple) peuvent pénétrer dans la chair de poisson à partir du milieu aqueux (voir Tableau 2.7 de la partie 2.7.2). Elles s'enkystent dans la chair de poisson et sont détectables par examen en laboratoire. Les méthodes de détection des métacercaires enkystées sont décrites dans OMS (1995). Un grand nombre des poissons produits par l'aquaculture alimentée par des rejets hébergent des trématodes parasites – en particulier *Clonorchis*. Une étude réalisée au Viet Nam a montré que 45 % des poissons élevés en bassin piscicole traditionnel étaient infestés par des métacercaires de *Clonorchis* (Son et al., 1995).

3.1.3 Preuves de la contamination des produits: plantes

Les éléments disponibles laissent à penser que les plantes cultivées dans des bassins alimentés par des rejets peuvent accumuler passivement à leur surface des parasites, des bactéries et des virus. Des métacercaires infectieuses des deux types de trématodes parasites (*Fasciola hepatica* et *Fasciolopsis buski*) s'enkystent sur certaines plantes aquatiques. Par exemple, *Fasciola* a été identifiée sur des plants de cresson des rivières et *Fasciolopsis* sur de la macre et des châtaignes d'eau (OMS, 1995). D'autres plantes aquatiques récoltées et/ou cultivées pour être consommées directement par des êtres humains peuvent aussi être contaminées, comme l'épinard d'eau et le mimosa d'eau, qui font l'objet d'une vaste culture. Des études historiques descriptives réalisées en Chine, où l'on ajoutait directement des matières de vidange dans les bassins piscicoles, ont indiqué que les plantes cultivées pour la consommation humaine dans des bassins alimentés par des rejets étaient infestées par le mollusque hôte intermédiaire des trématodes et présentaient de très nombreux kystes de *Fasciolopsis buski* (Barlow, 1925).

Concernant l'utilisation d'herbe à canard comme aliment, Edwards et al. (1984) ont constaté que la quantité de coliformes thermotolérants à la surface de cette plante était 100 fois supérieure à la concentration de ces organismes dans des bassins piscicoles

alimentés par des matières de vidange (essai 1) et dans des bassins alimentés par les effluents d'une latrine à chasse d'eau avec siphon, caractérisée par un temps de séjour de 30 jours (essai 2) (Edwards, Polprasert & Wee, 1987). Des analyses microbiennes des organes des poissons ont relevé la présence de nombres relativement élevés de coliformes thermotolérants dans les viscères, avec des moyennes de $7,9 \times 10^5$ et de $1,8 \times 10^5$ MPN/100 g dans les essais 1 et 2 respectivement. Pour le muscle de poisson, la numération hétérotrophique sur plaques donnait des résultats faibles, soit 3,5 et 3,0 UFC/g pour les essais 1 et 2 respectivement.

■ 3.2 Preuves épidémiologiques

Très peu d'études épidémiologiques ont été menées sur l'utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture. On dispose d'une étude sur les maladies cutanées associées au contact avec des eaux usées/excreta dans le cadre d'activités aquacoles et d'un travail isolé réalisé en Indonésie, sur les résultats sanitaires directs découlant de la consommation de poissons ou de plantes produits par l'aquaculture alimentée par des rejets (Blumenthal et al., 1991–1992; van der Hoek et al., 2005). Aucune étude n'a été effectuée sur l'association entre ce type d'aquaculture et les risques d'infestation humaine par les trématodes transmis par des poissons ou des végétaux.

3.2.1 Maladies cutanées

Des recherches menées à Phnom Penh au Cambodge indiquent qu'il peut exister une association entre l'exposition à des eaux usées et des problèmes de peau tels que des dermatites de contact (eczéma) (van der Hoek et al., 2005). Dans le cadre d'une enquête auprès de ménages participant à la culture de végétaux aquatiques dans un lac fortement contaminé par des eaux-vannes non traitées, 22 % des individus appartenant à ces ménages ont rapporté des problèmes de peau. Lors d'une enquête auprès de ménages présentant des caractéristiques analogues et vivant autour d'un lac ne recevant pas d'eaux usées, 1 % seulement des individus ont signalé des problèmes cutanés. Les problèmes de peau concernaient le plus souvent les mains (56 %), les pieds (36 %) et les jambes (34 %). Leur cause n'a pu être déterminée, mais il s'agissait probablement d'un mélange d'agents (chimiques et biologiques) présents dans les eaux usées. D'autres études sont nécessaires concernant les problèmes de peau provoqués par l'exposition professionnelle à des eaux usées.

3.2.2 Consommation de produits et autres expositions

L'utilisation d'excreta humains en aquaculture se pratique dans certaines parties de Java-Ouest, en Indonésie, par le biais de latrines suspendues au-dessus de bassins piscicoles. Ces bassins sont petits et servent principalement à l'approvisionnement domestique en poissons. Blumenthal et al. (1991–1992) ont réalisé une étude transversale du risque de maladie diarrhéique associé à l'utilisation d'excreta parmi les populations exposées (nombre total de ménages étudiés : 1961, comprenant tous des enfants de moins de cinq ans) (Blumenthal et al., 2000). L'exposition à l'eau des bassins piscicoles était une exposition de type domestique (par lavage ou bain), récréatif (jeu ou nage) ou alimentaire (par consommation de poissons élevés dans ces bassins). En outre, ces personnes ont subi une exposition lors de la défécation (du fait de l'utilisation des latrines suspendues au-dessus des bassins piscicoles). Trois groupes (exposition domestique, récréative et liée à la défécation) ont été comparés (leurs membres avaient subi des expositions variables, sauf pour la consommation de poissons, qu'ils avaient tous en commun). La moyenne géométrique des concentrations de coliformes thermotolérants dans l'eau des bassins était

de $3,9 \times 10^4/100\text{ml}$, avec une plage de variation de 10^2 à 10^5 UFC/100ml. Lorsqu'on examinait le risque lié à la consommation de poissons séparément dans les trois domaines d'étude, on ne trouvait aucune association entre l'exposition et l'apparition de maladies diarrhéiques chez les individus de plus de cinq ans. Chez les enfants de moins de cinq ans, les expositions domestiques et récréatives étaient associées à une augmentation significative des maladies diarrhéiques (Odds ratio ajusté, OR = 1,65, intervalle de confiance à 95 %, IC = 1,13–2,41 pour l'exposition domestique; et OR ajusté = 1,89, intervalle de confiance à 95 %, IC = 1,14–3,13, pour l'exposition récréative). En outre, la consommation de poissons élevés dans des bassins équipés de latrines était associée à une augmentation des maladies diarrhéiques (pas significative au niveau de confiance de 95 %) (OR = 1,45; IC à 95 % = 0,97–2,17). On relevait certains éléments indiquant un risque accru de diarrhée lié à la consommation de poisson chez le groupe témoin (OR = 2,35; IC à 95 % = 1,01–5,29) par rapport au groupe exposé (OR = 1,09; IC à 95 % = 0,61–1,95), soit une augmentation du risque de diarrhée d'un facteur 1,5 dans la zone semi-exposée (non statistiquement significative) et une absence d'augmentation dans la zone exposée (Blumenthal et al., 2000).

D'après l'étude, le contact à des fins récréatives ou domestiques avec de l'eau provenant des bassins piscicoles alimentés par des excreta contenant en moyenne $3,9 \times 10^4$ coliformes thermotolérants pour 100 ml était à l'origine d'un excès de risque de diarrhée chez les enfants de moins de cinq ans exposés. La consommation de poissons issus de ces bassins peut aussi présenter des risques pour les personnes vivant dans des zones dépourvues de bassins et moins exposées à la contamination (Blumenthal et al., 2000). D'autres travaux sont nécessaires pour confirmer les résultats de cette étude.

S'il existe des preuves irréfutables de la transmission d'helminthes intestinaux (*Trichuris* spp., *Ascaris* spp. ou ankylostomes) du fait de l'utilisation d'eaux usées en agriculture, on dispose de très peu d'éléments concernant la transmission de ces parasites par le biais de l'aquaculture alimentée par des rejets. Des recherches doivent être entreprises sur les risques d'helminthiase associés à ce type d'aquaculture, et notamment sur la survie des œufs d'helminthes et sur leur infectiosité pour les êtres humains exposés à des environnements aquatiques contenant des eaux usées (capacité des larves d'ankylostomes à pénétrer à travers la peau, par exemple).

Fattal et al. (1981) ont réalisé une revue rétrospective des dossiers cliniques sur une période de quatre ans, qui a révélé que les kibboutz (coopératives agricoles) utilisant des effluents contenant des eaux usées pour alimenter des bassins piscicoles présentaient des taux de maladies entériques cliniques et de cas confirmés en laboratoire de salmonellose plus importants que les kibboutz n'employant pas ces effluents (Blum & Feachem, 1985).

Aucune étude épidémiologique n'est disponible sur les risques d'infestation par des trématodes transmis par des plantes ou des poissons en relation avec la consommation de produits de l'aquaculture alimentée par des rejets. On ne dispose pas non plus d'étude sur l'occurrence et la densité des métacercaires de trématodes dans les plantes et les poissons produits par ce type d'aquaculture par rapport aux plantes et aux poissons obtenus sans utiliser de rejets, y compris les poissons pêchés à l'état sauvage. Il est donc urgent de réaliser des études épidémiologiques prenant en compte tous les facteurs de risque pertinents pour la transmission des trématodes parasites, y compris les mollusques hôtes intermédiaires, le rôle des réservoirs animaux et l'hôte humain.

■ 3.3 Produits chimiques

Dans de nombreuses régions, les eaux usées municipales et les rejets industriels sont rejetés dans les mêmes réseaux de drainage ou d'égout. Cette pratique peut introduire

des produits chimiques toxiques tels que des métaux lourds et des hydrocarbures chlorés dans les eaux usées. Pour limiter le plus possible les effets préjudiciables pour la santé et l'environnement, ces rejets industriels devraient subir un prétraitement approprié pour éliminer ces produits chimiques ou être traités séparément des eaux usées municipales et des excreta. Les eaux usées utilisées en aquaculture ne doivent pas contenir des concentrations notables de produits chimiques toxiques.

La chimie et le devenir dans l'environnement aquatique des produits chimiques toxiques tels que les métaux lourds et les hydrocarbures chlorés sont complexes. Cependant, les concentrations de métaux lourds rapportées dans les poissons élevés en aquaculture ne dépassent habituellement pas les niveaux recommandés par la Commission du Codex Alimentarius, même dans le cas de poissons récoltés dans des eaux fortement polluées renfermant des concentrations élevées de métaux (OMS, 1999). Cette considération s'applique également aux poissons élevés dans des effluents de bassins de stabilisation en Égypte (Easa et al., 1995 ; Shereif & Mancy, 1995), à Hong Kong (Sin, 1987) et au Pérou (PNUE, 2002).

La plupart des métaux lourds précipitent sous forme de sulfures insolubles ou d'hydroxydes dans les conditions anaérobies qui prévalent dans les eaux-vannes brutes et subissent une baisse de concentration supplémentaire dans les conditions alcalines des bassins alimentés par des rejets, car la solubilité des métaux diminue lorsque le pH augmente. En outre, les métaux ont tendance à précipiter dans les sédiments anaérobies des bassins piscicoles. Bien que les poissons absorbent rapidement les métaux présents dans l'eau à travers leurs branchies et ceux associés aux aliments dans leurs viscères, ils sont capables de réguler les concentrations de métaux lourds inorganiques dans leurs tissus musculaires. Néanmoins, le mercure sous forme de méthyle mercure est mal régulé par les poissons. En général, les poissons carnivores à longue durée de vie accumulent le mercure à des concentrations plus élevées que les poissons relativement jeunes et petits, qui se nourrissent à des niveaux plus bas de la chaîne alimentaire.

Une étude effectuée sur les végétaux et les poissons vendus sur les marchés de la zone métropolitaine de Calcutta a recommandé, pour réaliser une éventuelle évaluation des risques, de prendre en compte la dose journalière totale de métaux provenant de toutes les sources (Biswas & Santra, 2000). Les concentrations de cadmium, de chrome et de plomb dans les poissons et les végétaux produits en utilisant des eaux usées étaient beaucoup plus élevées que les concentrations de ces métaux dans des produits élevés ou cultivés sans employer d'eaux usées. Néanmoins, ces concentrations restaient inférieures à celles recommandées par la Commission du Codex Alimentarius et n'étaient pas considérées comme associées à des effets préjudiciables pour la santé.

Une étude portant sur l'accumulation de métaux toxiques dans des épinards d'eau cultivés dans des eaux usées mixtes urbaines/industrielles provenant de la ville de Hanoï au Viet Nam a constaté que les concentrations de cadmium et de plomb dans ces épinards ne dépassaient pas celles prescrites par les normes du Codex Alimentarius pour les végétaux à feuilles, soit 0,2 et 0,3 µg/g de poids frais, respectivement. Bien que la concentration d'arsenic dans les épinards d'eau fût plus élevée que les concentrations de cadmium et de plomb, il a été conclu, sur la base des normes du Codex, qu'il n'y avait pas de risque immédiat pour la santé à consommer ces épinards d'eau (Jørgensen, 2005).

Les données disponibles sont insuffisantes pour fournir un tableau général de la contamination par les hydrocarbures chlorés, groupe de produits chimiques dont la présence dans les produits de l'aquaculture inquiète le plus les spécialistes de l'environnement et les responsables de la santé publique car la plupart des données de mesure concernant ces produits proviennent de dosages réalisés sur des poissons sauvages pêchés

ou sur des poissons élevés dans des milieux exempts d'eaux usées et d'excreta (OMS, 1999). Les eaux usées ne sont pas spécifiquement associées aux produits chimiques à usage agricole et les poissons élevés dans ces eaux ne présentent habituellement que de faibles concentrations d'insecticides chlorés dans leurs tissus (OMS, 1999 ; Zhou, Cheung & Wong, 1999 ; PNUE, 2002). La production de biphényles polychlorés (PCB) a maintenant été interdite dans la plupart des pays développés. La présence de PCB, à des concentrations en deçà des limites considérées comme acceptables par la Commission du Codex Alimentarius, a été signalée chez des poissons élevés dans des bassins alimentés par des eaux usées en Égypte (Easa et al., 1995) et au Pérou (PNUE, 2002). Les dioxines et les furanes ne sont pas fabriqués intentionnellement mais générés en tant que produits de combustion ou sous-produits de la préparation d'autres produits chimiques chlorés et peuvent donc être présents dans les eaux usées. Sur la base de leur estimation qualitative, les risques dus aux hydrocarbures persistants pour l'aquaculture alimentée par des eaux usées ont été jugés faibles (OMS, 1999).

Lorsqu'ils sont présents en excès dans les eaux usées, les boues, les excreta ou les engrais d'origine humaine, les nutriments (principalement de l'azote et du phosphore) peuvent contaminer les eaux de surface et provoquer une eutrophisation. À son tour, l'eutrophisation des sources d'eau douce peut créer des conditions environnementales favorables au développement de cyanobactéries produisant des toxines. Les toxines libérées par ces cyanobactéries sont susceptibles de provoquer des gastro-entérites, des lésions hépatiques, des troubles du système nerveux central et des irritations cutanées. L'exposition chronique à des toxines cyanobactériennes a été associée à des cancers du foie chez l'animal et peut provoquer des effets similaires chez l'homme (Chorus & Bartram, 1999). L'exposition à ces toxines s'opère habituellement par contact avec de l'eau de boisson ou de l'eau à usage récréatif contaminée. Néanmoins, les personnes travaillant à proximité des bassins de pisciculture et les consommateurs de poissons d'eau douce contaminés peuvent aussi être exposés à ces toxines (Chorus & Bartram, 1999).

Des travaux expérimentaux réalisés sur des tilapias et des carpes argentées qui se nourrissent en filtrant l'eau montrent que ces espèces évitent d'ingérer du phytoplancton lorsque celui-ci contient des cellules toxiques (Beveridge et al., 1993 ; Keshavanath et al., 1994). Une exposition prolongée à de fortes concentrations de microcystines libres dans la colonne d'eau, comme celles pouvant apparaître à la fin de la floraison du plancton, peut conduire à l'accumulation de ces composés dans le foie de poissons d'eau douce (Codd & Bell, 1995). Globalement, le bilan des éléments disponibles laisse à penser que ces toxines ne représentent pas une menace sanitaire importante pour les consommateurs de poissons provenant de l'aquaculture alimentée par des rejets (OMS, 1999). Cependant, certaines espèces d'algues bleu-vert (spirulines) sont cultivées pour produire des compléments alimentaires. Dans certaines zones où ces algues sont cultivées, on trouve aussi parfois des cyanobactéries produisant des toxines (Chorus & Bartram, 1999). Gilroy et al. (2000) ont relevé des concentrations de toxines cyanobactériennes (microcystines) dépassant 1 µg/g dans 72 % des échantillons de suppléments alimentaires analysés. Cette teneur en microcystines peut entraîner des expositions excédant la dose journalière pour ces substances si, par exemple, une personne de 60 kg consomme plus de 2,4 g de complément alimentaire par jour (en supposant que les autres aliments ingérés et l'approvisionnement en eau n'apportent pas d'autre contribution) (OMS, 2004a). D'autres recherches sont nécessaires pour mettre en évidence d'éventuels effets préjudiciables associés à la consommation de compléments alimentaires à base d'algues bleu-vert contaminées.

■ 3.4 Bénéfices pour la santé

L'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture peut amener une amélioration de la nutrition et de la sécurité alimentaire des ménages. Pour nombre de personnes pauvres, les bénéfices nutritionnels tirés de l'aquaculture alimentée par des rejets peuvent être substantiels. De plus, si les ménages sont en mesure de vendre les produits de cette aquaculture, les bénéfices sanitaires indirects peuvent également augmenter.

La FAO estime à environ un milliard le nombre de personnes dépendant du poisson comme source principale de protéines animales. Un cinquième de la population mondiale tire au moins 20% de sa consommation de protéines animales du poisson. Dans 34 pays, dont beaucoup appartiennent à la catégorie des pays les moins industrialisés, le poisson apporte plus de 50% des protéines animales (FAO, 2000). Les personnes qui pratiquent une aquaculture familiale à petite échelle ont une plus grande probabilité de dépendre des eaux usées ou des excreta comme sources d'engrais pour leurs bassins.

Le poisson est un aliment hautement nutritif (Randall, Bolis & Agradi, 1990; MAFF, 1995). Il constitue une source précieuse de protéines de qualité similaire à celle de la viande et du lait et renferme des acides aminés essentiels à des concentrations relativement élevées. La production aquacole de poissons apporte une contribution conséquente à l'approvisionnement en protéines animales de nombreuses zones rurales. Dans certaines régions, les poissons d'eau douce représentent une source de protéines animales de haute qualité et peu onéreuses, essentielle et souvent irremplaçable, pour équilibrer l'alimentation des communautés à la limite de l'insécurité alimentaire. Les poissons issus de l'aquaculture alimentée par des eaux usées ou des excreta sont souvent petits et consommés entiers, ce qui fournit une source importante à la fois de protéines et de minéraux pour les communautés pauvres et dépendant de cette aquaculture pour leur subsistance.

Si les protéines sont importantes pour la croissance corporelle, les acides gras polyinsaturés sont essentiels pour maintenir en bon état les systèmes cardio-vasculaire et immunitaire et sont indispensables au développement cérébral (Randall, Bolis & Agradi, 1990; Crawford, 2002). Les acides gras essentiels ne peuvent être synthétisés par les animaux, y compris les poissons et les humains, et doivent donc être présents dans l'alimentation. Ils proviennent du phytoplancton et sont transmis avec une grande efficacité à travers la chaîne alimentaire, directement ou par passage du zooplancton aux poissons. Les poissons sont la plus riche source en acides gras polyinsaturés oméga-3 offerte par la nature. La teneur en matières grasses des poissons varie selon leur espèce et leur régime alimentaire, mais la chair de poisson renferme peu de cholestérol et de graisses saturées et contient en revanche une quantité importante d'acides gras essentiels polyinsaturés. Les carpes (Steffens & Wirth, 1997) et les tilapias (Karapanagiotidis et al., 2002), qui s'alimentent à partir des réseaux trophiques reposant sur le plancton prédominant dans les bassins piscicoles alimentés par des rejets, présentent une teneur considérable en acides gras polyinsaturés.

Les poissons sont également riches en vitamines liposolubles A et D et en vitamine hydrosoluble B₁₂. Ils constituent une bonne source de minéraux comme le calcium, l'iode, le fer, le phosphore et le potassium. Comme éléments traces abondants dans le poisson, on peut mentionner le cobalt, le cuivre, le manganèse, le molybdène, le sélénium et le zinc. Les petits poissons consommés entiers représentent une source particulièrement intéressante de calcium et de vitamine A (Thilsted, Roos & Hassan, 1997). Le calcium est particulièrement important pour les femmes enceintes et allaitantes ainsi que pour les nourrissons, et l'absorption du calcium provenant des petits poissons s'effectue aussi bien que celle du calcium présent dans le lait. La vitamine A joue un rôle important dans la

prévention des lésions oculaires graves (xérophtalmie) et de la cécité complète (kératomalacie).

Outre les poissons, on cultive dans les eaux usées un certain nombre de plantes aquatiques. La culture de telles plantes (épinards d'eau, par exemple) fournit un revenu non négligeable et contribue de manière conséquente à l'alimentation des consommateurs dans plusieurs pays d'Asie du Sud-Est. Ces plantes aquatiques sont consommées crues ou cuites comme des légumes verts. Outre leur forte teneur en protéines, avec des concentrations de protéines dans les plants frais d'épinard d'eau allant de 1,5 à 1,6 %, ces plantes sont une bonne source de minéraux, notamment de fer, et de vitamines A, C et E (NAS, 1976).

La capacité de l'aquaculture à améliorer la nutrition, en particulier celle des enfants, est très importante dans le maintien de la santé globale des individus et des communautés. On estime que la malnutrition joue un rôle dans 50 % des décès d'enfants dans les pays en développement (10,4 millions d'enfants de moins de cinq ans décèdent chaque année) (Rice et al., 2000 ; OMS, 2000a). La malnutrition touche environ 800 millions de personnes (20 % de la population) dans les pays en développement (OMS, 2000a). La malnutrition protéino-énergétique est la forme la plus létale de malnutrition. Les nourrissons et les jeunes enfants sont les plus susceptibles de souffrir d'un retard de croissance lié à une malnutrition protéino-énergétique en raison de leurs besoins élevés en énergie et en protéines et de leur vulnérabilité à l'égard des infections. Les enfants mal nourris sont malades jusqu'à 160 jours par an. La malnutrition protéino-énergétique affecte 25 % des enfants dans le monde : 150 millions présentent un déficit pondéral et 182 millions un retard de croissance (OMS, 2000a). La malnutrition peut aussi avoir des effets à long terme sur la santé et le développement social d'une communauté. Elle retarde à la fois la croissance physique et le développement cognitif. Par exemple, Berkman et al. (2002) ont constaté que les enfants de neuf ans ayant souffert d'un retard de croissance sévère au cours de leur deuxième année de vie obtenaient 10 points de moins à un test d'intelligence standardisé que ceux n'ayant pas présenté un tel retard à deux ans.

4 OBJECTIFS LIÉS À LA SANTÉ

Les objectifs liés à la santé sont établis à partir d'une valeur de référence correspondant au risque tolérable. La définition d'un risque tolérable approprié au niveau national est traitée au chapitre 2. Les risques associés à l'aquaculture alimentée par des rejets n'étant pas bien caractérisés ou quantifiés, il est plus difficile de fixer judicieusement un risque tolérable pour ce type d'activité. Il est néanmoins possible de mettre au point différents objectifs liés à la santé visant à prévenir un événement sanitaire particulier (transmission de la clonorchiose, par exemple) résultant d'activités aquacoles alimentées par des rejets. L'objectif lié à la santé sera alors atteint en combinant diverses mesures de protection sanitaire qui conduirait à ce résultat : traitement des eaux usées/excreta, restrictions portant sur les produits, transformation des poissons après la récolte (séchage, salage, conservation dans une solution de saumure) et/ou cuisson des poissons avant leur consommation, par exemple.

Pour chaque voie d'exposition (consommation, contact et transmission vectorielle, par exemple), on définit un objectif lié à la santé à partir d'un événement sanitaire pertinent. Cette considération est importante car les événements sanitaires pris en compte diffèrent selon les voies d'exposition, tout comme par conséquent les mesures de protection sanitaire. Par exemple, le traitement des eaux usées ou des excreta peut être efficace pour combattre les maladies liées à la consommation d'aliments ou au contact avec de l'eau contaminée, mais sera sans effet pour empêcher la propagation des maladies à transmission vectorielle. De même, le respect des règles d'hygiène dans la transformation des poissons est susceptible de réduire la contamination croisée par des bactéries et des virus, mais ne diminuera pas le risque associé à la présence de métacercaires de trématodes enkystés.

Les objectifs liés à la santé destinés à protéger la santé des consommateurs, des aquaculteurs et des communautés locales sont établis et présentés dans le présent chapitre. Le chapitre 5 renferme des informations supplémentaires sur les mesures de protection sanitaire.

■ 4.1 Protection des consommateurs de produits

Parmi les risques majeurs pour les consommateurs de produits figurent les trématodes parasites dans les régions d'endémie, d'autres agents pathogènes liés aux excreta présents dans les viscères ou à la surface des poissons ou des plantes, ainsi que les produits chimiques toxiques contenus dans la chair ou autres parties comestibles du poisson. La consommation de poissons ou de plantes à l'état cru ou insuffisamment cuits s'accompagnera toujours d'une augmentation du risque de transmission de maladies infectieuses, mais sera sans incidence sur les risques liés aux contaminants chimiques. Les objectifs liés à la santé concernant l'emploi d'eaux usées ou d'excreta en pisciculture ou en aquaculture végétale ont été établis en réalisant un arbitrage entre plusieurs approches reposant sur une base factuelle. Les objectifs liés à la santé correspondant à chacun des dangers associés à la consommation de produits sont présentés ci-après. Les paramètres de surveillance/vérification sont indiqués pour chaque catégorie.

4.1.1 Trématodes

Comme indiqué dans les chapitres 2 et 3, la consommation de poissons ou de plantes à l'état cru ou insuffisamment cuits peut transmettre divers trématodes parasites à transmission alimentaire. Les infestations par ces parasites peuvent provoquer une morbidité importante et, plus rarement, des décès – en particulier parmi les groupes vulnérables comme les enfants. Les trématodes peuvent survivre chez leur hôte pendant plusieurs

années, voire plus (OMS, 1995). Par conséquent, prévenir toute infestation par des trématodes transmise via la consommation de poissons ou de plantes issus de l'aquaculture alimentée par des rejets constitue un objectif lié à la santé approprié. Cet objectif peut être atteint en combinant diverses mesures de protection sanitaire, comme indiqué dans la Figure 2.2, et notamment le traitement des eaux usées ou des excréta, la maîtrise des populations d'hôtes intermédiaires, l'inspection des aliments, certaines techniques de transformation des produits alimentaires et, point le plus important, la cuisson avant leur consommation.

Le traitement des eaux usées ou celui des excréta en vue d'inactiver les œufs de trématodes est une intervention importante mais ne protège pas d'une contamination par des œufs de trématodes provenant d'animaux infestés provenant du bassin hydrographique. La présence d'un seul œuf viable non détecté peut conduire à une forte contamination des poissons ou des plantes par des métacercaires infectieuses en raison de la multiplication asexuée à très grande échelle du parasite dans les mollusques hôtes intermédiaires. Il est en outre difficile de confirmer l'absence ou la présence d'œufs de trématodes viables dans les eaux usées, les excréta ou l'eau des bassins, pour les raisons ci-après :

- Il n'existe pas encore de procédure standardisée pour la recherche en laboratoire des œufs de trématodes ; dès qu'une telle procédure sera mise au point, il faudra déterminer son rendement de récupération.
- Les œufs de trématodes pathogènes pour les humains sont difficiles à distinguer de ceux d'espèces non pathogènes.
- Dans les eaux aérobies chaudes, les œufs de trématodes se développent rapidement pour donner des miracidés et les œufs deviennent donc indétectables.

En général, compte tenu des problèmes mentionnés plus haut, la recherche des œufs de trématodes viables dans les eaux usées, les excréta ou l'eau des bassins doit être effectuée au stade de validation du système. Si les espèces de végétaux ou de poissons produites localement sont *toujours* consommées après une cuisson complète, la recherche des œufs de trématodes viables n'est pas nécessaire.¹ De même, les trématodes transmis par les aliments ne sont présents que dans certaines zones géographiques et ne représentent un danger que dans les lieux d'endémie parasitaire. Le Tableau 4.1 présente les objectifs en matière de qualité microbiologique de l'eau utilisables pour faciliter la réalisation de l'objectif lié à la santé relatif aux trématodes transmis par les aliments.

La surveillance/vérification concernant les trématodes transmis par les aliments couvre l'analyse d'échantillons de poissons et de plantes à la recherche de métacercaires infectieuses au point de récolte. La surveillance doit être menée par les autorités de santé publique ou de sécurité sanitaire des aliments locales, à intervalles de trois à six mois, selon la fréquence des trématodoses dans la zone locale.

4.1.2 Autres agents pathogènes

Comme indiqué dans le chapitre 2, le niveau de risque de référence adopté par l'OMS dans la troisième édition des *Directives de qualité pour l'eau de boisson* est de 10^{-6} DALY par personne et par an. Ce niveau de protection convient aussi comme objectif lié à la

¹ La schistosomiase est également due à certaines espèces de trématodes et peut rester un risque sanitaire pour les personnes en contact avec l'eau des bassins ou avec des sources d'eau contaminées dans la zone géographique où cette maladie est présente.

Tableau 4.1 Objectifs en matière de qualité microbiologique pour l'aquaculture alimentée par des rejets

Milieu	œufs de trématodes viables (y compris le cas échéant les œufs de schistosomes) (nombre pour 100 ml ou par g de matières solides totales ^a)	<i>E. coli</i> (moyenne arithmétique du nombre d' <i>E. coli</i> pour 100 ml ou par g de matières solides totales ^{a,b})	œufs d'helminthes ^c (moyenne arithmétique du nombre d'œufs par litre ou par g de matières solides totales ^{a,d})
Consommateurs de produits			
Eau des bassins	Indétectables	≤10 ⁴	≤1
Eaux usées	Indétectables	≤10 ⁵	≤1
Excreta traités	Indétectables	≤10 ⁶	≤1
Chair ou parties comestibles des poissons	Métacercaires (présence ou absence par poisson ou plante) non détectables ou non infectieuses	Spécifications ^c de la Commission du Codex Alimentarius	Indétectables
Travailleurs aquacoles et communautés locales			
Eau des bassins	Indétectables ^f	≤10 ³	≤1
Eaux usées	Indétectables ^f	≤10 ⁴	≤1
Excreta traités	Indétectables ^f	≤10 ⁵	≤1

^a Les excréta se mesurent en grammes de matières solides totales (c'est-à-dire en poids sec) : 100 ml d'un mélange eaux usées/excréta contiennent approximativement 1–4 g de matières solides totales.

^b Il convient de déterminer la moyenne arithmétique sur l'ensemble de la saison d'irrigation. Pour l'eau des bassins et les consommateurs de produits, par exemple, il faut obtenir une valeur moyenne ≤10⁴ *E. coli* pour 100 ml pour au moins 90 % des échantillons afin qu'occasionnellement certains d'entre eux puissent donner une valeur élevée (c'est-à-dire 10⁵ ou 10⁶ *E. coli* pour 100 ml).

^c Applicables lorsqu'on cultive des plantes aquatiques émergentes et lorsqu'il existe un contact important avec les eaux usées, les excréta, ou encore avec l'eau ou le sol contaminés.

^d Il convient de déterminer la moyenne arithmétique sur l'ensemble de la saison d'irrigation. Il faut obtenir une valeur moyenne <1 œuf/litre pour 100 ml pour au moins 90 % des échantillons afin qu'occasionnellement certains d'entre eux puissent donner une valeur élevée (c'est-à-dire >10 œufs/litre).

^e La Commission du Codex Alimentarius ne spécifie pas d'exigences en termes de qualité microbiologique pour la chair de poisson ou les plantes aquatiques ; elle recommande plutôt l'application des principes de l'analyse des risques-maîtrise des points critiques (HACCP) de la production à la consommation.

^f œufs de schistosomes viables le cas échéant.

santé pour protéger les consommateurs de produits de l'aquaculture alimentée par des rejets. On obtient souvent une valeur approximative de la charge de maladies liées aux excréta en utilisant les affections gastro-intestinales ou les diarrhées comme indicateur. Un niveau de risque de référence de 10⁻⁶ DALY correspond approximativement à un risque annuel de 1 pour 1000 de contracter une diarrhée bénigne, spontanément résolutive, s'accompagnant d'un faible taux de létalité (provoquée par un rotavirus, par exemple) (OMS, 2004a).

Pour parvenir à ce niveau de protection, il faut appliquer une combinaison de mesures de protection sanitaire. Le traitement des eaux usées et celui des excréta sont des mesures de protection sanitaire importantes pour réduire le niveau de contamination de surface des poissons et des plantes et devraient également faire baisser les concentrations d'agents pathogènes dans les viscères. Cependant, même des poissons élevés dans des environnements aqueux relativement propres présentent dans leurs viscères de fortes concentrations de microbes, dont une certaine proportion peut être pathogène pour l'homme. Il est donc

important de limiter la contamination croisée entre le contenu des viscères et la chair comestible des poissons lors de leur nettoyage et de leur transformation.

Comme indiqué dans la partie 3.1.2, Lan et al. (sous presse) ont constaté des augmentations exponentielles des concentrations de coliformes thermotolérants présomptifs dans la chair de poisson comestible entre le point d'échantillonnage au niveau de la récolte et le point d'échantillonnage sur le marché. Les niveaux de contamination ne différaient pas de manière significative entre les poissons issus de l'aquaculture alimentée par des rejets et ceux ne provenant pas de cette filière. L'application de restrictions portant sur les produits (à savoir n'élever ou ne cultiver que des espèces de poissons ou de plantes consommées après cuisson complète) réduira aussi le risque de maladie liée aux excréta (voir chapitre 5).

La définition d'objectifs en matière de performances microbiennes pour faciliter la réalisation de l'objectif lié à la santé est difficile. Les informations limitées fournies par les études épidémiologiques (partie 3.2) laissent à penser qu'il existe un risque accru de diarrhée pour les enfants de moins de cinq ans qui consomment des poissons provenant de bassins alimentés par des rejets (moyenne géométrique de la qualité de l'eau de $3,9 \times 10^4$ coliformes thermotolérants pour 100 ml). Les risques étaient encore plus importants pour les enfants qui par ailleurs n'étaient pas exposés à l'aquaculture alimentée par des rejets (c'est-à-dire qui étaient plus faiblement immunisés contre les maladies liées aux excréta localement endémiques) (Blumenthal et al., 2000). Les données de la partie 3.1.2 nous amènent à penser que, dans la plupart des cas, une qualité microbiologique de l'eau correspondant à 10^4 coliformes thermotolérants pour 100 ml n'entraînera pas une contamination significative de la chair des poissons comestible au point de récolte.

On ne dispose d'aucune donnée sur le niveau de contamination des plantes aquatiques correspondant à cette qualité microbiologique de l'eau. La QMRA utilisée pour estimer les risques découlant de l'irrigation de laitues avec des eaux usées (en supposant une consommation de laitue de 100 g tous les deux jours, un volume d'eaux usées retenu par les laitues compris entre 10 et 15 ml, avec des dispositions pour permettre le dépérissement des agents pathogènes entre la récolte et la consommation) a fait apparaître un risque de rotavirus annuel médian de 1×10^{-3} (approximativement 10^{-6} DALY) pour une qualité microbiologique de l'eau correspondant à 10^3 – 10^4 *E. coli* pour 100 ml (OMS, 2005b). Ces données peuvent être extrapolées aux plantes aquatiques consommées crues. D'autres recherches sont nécessaires sur les risques sanitaires associés à la consommation de plantes aquatiques provenant de l'aquaculture alimentée par des rejets et sur la relation de ces risques avec la qualité microbiologique de l'eau.

L'utilisation d'eau de boisson saine pour rafraîchir et/ou laver les plantes sur le marché ou avant leur consommation devrait réduire la contamination microbienne et le risque de maladie liée aux excréta. De même, l'emploi d'eau insalubre pourrait recontaminer les plantes et ainsi accroître les risques sanitaires liés à leur consommation.

Sur la base de la discussion qui précède, un objectif en termes de qualité microbiologique de $\leq 10^4$ *E. coli* (moyenne géométrique) pour 100 ml d'eau de bassin a été établi dans le but de protéger les consommateurs de produits (voir Tableau 4.1). Cette exigence de qualité microbiologique de l'eau devrait aussi être applicable aux eaux de surface contaminées utilisées en aquaculture. Pour les eaux usées et les excréta, les objectifs en termes de qualité microbiologique ont été fixés à des valeurs plus élevées, soit $\leq 10^5$ et $\leq 10^6$ *E. coli* (moyenne géométrique) pour 100 ml respectivement, pour tenir compte de la dilution intervenant après leur introduction dans l'installation aquacole.

Bien que la transmission d'helminthes intestinaux soit plus souvent associée à l'utilisation d'eaux usées ou d'excréta en agriculture, la consommation de certains produits

de l'aquaculture alimentée par des rejets – en particulier de plantes aquatiques émergentes – peut amener les consommateurs à contracter des helminthiases. Dans les cas de ce type, les autorités peuvent souhaiter mettre en place une norme de qualité microbiologique de l'eau imposant ≤ 1 œuf d'helminthe par litre (en moyenne arithmétique) pour protéger de manière adéquate les consommateurs de produits des helminthiases intestinales (OMS, 2005b). Le lavage des plantes dans une solution détergente éliminera aussi un pourcentage conséquent (90–99%) des œufs d'helminthes éventuellement présents à leur surface (B. Jiménez-Cisneros, communication personnelle, 2005).

La surveillance/vérification relative à la présence d'*E. coli* ou d'œufs d'helminthes (le cas échéant) dans l'eau des bassins doit être réalisée tous les mois si les poissons ou les plantes obtenus sont habituellement consommés crus. Si les produits de l'aquaculture alimentée par des rejets sont toujours consommés cuits, la surveillance/vérification peut s'effectuer à intervalles de trois à six mois.

4.1.3 Produits chimiques

Les données relatives aux liens entre produits chimiques et aquaculture alimentée par des rejets sont présentées dans la partie 3.3. La Commission du Codex Alimentarius a établi des marges de tolérance concernant la présence de certains produits chimiques dans les produits alimentaires. Le Tableau 4.2 présente certaines des spécifications portant sur la présence de différents produits chimiques dans les poissons et les produits dérivés. Il fournit aussi des informations sur les normes s'appliquant aux plantes aquatiques. Il est habituellement possible d'atteindre les objectifs liés à la santé relatifs aux contaminants chimiques par un traitement des eaux usées ou des excréta (la plupart des métaux lourds se déposeront dans un bassin anaérobie) ou par le maintien de conditions alcalines dans les bassins piscicoles qui entraînera l'élimination des métaux lourds de la colonne d'eau par formation de précipités insolubles (OMS, 1999). Lorsque les industries rejettent des

Tableau 4.2 Normes relatives aux concentrations de produits chimiques dans les poissons et les végétaux

Produit chimique	Norme s'appliquant aux poissons et aux produits dérivés (mg/kg)	Origine de la norme	Norme s'appliquant aux végétaux (mg/kg) ^a	Origine de la norme
Métaux lourds				
Arsenic	PN		0.2	Codex (2003)
Cadmium	0.05–1.0	CE (2001)	0.2	Codex (2003)
Lead	0.2	Codex (2003)	0.2	Codex (2003)
Méthyle mercure	0.5–1.0	Codex (2003)	PN	
Produits organiques				
Dioxines ^b	0.000004	CE (2001)	PN	
DDT, TDE	5.0	USFDA (1998)	PN	
PCB	2.0	USFDA (1998)	PN	

PN: pas de norme.

^a Norme générale pour les végétaux à feuilles, sauf dans le cas de l'arsenic, où la norme est définie à propos des fruits.

^b Incluent les dioxines et autres composés aromatiques coplanaires polychlorés présentant des propriétés similaires.

effluents dans les réseaux d'égout municipaux, les programmes de prétraitement ou de détournement de ces effluents doivent être encouragés.

Une surveillance/vérification portant sur les concentrations de produits chimiques dans les produits de l'aquaculture alimentée par des rejets doit être réalisée à intervalles de six mois par les autorités de sécurité sanitaire des aliments locales. Elle doit être menée au niveau du point de vente. Des comparaisons entre des poissons ou des plantes issus de l'aquaculture alimentée par des rejets et des produits similaires obtenus sans apport d'eaux usées ou d'excreta peuvent donner une idée des contaminants spécifiquement associés à l'utilisation d'eaux usées et d'excreta. Les contaminants présents à des concentrations élevées (par rapport aux normes du Tableau 4.2) peuvent être considérés à part pour subir, si nécessaire, une surveillance plus fréquente.

■ 4.2 Protection des travailleurs aquacoles et des communautés locales

Les travailleurs aquacoles (et souvent leur famille dans le cas de l'aquaculture de subsistance ou à petite échelle) et les communautés locales peuvent aussi être confrontés aux dangers associés à l'aquaculture alimentée par des rejets. Trois dangers identifiés dans la partie 2.3 se prêtent à l'établissement d'objectifs liés à la santé destinés à protéger les travailleurs aquacoles (et leur famille), ainsi que les communautés locales. Ces dangers concernent les risques de maladie liée aux excréta (et notamment, le cas échéant, de schistosomiase), d'irritation cutanée et de maladie à transmission vectorielle. Ils se manifestent lors d'un contact avec des excréta, des eaux usées ou des eaux de bassin/de surface contaminées ou lors de l'exposition à des vecteurs de maladie. Les schistosomes peuvent pénétrer à travers la peau des personnes en contact avec de l'eau contaminée. Chacune de ces catégories de danger est évoquée plus amplement ci-après.

4.2.1 Agents pathogènes

Comme indiqué dans la partie 4.1.2, on obtient un niveau approprié de protection sanitaire contre les maladies liées aux excréta en restant en deçà de 10^{-6} DALY par personne et par an, soit approximativement un risque annuel de maladie diarrhéique résultant de l'exposition de 1/1000. Le cas échéant, l'absence de transmission de la schistosomiase du fait des activités aquacoles alimentées par des rejets peut être prise comme objectif lié à la santé supplémentaire. Il est possible d'atteindre l'objectif lié à la santé portant sur les maladies liées aux excréta en :

- traitant les eaux usées et les excréta ;
- utilisant des équipements de protection individuelle comme des gants et des bottes ;
- limitant l'accès aux installations d'aquaculture alimentée par des rejets ;
- assurant aux travailleurs aquacoles et aux membres des communautés locales un accès à une eau de boisson saine et à des installations d'assainissement appropriées ;
- pratiquant une bonne hygiène personnelle, et notamment le lavage des mains au savon et à l'eau avant de préparer ou de consommer des aliments, après avoir déféqué et après avoir changé un bébé.

Pour réaliser l'objectif lié à la santé portant sur la schistosomiase, il est possible, outre les mesures de protection sanitaire décrites plus haut, d'appliquer les dispositions suivantes :

- maîtrise des populations d'hôtes intermédiaires par des moyens physiques, chimiques ou biologiques;
- lavage soigneux avec de l'eau saine et du savon des parties du corps exposées à des eaux usées, des excréta ou de l'eau contaminée;
- chimiothérapie des populations et des individus infectés.

Les objectifs en matière de performances imposés au traitement des eaux usées ou des excréta (qui se reflètent dans la qualité de l'eau des bassins), y compris les objectifs en termes de qualité microbiologique de ces eaux, peuvent être établis à partir de l'étude épidémiologique présentée dans la partie 3.2, qui rapporte que les enfants de moins de cinq ans fortement exposés à l'aquaculture alimentée par des rejets présentent un risque significatif de diarrhée pour une qualité microbiologique de l'eau de $3,9 \times 10^4$ coliformes thermotolérants pour 100 ml (moyenne géométrique) et plus. En outre, la modélisation par QMRA des scénarios d'exposition lourde (ingestion de 10–100 ml d'eaux usées/d'excréta par jour pendant 300 jours par an) indique qu'un niveau de protection sanitaire de 10^{-6} DALY par personne et par an est obtenu approximativement par le traitement des eaux usées dans un système de bassins de stabilisation jusqu'à atteindre une concentration d'*E. coli* comprise entre 10^3 et 10^4 pour 100 ml (OMS, 2005b). C'est pourquoi, pour protéger la santé des travailleurs aquacoles et des communautés locales ayant accès aux installations d'aquaculture alimentée par des rejets, on a sélectionné un objectif de qualité microbiologique pour l'eau des bassins correspondant à $\leq 10^3$ *E. coli* pour 100 ml (moyenne arithmétique) (voir Tableau 4.1).

On peut suivre la réalisation de l'objectif lié à la santé portant sur la schistosomiase en analysant les eaux usées et les excréta à la recherche d'œufs viables de *Schistosoma* spp. (ces œufs ne doivent pas être détectables), en mettant en évidence la présence ou l'absence de mollusques hôtes intermédiaires appropriés dans l'environnement des bassins et en examinant ces mollusques hôtes intermédiaires en laboratoire à la recherche des cercaires infectieuses de schistosomes qu'ils pourraient abriter. Toute cercaire trouvée devra faire l'objet d'un contrôle génétique pour distinguer les espèces de schistosomes infectieuses pour l'être humain de celles spécifiques d'autres animaux (oiseaux aquatiques, par exemple).

Bien que la transmission d'helminthes intestinaux soit plus souvent associée à l'utilisation d'eaux usées ou d'excréta en agriculture, certaines pratiques aquacoles (culture de certaines plantes émergentes, manipulation à risque des excréta ou des eaux usées, construction de bassins dans des sols contaminés, élimination de boues déposées au fond des bassins, etc.) peuvent aussi comporter des risques importants de transmission de ces parasites. Dans de tels cas, les autorités peuvent souhaiter fixer une norme de qualité microbiologique de l'eau correspondant à ≤ 1 œuf d'helminthe par litre (moyenne arithmétique) pour protéger de manière adéquate les travailleurs aquacoles et les communautés locales de la transmission d'œufs d'helminthes intestinaux résultant d'activités d'aquaculture alimentée par des rejets (voir Tableau 4.1) (OMS, 2005b).

Le cas échéant, une surveillance/vérification portant sur *E. coli* et les œufs d'helminthes (helminthes intestinaux et schistosomes) doit être menée à intervalles de trois à six mois. Les prélèvements doivent être réalisés au(x) point(s) d'exposition. Lorsqu'il existe une menace de schistosomiase, les travailleurs et les membres des communautés locales doivent être examinés à la recherche des signes de l'infestation. La surveillance doit s'effectuer une fois par an, une fois tous les deux ans ou une fois tous les cinq ans dans les zones où la prévalence de la schistosomiase est respectivement forte, modérée ou faible (OMS, 2002).

4.2.2 Irritants cutanés

La partie 3.2.1 présente des informations sur les affections cutanées associées à un contact important avec des activités aquacoles alimentées par des rejets. Dans l'étude décrite, on a utilisé des eaux usées non traitées pour cultiver des plantes aquatiques (épinards d'eau). Les activités aquacoles ont entraîné de fortes expositions aux eaux usées des mains, des bras, des jambes et des pieds, qui ont été associées au développement d'affections cutanées – principalement des dermatites de contact (eczéma). Les dangers spécifiques ayant conduit à l'apparition de ces pathologies n'ont pas été identifiés et la qualité de l'eau du lac n'a pas été spécifiée. Bien que les affections cutanées de ce type n'engagent pas le pronostic vital et présentent une durée relativement courte, elles peuvent être à l'origine d'un degré élevé d'inconfort. Pour ce qui concerne ces affections cutanées, il serait judicieux de fixer comme objectif lié à la santé l'absence de telles affections dans le contexte des activités aquacoles alimentées par des rejets.

L'objectif lié à la santé pourrait être atteint en limitant l'exposition aux eaux usées par un traitement substantiel des intrants chimiques toxiques, des eaux usées et des excreta – notamment pour éliminer les contaminants chimiques (sédimentation anaérobie, coagulation/floculation, par exemple) –, par le port de vêtements de protection (bottes montantes, gants) et par le rinçage soigneux de la peau avec de l'eau propre immédiatement après un contact avec des eaux usées, des excreta ou de l'eau contaminée.

Le rôle de la surveillance/vérification serait de confirmer le bon fonctionnement des mesures de protection sanitaire et la réalisation des objectifs liés à la santé par l'absence d'affections cutanées chez les travailleurs aquacoles et les autres personnes fortement exposées à l'eau. Cette surveillance/vérification doit être menée à intervalles de six mois ou d'un an.

4.2.3 Maladies à transmission vectorielle

Comme indiqué dans la partie 2.7.3, quelques maladies à transmission vectorielle peuvent, dans certains contextes, être concernées par les activités aquacoles utilisant des rejets. La plupart de ces maladies peuvent être à l'origine d'une morbidité importante et même de décès dans certains cas. Un objectif lié à la santé approprié consisterait donc à prévenir les maladies à transmission vectorielle dues aux activités aquacoles utilisant des rejets. Cet objectif lié à la santé peut être atteint en maîtrisant les populations de vecteurs par des moyens physiques, biologiques ou chimiques (comme indiqué dans le chapitre 5), en prévenant l'exposition aux vecteurs grâce à l'utilisation de moustiquaires, de répulsifs et/ou d'une chimioprophylaxie (contre le paludisme).

Parmi les cibles en matière de performances pour atteindre l'objectif lié à la santé, on peut notamment mentionner le suivi de la destruction des habitats de reproduction privilégiés par les espèces de vecteurs adaptés aux conditions locales (surveillance des bassins/installations pour éviter l'installation d'une végétation émergente ou de l'eau des bassins pour guetter l'apparition de larves des insectes correspondants, par exemple). Les cibles de performances permettant de suivre la réalisation des objectifs liés à la santé doivent être définies sur la base des informations localement disponibles sur la propagation des maladies à transmission vectorielle et sur les liens de cette transmission avec les activités aquacoles utilisant des rejets.

La surveillance/vérification concernant la présence, dans l'eau des bassins, d'insectes vecteurs doit être menée tous les deux à trois mois. La surveillance de la prévalence des maladies à transmission vectorielle, qui relève de la santé publique, peut servir à s'assurer que les mesures de protection sanitaire permettent d'atteindre l'objectif lié à la santé. Des investigations épidémiologiques visant à évaluer l'association entre des expositions à

l'aquaculture alimentée par des rejets et la propagation de maladies à transmission vectorielle peuvent aussi s'avérer nécessaires.

■ 4.3 Recommandations internationales et normes nationales

Les recommandations de l'OMS sont destinées à être adoptées dans les différents pays afin de contribuer à y établir un niveau homogène de protection sanitaire. Comme indiqué dans la partie 1.1, les pays peuvent souhaiter développer leurs propres normes en fonction des conditions environnementales, socioculturelles et économiques nationales. Dans certains cas, les pays peuvent choisir de mettre au point des normes différentes pour les produits consommés localement et pour ceux destinés à l'exportation.

4.3.1 Exportations de produits alimentaires

Les règles qui régissent le commerce international des aliments ont été convenues dans le cadre de l'Uruguay Round des Négociations commerciales multilatérales et s'appliquent à tous les États Membres de l'Organisation mondiale du Commerce (OMC). En ce qui concerne la salubrité des aliments, des règles sont fixées par l'Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires. Aux termes de cet Accord, les Membres de l'OMC sont en droit de prendre des mesures légitimes pour protéger la vie et la santé de leurs populations de dangers provenant des aliments, sous réserve que ces mesures ne constituent pas des restrictions injustifiables au commerce (OMS, 1999). Dans le passé, l'importation de produits alimentaires contaminés dans certains pays a provoqué des flambées épidémiques. En outre, il est possible que des agents pathogènes soient (ré) introduits dans des communautés ne disposant pas à leur rencontre d'une immunité naturelle, ce qui déclenche aussi des flambées épidémiques (Frost et al., 1995 ; Kapperud et al., 1995). Les pays doivent s'assurer que les produits qu'ils importent ne présentent pas de risque à la consommation.

Les recommandations de l'OMS relatives à l'utilisation sans risque des eaux usées et des excreta en aquaculture reposent sur une démarche du type analyse des risques et sur un niveau défini de protection sanitaire. Cette approche est reconnue comme la méthodologie fondamentale servant de base à l'élaboration des normes de sécurité sanitaire des aliments, qui à la fois assurent une protection sanitaire appropriée et facilitent le commerce des aliments. Ainsi, les produits de l'aquaculture alimentée par des rejets destinés à l'exportation doivent être obtenus dans le respect des recommandations de l'OMS préconisées en vue de garantir la commercialisation au plan international d'aliments sains pour les consommateurs.

4.3.2 Normes nationales

Dans l'aquaculture alimentée par des rejets, une grande part de la production est consommée au niveau local ou pour la subsistance des ménages. Les exigences en faveur de la sécurité sanitaire des aliments doivent prendre en compte les différents contextes et la contribution de l'aquaculture alimentée par des rejets à l'état nutritionnel des ménages et à leur sécurité alimentaire, en plus des risques sanitaires associés à cette pratique. Dans certaines situations, l'immunité à l'égard des maladies localement endémiques peut réduire les risques sanitaires liés à la consommation de produits de cette aquaculture ou à d'autres expositions aux eaux usées/excreta. Cependant, si ces produits sont vendus et consommés dans des régions où l'immunité contre ces maladies n'est pas bien développée ou dans lesquelles les trématodoses transmises par les aliments sont endémiques et les produits concernés sont habituellement consommés crus, des normes de sécurité sanitaire des aliments plus strictes peuvent devoir être appliquées. Les normes nationales

doivent viser à protéger les différents groupes exposés et doivent parfois s'accompagner d'autres activités de promotion de la santé ou de proximité, telles qu'une amélioration de l'accès à une eau saine, de l'assainissement et de l'hygiène dans les foyers et sur les marchés, pour que leur efficacité soit maximale.

Les normes nationales doivent être élaborées de manière à assurer une amélioration progressive de la santé, mais doivent aussi être applicables dans le contexte socioculturel, environnemental et économique local. Cela peut impliquer la fixation au départ de normes qui ne permettent pas d'atteindre un niveau de protection sanitaire de 10^{-6} DALY ou les autres objectifs liés à la santé. Avec le temps et l'accès à des ressources supplémentaires, ces normes pourront être progressivement renforcées jusqu'à ce qu'elles permettent de réaliser tous les objectifs liés à la santé.

Comme indiqué dans la partie 2.2, les activités aquacoles utilisant des rejets peuvent être à l'origine d'un certain nombre de dangers pour la santé et l'environnement. Le chapitre 4 décrit les objectifs liés à la santé réalisables en combinant différentes mesures de protection sanitaire. Le présent chapitre fournit des informations sur les mesures de ce type disponibles pour réduire les expositions aux divers dangers et réaliser les objectifs liés à la santé.

Les mesures de protection sanitaire destinées à réduire l'exposition aux dangers des consommateurs de produits, des travailleurs (et de leur famille) et des communautés locales sont présentées dans la partie 5.1. La partie 5.2 fournit des indications sur l'efficacité des différentes mesures de protection sanitaire dans la réduction des risques découlant de ces dangers. La partie 5.3 expose des considérations particulières s'appliquant à la gestion des trématodes (y compris les schistosomes).

■ 5.1 Mesures de protection sanitaire pour les différents groupes exposés

Comme le montrent le Tableau 5.1 et la Figure 5.1, diverses mesures de protection sanitaire sont applicables pour réduire les risques sanitaires menaçant les consommateurs de produits, les travailleurs et leur famille et les communautés locales. Les parties 5.1.1 à 5.1.3 présentent des informations sur certaines mesures de protection sanitaire pouvant cibler spécifiquement ces groupes.

5.1.1 Consommateurs des produits

Les dangers associés à la consommation de produits de l'aquaculture alimentée par des rejets sont notamment les maladies liées aux excréta, les trématodes transmis par les aliments et certains produits chimiques. Le risque de maladie infectieuse diminue notablement si les aliments sont consommés après une cuisson complète. Cependant, la cuisson n'a qu'un impact faible ou nul sur les concentrations de produits chimiques toxiques que les aliments sont susceptibles de contenir. Des considérations s'appliquant spécifiquement à la gestion des trématodes parasites (y compris les schistosomes) sont exposées dans la partie 5.3. Les mesures de protection sanitaire ci-après ont un impact sur les consommateurs de produits.

- Traitement des eaux usées et des excréta (voir parties 5.2.1 et 5.2.2);
- Restrictions portant sur les produits (voir partie 5.2.3);
- Périodes de retrait dans l'épandage des rejets (voir partie 5.2.4);
- Lutte contre les mollusques hôtes intermédiaires (voir parties 5.3.2 et 5.3.5);
- Dépuration (voir partie 5.2.5);
- Manipulation et préparation des produits (voir partie 5.2.6);
- Transformation après récolte (voir partie 5.3.3);
- Promotion de l'hygiène et de la santé (voir partie 5.2.8);
- Lavage, désinfection et cuisson des produits (voir partie 5.2.7);
- Chimio prophylaxie et vaccination (voir parties 5.2.9 et 5.3.4).

5.1.2 Travailleurs (et leur famille)

Comme le montre le Tableau 5.1, les travailleurs (y compris les personnes qui manipulent, transforment et vendent des produits) et leur famille peuvent être exposés à des maladies liées aux excréta ou à des irritants cutanés, à la schistosomiase (voir partie 5.3.5) ou à des maladies à transmission vectorielle par le biais des activités aquacoles utilisant des rejets ou par contact direct avec ces dangers. Le traitement des eaux usées et celui des

Tableau 5.1 Groupes exposés et mesures de protection sanitaire

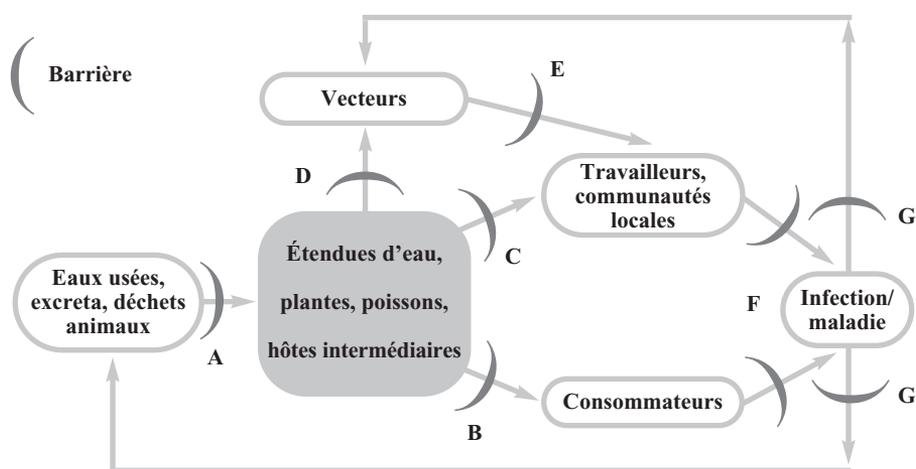
Groupe exposé	Risque	Mesure de protection sanitaire
Consommateurs, travailleurs et communautés locales	Maladies liées aux excreta	Traitement des eaux usées
		Traitement des excreta
		Promotion de l'hygiène et de la santé
		Chimiothérapie et vaccination
Consommateurs	Maladies liées aux excreta Trématodes transmis par les aliments Produits chimiques	Restrictions portant sur les produits
		Épandage/calendriers d'épandage des déchets
		Dépuration
		Manipulation et préparation des aliments
Travailleurs et communautés locales	Maladies liées aux excreta	Lavage/désinfection des produits
		Cuisson des aliments
	Irritants cutanés	Contrôle des accès
		Port d'équipements de protection individuelle
	Schistosomiase	Lutte contre les vecteurs de maladie
		Lutte contre les hôtes intermédiaires
Maladies à transmission vectorielle	Accès à une eau de boisson saine et à des moyens d'assainissement dans les installations aquacoles et dans les communautés locales	
	Réduction du contact avec les vecteurs (moustiquaires, répulsifs), chimioprophylaxie	

excreta (voir parties 5.2.1 et 5.2.2) sont des mesures de limitation de l'exposition aux maladies liées aux excreta ou aux irritants cutanés ou à la schistosomiase, mais ils n'ont guère d'impact sur les maladies à transmission vectorielle (voir partie 5.2.11). D'autres mesures de protection sanitaire sont envisageables :

- port d'équipements de protection individuelle (voir partie 5.2.10);
- accès restreint aux installations aquacoles (voir partie 5.2.10);
- promotion de l'hygiène et de la santé (voir partie 5.2.8);
- chimioprophylaxie et vaccination (voir partie 5.2.9);
- lutte contre les vecteurs de maladies et les hôtes intermédiaires (voir parties 5.2.11, 5.3.2 et 5.3.5);
- réduction du contact avec les vecteurs (voir partie 5.2.10).

5.1.3 Communautés locales

Les communautés locales sont exposées aux mêmes dangers que les travailleurs, en particulier si elles ont accès aux bassins alimentés par des rejets. Si leurs membres n'ont pas accès à une eau de boisson saine, ils peuvent utiliser de l'eau contaminée pour la boisson ou à d'autres fins domestiques, telles que le lavage du linge, la vaisselle et la toilette. Il peut également arriver que des enfants jouent ou nagent dans l'eau contaminée. De même, si les activités aquacoles alimentées par des rejets entraînent une intensification de la reproduction des vecteurs, les communautés locales peuvent être touchées par des maladies à transmission vectorielle, même si elles n'ont pas accès aux installations aqua-



- A = Traitement des eaux usées/excreta
 B = Restrictions portant sur les cultures, épandage/chronologie de l'épandage des déchets, dépuración, manipulation/préparation des aliments, lavage/désinfection des produits, transformation des aliments, cuisson
 C = Équipements de protection individuelle, contrôle des accès, accès à une eau de boisson saine et à des installations d'assainissement appropriées, hygiène personnelle
 D = Lutte contre les vecteurs (méthodes physiques, biologiques et chimiques)
 E = Prévention du contact avec les vecteurs (moustiquaires, grillage sur les fenêtres, répulsifs chimiques)
 F = Vaccination (typhoïde, hépatite A, encéphalite japonaise)
 G = Chimio prophylaxie (paludisme)

Figure 5.1

Dangers et mesures de maîtrise des risques dans le cadre de l'aquaculture alimentée par des rejets

coles. Pour limiter ces dangers sanitaires, il est possible de recourir aux mesures de protection sanitaire suivantes :

- traitement des eaux usées et des excreta (voir parties 5.2.1 et 5.2.2);
- contrôle de l'accès aux installations (voir partie 5.2.10);
- accès à une eau de boisson saine et à des dispositifs d'assainissement dans les installations aquacoles (voir partie 5.2.10);
- promotion de la santé et de l'hygiène (voir partie 5.2.8);
- chimio prophylaxie et vaccination (voir partie 5.2.9);
- lutte contre les vecteurs de maladie et les hôtes intermédiaires (voir parties 5.2.11, 5.3.2 et 5.3.5);
- réduction du contact avec les vecteurs (voir partie 5.2.10).

5.2 Efficacité des mesures de protection sanitaire

Cette partie fournit des informations plus détaillées sur les mesures de protection sanitaire recensées dans la partie 5.1. L'ordre suivi dans cette partie suit celui de la Figure 5.1, c'est-à-dire qu'il présente successivement : les mesures destinées à prévenir la pénétration

de contaminants dans l'eau ; les mesures pour protéger les consommateurs de produits ; les mesures pour protéger les travailleurs et les communautés locales ; la lutte contre les vecteurs et la prévention des contacts avec les vecteurs ; et, enfin, la prévention et le traitement des infections.

5.2.1 Traitement des excréta

L'utilisation directe en aquaculture d'excreta non traités est déconseillé en raison des fortes concentrations d'agents pathogènes que renferment ces déchets. En outre, certaines espèces de poissons consomment directement les excréta et l'on peut donc s'attendre à ce que leurs viscères contiennent aussi des quantités élevées d'agents pathogènes, d'où une majoration des risques de contamination croisée ultérieure. De même, l'exposition humaine directe à des bassins fertilisés par des excréta frais présente des risques sanitaires importants. Cependant, les pratiques actuelles (latrines suspendues au-dessus des bassins piscicoles, par exemple) ne doivent pas être abandonnées sans disposer en remplacement d'un système d'assainissement convenable pour éviter la défécation des individus en des endroits inappropriés et des impacts négatifs sur la santé publique.

Dans les régions où l'on observe des trématodoses, le traitement des excréta doit prioritairement inactiver les œufs de trématodes avant que ces excréta ne soient introduits dans les bassins. Comme le suggère l'Encadré 5.1, le stockage des excréta pendant quatre semaines (à une température de 10 à 30°C) permet de rendre non viables les œufs de la plupart des espèces de trématodes. Le temps de stockage n'est décompté qu'à partir de la dernière introduction de fèces fraîches (fonctionnement discontinu). Cette durée peut être réduite à une semaine si, par exemple, les infestations par *Clonorchis* et *Opistorchis* sont les seules trématodoses localement endémiques préoccupantes. En revanche, le temps de stockage doit être porté à 10 semaines si *Fasciola hepatica* constitue une menace sanitaire dans la zone et si les plantes aquatiques sont fréquemment consommées crues. Des températures plus basses (4–8°C, par exemple) prolongent la survie des œufs. *F. hepatica* peut survivre pendant 101 jours dans cette plage de températures (Feachem et al., 1983). Comme le montre le Tableau 5.2, les durées de stockage qui inactivent les œufs de trématodes peuvent ne pas être suffisamment longues pour inactiver aussi certains autres agents pathogènes, en particulier d'autres helminthes, et peuvent donc demeurer un risque pour les consommateurs de plantes et les travailleurs.

La période de stockage désigne la durée entre l'excrétion et l'épandage dans les bassins et inclut donc le temps de stockage dans une latrine ou dans une installation de

Encadré 5.1 Durées de stockage des excréta nécessaires à l'inactivation des œufs de trématodes

Un stockage entre 10 et 30°C permet de rendre les œufs de trématodes non viables (le stockage à des températures plus froides peut entraîner une survie plus longue) et les durées de stockage minimales pour garantir la complète inactivation de *tous* les œufs sont les suivantes :

Clonorchis sinensis: 1 semaine
Fasciolopsis buski: 3 semaines
Schistosoma spp.: 4 semaines
Fasciola hepatica: 10 semaines

Source: Feachem et al. (1983).

Tableau 5.2 Durée de survie des organismes dans les fèces, les boues et les sols

Micro-organisme	Survie à 20–30°C (jours) ^b		Temps nécessaire à l'inactivation de 90 % des agents pathogènes (T ₉₀) à environ 20°C (jours) ^a		Survie maximale absolue ^d /survie maximale normale dans le sol ^c
	Fèces et boues ^b	Sol ^b	Fèces ^c	Sol ^c	
Bactéries					1 an/2 mois
Coliformes thermotolérants	<90, habituellement <50	<70, habituellement <20	<i>E. coli</i> : 15–35	<i>E. coli</i> : 15–70	
<i>Salmonella</i>	<60, habituellement <30	<70, habituellement <20	10–50	15–35	
Virus	<100, habituellement <20	<100, habituellement <20	Rotavirus: 20–100 hépatite A: 20–50	Rotavirus: 5–30 hépatite A: 10–50	1 an/3 mois
Protozoaires (<i>Entamoeba</i>)	<30, habituellement <15 ^f	<20, habituellement <10 ^e	<i>Giardia</i> : 5–50 <i>Cryptosporidium</i> : 20–120	<i>Giardia</i> : 5–20 <i>Cryptosporidium</i> : 30–400	?/2 mois
Helminthes (œufs)	Plusieurs mois	Plusieurs mois	<i>Ascaris</i> : 50–200	<i>Ascaris</i> : 15–100	7 ans/2 mois

? inconnu; T₉₀, temps nécessaire à l'inactivation de 90% des agents pathogènes.

^a Temps de survie estimé et valeurs de la réduction décimale des agents pathogènes pendant le stockage des fèces et dans le sol, indiqué en jours en l'absence de mention contraire.

^b Feachem et al. (1983).

^c Ambjerg-Nielsen et al. (2005).

^d La survie maximale absolue est possible dans des circonstances inhabituelles, telles qu'une température constamment basse ou dans des conditions bien protégées (Feachem et al., 1983).

^e Kowal (1985).

^f Données manquantes pour *Giardia* et *Cryptosporidium*; leurs kystes et oocystes peuvent survivre plus longtemps que le temps indiqué ici pour les protozoaires (Feachem et al., 1983).

traitement telle qu'un digesteur anaérobie ou un dispositif de compostage. Toutefois, des agents pathogènes viables peuvent encore être présents si les latrines/les toilettes restent en fonctionnement jusqu'à leur vidange. Cette période de stockage peut être réduite par un traitement à plus haute température – par exemple dans le cadre d'un compostage aérobie. Pour inactiver la plupart des agents pathogènes, une durée de stockage de quatre semaines est recommandée, mais 12 mois peuvent être nécessaires pour inactiver les œufs d'helminthes intestinaux, qui constituent habituellement le principal danger sanitaire dans le cadre de l'aquaculture alimentée par des rejets. Il est également possible d'augmenter les vitesses de déperissement de tous les types d'agents pathogènes en ajoutant des cendres ou de la chaux aux excreta. Le Volume IV des Directives, sous le titre *Utilisation des excreta et des eaux ménagères en agriculture*, fournit des informations supplémentaires sur l'efficacité d'autres techniques de traitement des excreta.

Le contenu des latrines à deux fosses utilisées en alternance (latrines améliorées à fosse ventilée et toilettes à chasse d'eau) ne nécessite pas de traitement supplémentaire après vidange de la fosse et avant épandage dans le bassin, sous réserve qu'un délai suffisant se soit écoulé depuis la vidange de la fosse. Dans tous les cas, le contenu des latrines à fosse simple, des fosses septiques et des toilettes à compost à voûte simple ainsi que les boues d'eaux usées doivent être stockés après vidange pendant au moins quatre semaines, car il n'y a aucun moyen de différencier des excreta fraîchement introduits et des excreta stockés suffisamment longtemps pour inactiver les agents pathogènes.

Les autres options de traitement incluent les fermenteurs à biogaz, qui présentent l'avantage supplémentaire de produire de l'énergie sous forme de gaz méthane et donnent également des boues, utilisables comme engrais. Les boues fécales entrantes (parfois mélangées avec du fumier) doivent être mélangées avec de la paille ou d'autres déchets agricoles pour accroître le rapport carbone/azote à une valeur de 30 optimale pour l'action des bactéries. L'élimination des agents pathogènes ne s'effectue pas complètement car la digestion est mésophile (30–35°C), les temps de séjour sont relativement courts (5–30 jours) et le fonctionnement s'opère en continu plutôt qu'en discontinu, de sorte que l'utilisation en aquaculture de boues de biogaz doit être combinée à d'autres méthodes pour protéger la santé. Il est possible d'exploiter une unité de production de biogaz en tant qu'installation centralisée au niveau de la municipalité ou du district, ou même au niveau familial.

Les boues fécales (c'est-à-dire les matières collectées à partir de dispositifs d'assainissement sur site tels que des latrines, des toilettes publiques non reliées au réseau d'assainissement, des fosses septiques et des fosses à niveau constant) peuvent aussi être traitées et utilisées en aquaculture. Le traitement de ces boues peut s'effectuer dans une série de bassins de stabilisation, reliés à l'aquaculture par l'intermédiaire des derniers bassins de la série. Le traitement des boues fécales en bassins de stabilisation impose des hypothèses de conception différentes de celles appliquées pour le traitement des eaux usées, car les boues fécales sont plus concentrées. Elles contiennent en effet 3,5 fois plus de matières solides et des concentrations plus élevées de contaminants, tels que de l'ammoniac, des œufs d'helminthes, etc. (Montangero & Strauss, 2002). Le lecteur trouvera plus d'informations sur le traitement des boues fécales dans le Volume IV des Directives : *Utilisation des excreta et des eaux ménagères en agriculture*.

L'un des principaux obstacles à l'utilisation des boues fécales en aquaculture est leur forte teneur en matières organiques. L'emploi en aquaculture de matières organiques partiellement décomposées, avec un ratio carbone/azote élevé, devrait conduire à un taux de charge en matières organiques relativement conséquent dans le bassin piscicole. Cette forte charge rendrait à son tour plus difficile l'obtention d'un taux de charge en azote

satisfaisant et pourrait entraîner des problèmes de croissance chez les poissons, car la concentration d'oxygène dissous baisserait à un niveau préjudiciable pour ces animaux.

5.2.2 *Traitement des eaux usées*

Cette partie présente une brève description des options de traitement des eaux usées les plus compatibles et les plus fréquemment utilisées en aquaculture. On trouvera également, dans le Volume II : *Utilisation des eaux usées en agriculture*, et dans le Volume IV : *Utilisation des excreta et des eaux ménagères en agriculture des Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères*, la description d'une grande variété d'autres technologies disponibles pour le traitement des eaux usées, des excreta ou des eaux ménagères. Il est possible d'obtenir des informations supplémentaires sur les différentes technologies de traitement des eaux usées dans PNUE (2002), Asano (1998) et Mara (1998).

Dans le cadre de l'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture, l'élimination ou l'inactivation des agents pathogènes excrétés est le principal objectif du traitement car ces agents sont la principale source de risque pour la santé publique. Le Tableau 5.3 présente quelques plages d'élimination des agents pathogènes pour différentes options de traitement des eaux usées. L'annexe 4 fournit la définition d'un certain nombre de termes s'appliquant au traitement des eaux usées.

Comme le montre le Tableau 5.3, le potentiel d'élimination des agents pathogènes est très variable entre les divers traitements et au sein de certaines classes d'installations de traitement (pour le traitement secondaire, par exemple). Bien que certaines variations dans le processus de traitement soient normales, une grande part des écarts peut en fait être imputable à la gestion globale de l'installation. Les performances des chaînes de traitement doivent être validées pour s'assurer que ces chaînes sont en mesure de remplir les objectifs en matière de performances. La surveillance opérationnelle sert à garantir que les composants du système de traitement fonctionnent et fournissent des informations utilisables pour prendre rapidement des décisions en termes de gestion lorsqu'une partie du système cesse de fonctionner correctement – dans le cas, par exemple, où une installation de traitement passe en surcharge du fait d'un orage ou si un dispositif de filtration doit faire l'objet d'un lavage à contre-courant. La surveillance/vérification intervient moins fréquemment et sert à montrer que le système dans son ensemble fonctionne correctement. Le chapitre 6 décrit différents types de surveillance et de procédures d'évaluation du système.

La présence de fortes concentrations de produits chimiques dans les eaux usées peut réduire l'efficacité des procédés de traitement biologique des eaux usées. Dans la plupart des procédés de traitement, une proportion importante des produits chimiques toxiques (tant inorganiques qu'organiques) se retrouve à la fin dans les boues. Si ces dernières contiennent de grandes quantités de produits chimiques toxiques, elles peuvent nécessiter des dispositions spéciales en matière de manipulation, de traitement et de procédure. La manipulation et le traitement des boues fécales sont traités dans le Volume IV des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères*.

En général, on dispose d'une grande variété d'options pour traiter les eaux usées, dont un certain nombre sont capables de remplir les objectifs de performances de l'OMS portant sur la qualité microbiologique de l'eau. Par exemple, pour obtenir l'élimination de 3 à 4 unités logarithmiques des *E. coli* dans des eaux-vannes brutes, nécessaire à la réalisation de l'objectif de performance préconisé qui impose une qualité microbiologique de l'eau définie par $\leq 10^4$ *E. coli* pour 100 ml, les traitements suivants pourraient convenir :

Tableau 5.3 Réduction ou inactivation en unités logarithmiques des agents pathogènes excrétés obtenue par certains procédés de traitement des eaux usées

Procédé de traitement	Élimination des agents pathogènes en unités logarithmiques ^a			
	Virus	Bactéries	Kystes ou oocystes de protozoaires	œufs d'helminthes
Procédés biologiques bas débit				
Bassins de stabilisation	1-4	1-6	1-4	1-3 ^b
Réservoirs de stockage et de traitement des eaux usées	1-4	1-6	1-4	1-3 ^b
Marais artificiels	1-2	0.5-3	0.5-2	1-3 ^b
Traitement primaire				
Sédimentation primaire	0-1	0-1	0-1	0-<1 ^b
Traitement primaire chimiquement amélioré	1-2	1-2	1-2	1-3 ^b
Réacteurs anaérobies à lit de boue à flux ascendant	0-1	1-2	0-1	0.5-1 ^b
Traitement secondaire				
Boues activées + sédimentation secondaire	0-2	1-2	0-1	1-<2 ^b
Filtres à lit bactérien + sédimentation secondaire	0-2	1-2	0-1	1-2 ^c
Lagune aérée ou fossé d'oxydation + bassin de decantation	1-2	1-2	0-1	1-3 ^c
Traitement tertiaire				
Coagulation/floculation	1-3	0-1	1-3	2 ^b
Filtration sur milieu granulaire haut débit ou sur sable bas débit	1-3	0-3	0-3	1-2 ^{b,d}
Filtration sur milieu filtrant double	1-3	0-1	1-3	2-3 ^{b,d}
Bioréacteurs à membrane	2.5->6	3.5->6	>6	>3 ^{b,d}
Désinfection				
Chloration (chlore libre)	1-3	2-6	0-1.5	0-<1 ^b
Ozonation	3-6	2-6	1-2	0-2 ^c
Irradiation par des UV	1->3	2->4	>3	0 ^e

Sources: Feachem et al. (1983); Schwartzbrod et al. (1989); Sobsey (1989); El-Gohary et al. (1993); Rivera et al. (1995); Rose et al. (1996, 1997); Strauss (1996); Landa, Capella & Jiménez (1997); Clancy et al. (1998); National Research Council (1998); Yates & Gerba (1998); Karimi, Vickers & Harasick (1999); Lazarova et al. (2000); Jiménez et al. (2001); Jiménez & Chávez (2002); Jiménez (2003, 2005); von Sperling et al. (2003); Mara (2004); Rojas-Valencia et al. (2004); von Sperling, Bastos & Kato (2004); OMS (2004a); NRMCM & EPHCA (2005).

^a Les réductions en unités logarithmiques sont des réductions en unités logarithmiques décimales définies comme le logarithme à base 10 (\log_{10}) du rapport de la concentration initiale d'agents pathogènes à la concentration finale d'agents pathogènes. Ainsi, une réduction d'une unité logarithmique = réduction de 90%; une réduction de 2 unités logarithmiques = réduction de 99%; réduction de 3 unités logarithmiques = réduction de 99,9%, etc.

^b Données provenant d'installations pleine échelle.

^c Efficacité théorique d'après les mécanismes d'élimination.

^d Données de tests indiquant une réduction de la concentration initiale d'agents pathogènes allant jusqu'à 2 unités logarithmiques; l'élimination peut être plus importante qu'indiqué.

^e Données de tests en laboratoire.

- série bien conçue de bassins de stabilisation ;
- réservoirs de stockage et de traitement des eaux usées disposés en série et alimentés de manière discontinue ;
- installation de traitement par boues activées optimisée + filtration et désinfection ;
- traitement par boues activées optimisé + bassins de polissage.

Les preuves de l'efficacité des traitements des eaux usées dans l'élimination des œufs de trématodes sont très limitées. Néanmoins, en raison des similarités en termes de dimensions et de caractéristiques entre les œufs de trématodes et les œufs d'helminthes (*Taenia*, *Ascaris*, par exemple), on pense que ces œufs seront éliminés de manière analogue (par sédimentation, par exemple). On a constaté qu'un traitement secondaire, suivi d'une filtration sur sable rapide, éliminait les œufs de schistosomes (OMS, 1995). Un temps de séjour d'environ 15 jours dans un système de bassins de stabilisation (climat chaud, 20–30°C), comprenant un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation, devrait suffire pour éliminer les œufs d'*Ascaris*, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer si cette durée est également suffisante pour l'élimination des œufs de trématodes.

Dans certains cas, les œufs de trématodes éclosent pour donner des miracides à l'intérieur du système de traitement des eaux usées, et notamment dans les composants bien aérés tels que les réacteurs à boues activées et les bassins de maturation. Ces miracides doivent infester rapidement un mollusque hôte, faute de quoi ils meurent dans les heures qui suivent. Par conséquent, il est possible d'augmenter efficacement l'inactivation des miracides réalisée par un système de traitement en lui intégrant une étape finale comportant un temps de séjour d'un à deux jours (par exemple un réservoir de stockage après une installation à boues activées, à condition que ce réservoir soit maintenu exempt de mollusques hôtes intermédiaires). Une filtration rapide sur sable des effluents finaux devrait aussi éliminer les miracides.

On a constaté que le traitement secondaire (filtre à lit bactérien ou boues activées, par exemple) des eaux usées contenant des œufs de *Schistosoma mansoni* permettait d'atteindre un taux d'élimination des œufs très élevé. La recherche des miracides n'a pas été pratiquée. Des mollusques exposés aux effluents de l'installation de traitement pendant 3 à 6 heures n'ont pas été infestés. Cependant, des expériences réalisées antérieurement dans la même installation avec des effluents renfermant des concentrations d'œufs plus importantes avaient conduit à l'infestation des mollusques après exposition aux effluents de l'installation de traitement (Rowan, 1964 ; Feachem et al., 1983).

Dans les systèmes de bassins de stabilisation, les œufs de schistosomes peuvent éclore dans n'importe quel bassin, même si cette éclosion est réduite dans les bassins anaérobies. La plupart des œufs non éclos sont éliminés par sédimentation dans les bassins anaérobies et facultatifs. Les mollusques peuvent survivre dans les bassins anaérobies et vivre et se reproduire normalement dans les bassins facultatifs et de maturation. Les miracides peuvent survivre jusqu'à six heures dans des bassins anaérobies et jusqu'à 10 heures dans des bassins de maturation. Si des espèces de mollusques appropriées sont présentes dans les bassins, la suite du cycle de vie de ces miracides peut s'accomplir. Les cercaires infectieuses libérées par les mollusques peuvent, en l'espace d'une journée, infester des êtres humains ou d'autres hôtes définitifs. Si le système de bassins présente un temps de séjour approprié (15 jours ou plus), les cercaires périront dans les bassins avant de pouvoir infester un hôte humain (Feachem et al., 1983). Cependant, les employés de l'installation de traitement courent un risque d'infestation s'ils entrent en contact avec

l'eau de bassins contenant des cercaires infectieuses. C'est pourquoi il convient de porter des vêtements de protection en cas de risque de contact avec des effluents partiellement traités (Feachem et al., 1983). Il est également important de disposer d'installations d'assainissement appropriées à proximité de l'unité de traitement pour prévenir la réintroduction par des travailleurs contaminés d'œufs de schistosomes dans les étapes ultérieures du procédé de traitement, au niveau desquelles ces œufs peuvent survivre suffisamment longtemps pour infester des êtres humains après rejet des effluents finaux. On ne dispose pas d'informations sur la survie d'autres trématodes dans les systèmes de bassins de stabilisation.

Dans la pratique, les installations de traitement des eaux usées que l'on trouve le plus fréquemment en aquaculture alimentée par des rejets font appel à des procédés de traitement biologiques à bas débit tels que des bassins de stabilisation. Dans les cas où l'on dispose de suffisamment de terrain, ces bassins constituent habituellement le système de traitement des eaux usées le moins onéreux. Les bassins composant les systèmes de ce type sont naturellement adaptés à l'élevage de poissons ou à la culture de plantes aquatiques et peuvent souvent être utilisés tels quels à cette fin, sans nécessiter de modifications coûteuses. Les bassins facultatifs et de maturation offrent un environnement enrichi qui favorise le développement de phytoplancton, servant à l'alimentation des poissons. Un bassin de stabilisation conçu pour faciliter l'aquaculture alimentée par des rejets a été proposé dans Mara et al. (1993) et Mara (1997). Ce système est décrit à l'annexe 1.

5.2.3 Restrictions portant sur les produits

Pour protéger les consommateurs, les eaux usées ou les excreta peuvent être utilisés pour faire grandir des plantes aquatiques et des poissons destinés à servir d'aliments pour animaux à forte teneur en protéines. L'emploi d'eaux usées ou d'excreta dans ces systèmes étant indirect, à travers l'intégration d'une étape supplémentaire dans la chaîne alimentaire, cet allongement de la chaîne alimentaire permet parfois de rendre praticable une utilisation des eaux usées ou des excreta sinon inacceptable dans certaines sociétés (Edwards, 1990). Il importe cependant de prévenir l'infestation par des trématodes des poissons ou des plantes utilisés pour alimenter d'autres poissons dans la mesure où ces parasites peuvent rester infectieux aussi longtemps que leur hôte est vivant. La production de poissons et de plantes aquatiques pour l'alimentation des poissons augmente le risque d'accumulation de produits chimiques toxiques dans les produits à base de poisson finaux.

Les restrictions portant sur les produits peuvent aussi consister à ne produire que des plantes ou des poissons qui sont systématiquement consommés après cuisson complète. Comme indiqué dans la partie 5.2.7, la cuisson complète des plantes ou des poissons est un moyen très efficace d'éliminer ou de réduire les risques.

Juvéniles

Les excreta, les boues fécales ou les eaux usées peuvent être utilisés pour produire des juvéniles dans des nurseries aquacoles, ces juvéniles étant ensuite élevés jusqu'à l'obtention de poissons comestibles de taille adulte dans des systèmes séparés n'utilisant pas d'eaux usées. Cette façon de procéder devrait normalement donner des poissons adultes moins contaminés. Néanmoins, des précautions contre l'infestation par des trématodes seront nécessaires pour des raisons identiques à celles évoquées précédemment.

Culture d'herbe à canard en tant qu'aliment pour animaux à forte teneur en protéines

La culture d'herbe à canard dans des bassins alimentés par du fumier (d'origine bovine ou humaine) est une pratique traditionnelle en Chine (Edwards, 1990). L'objectif est de produire un aliment vert de granulométrie suffisamment fine pour nourrir les juvéniles de carpes herbivores jusqu'à ce qu'ils soient assez grands pour consommer de l'herbe.

Des recherches ont été menées sur les trois dernières décennies dans de nombreuses parties du monde sur les systèmes de traitement et d'utilisation des eaux usées utilisant de l'herbe à canard (voir les revues réalisées par Skillicorn, Journey & Spira, 1993; Iqbal, 1999). Une grande part de ces recherches a été motivée par les qualités de cette herbe en tant qu'aliment à forte teneur en protéines pour l'alimentation des poissons ou du bétail, avec une production protéique jusqu'à 10 fois supérieure à celle obtenue avec le soja, une teneur en protéines brutes de 25 à 45% sur matière sèche, une vitesse de croissance élevée de 10 à 40 tonnes de matière sèche par hectare et par an, la possibilité de pratiquer cette culture dans une eau peu profonde et à l'ombre, et une récolte facile au moyen de perches et de filets. Côté négatif, une température trop basse ou trop élevée nuit à la croissance de l'herbe à canard, de même qu'une intensité lumineuse trop forte. L'herbe à canard est infestée occasionnellement par des insectes. Elle est difficile à sécher de manière économique et doit donc être consommée fraîche. Enfin, elle se décompose rapidement (PNUE, 2002). Autre inconvénient : sa culture aquacole alimentée par des rejets nécessite plus de terrain que l'élevage de poissons. Une étude sur l'utilisation directe et indirecte d'excreta pour élever des tilapias a mis en évidence que la surface nécessaire à la culture alimentée par des rejets d'herbe à canard était environ trois fois plus étendue que celle requise pour l'utilisation directe d'excreta pour élever des poissons. La culture d'herbe à canard dans un milieu contenant des excreta en vue de nourrir les poissons d'un système de bassins d'élevage séparé nécessite près de deux fois plus de terrain que la pisciculture, les bassins piscicoles ne pouvant servir que pour un usage direct des rejets (Edwards, Pacharaprakiti & Yomjinda, 1990).

L'herbe à canard étant constituée de petits plants flottants sans système de racines étendu, la plus grande partie de l'activité biologique dans un bassin alimenté par des rejets et recouvert d'herbe à canard est due à des micro-organismes en suspension dans la colonne d'eau. La couverture par de l'herbe à canard contribue à minimiser la perte d'eau par évaporation en surface et à réduire la salinité des effluents par absorption des nutriments dissous (Gijzen & Veenstra, 2000).

On dispose de données scientifiques limitées sur les possibilités de transmission d'agents pathogènes du fait de l'utilisation d'herbe à canard comme nourriture animale dans des systèmes alimentés par des rejets. Une expérience réalisée en Thaïlande a révélé que l'herbe à canard concentrait les bactéries à sa surface. La concentration moyenne de coliformes thermotolérants à la surface des plants était de $5,7 \times 10^5$ MPN/100g, contre $8,0 \times 10^3$ MPN/100g pour l'eau des bassins alimentés en excreta (Edwards, Polprasert & Wee, 1987). Cependant, des tilapias élevés dans des systèmes de bassins séparés présentaient des profils bactériens comparables, qu'ils soient nourris avec de l'herbe à canard ou des aliments en granulés, ou encore qu'ils soient élevés dans des bassins témoins sans apport nutritionnel. Des coliformes thermotolérants ont été détectés à très faibles concentrations (≤ 30 MPN/100g) dans le tissu musculaire de poissons provenant de tous les bassins : le tissu musculaire des poissons nourris avec de l'herbe à canard était plus faiblement contaminé que celui des poissons alimentés avec des granulés ou élevés dans

des bassins témoins (Edwards et al., 1984). Ces données indiquent que les tilapias nourris avec de l'herbe à canard cultivée en présence d'excreta ne sont pas plus fortement contaminés par des bactéries indicatrices fécales que les tilapias élevés dans des conditions classiques.

Utilisation des poissons en tant que nourriture animale à forte teneur en protéines

Des recherches ont été menées en Thaïlande sur l'utilisation de tilapias élevés dans des bassins alimentés par des boues de vidange comme source de nourriture animale à forte teneur en protéines (Edwards, Polprasert & Wee, 1987; Edwards, 1990). Pour nourrir des silures grenouilles, on a testé trois régimes alimentaires expérimentaux, dont deux comprenaient des tilapias élevés en présence de boues de vidange (viande hachée séchée au soleil et viande hachée fraîche) et le troisième comportait du poisson de mer comme nutriment et servait de régime témoin. Les concentrations moyennes de coliformes thermotolérants étaient élevées dans tous les régimes : viande de tilapia ($1,2 \times 10^6$ MPN/100 g), tilapia frais ($3,8 \times 10^7$ MPN/100 g) et poisson de mer ($8,1 \times 10^5$ MPN/100 g). On s'attendait à trouver de fortes concentrations de ces coliformes dans les régimes à base de tilapia car ceux-ci comprenaient des tilapias entiers hachés, y compris le contenu du système digestif renfermant des concentrations importantes de micro-organismes.

Bien que les silures grenouilles fussent nourris avec des régimes contenant une contamination microbienne relativement importante, les concentrations de micro-organismes dans les poissons obtenus étaient très faibles, sauf dans le tractus digestif. Les coliformes thermotolérants et les bactériophages étaient indétectables dans le tissu musculaire, le sang et la bile. La numération hétérotrophique sur plaques a révélé la présence à très faibles concentrations de bactéries aérobies dans le tissu musculaire des silures grenouilles, en donnant au maximum une valeur de 40/g. Ces données indiquent que les poissons carnivores nourris avec des tilapias élevés en présence d'excreta et transformés ne présentent pas de niveaux de contamination élevés.

5.2.4 Période de retrait dans l'épandage des déchets

La chronologie de l'épandage des eaux usées ou des excreta peut constituer un outil important de gestion des risques. Les éléments disponibles donnent à penser que plus le temps écoulé entre le dernier épandage d'eaux usées ou d'excreta et la récolte des poissons ou des plantes est long, plus le dépérissement des agents pathogènes qui s'effectue dans le bassin est poussé. En théorie, le dépérissement des agents pathogènes qui s'opère dans les bassins piscicoles devrait être similaire à celui qui se produit dans les bassins facultatifs et de maturation des systèmes de bassins de stabilisation. Pour obtenir un dépérissement optimal des agents pathogènes avant la récolte des poissons ou des plantes, on peut faire appel à un procédé discontinu (à savoir dans lequel toute l'eau usée pénètre en une seule fois dans le système de traitement et aucune quantité supplémentaire d'eau usée n'est ajoutée jusqu'à la récolte). Il convient de noter toutefois que, dans les zones urbaines, les bassins aquatiques de grandes dimensions reçoivent souvent en continu des eaux usées non traitées et des rejets de latrines provenant des foyers environnants.

Il existe des preuves solides du dépérissement rapide des coliformes thermotolérants dans les bassins piscicoles alimentés par des rejets. Les concentrations de coliformes thermotolérants dans des bassins piscicoles expérimentaux à Lima au Pérou ont baissé de $1,3 \times 10^4$ – $3,2 \times 10^4$ MPN/100 ml en moyenne géométrique dans les effluents de bassin tertiaire à $1,0 \times 10^2$ – $3,3 \times 10^3$ MPN/100 ml dans l'eau des bassins piscicoles, soit une diminution de 1 à 2 ordres de grandeur (Cavallini, 1996). D'après Pal & Das Gupta

(1992), les concentrations de coliformes thermotolérants passent, en l'espace de 15 jours, de 10^8 – 10^9 /100ml dans les eaux-vannes brutes à environ 10^4 – 10^6 /100ml dans l'eau des bassins et n'évoluent plus ensuite. Bhowmik, Chakrabarti & Chattopadhyay (2000) ont signalé des concentrations de coliformes thermotolérants dans les eaux-vannes brutes et l'eau des bassins piscicoles allant de $6,2 \times 10^6$ /100ml à $5,9 \times 10^7$ /100ml et de $1,3 \times 10^4$ /100ml à $1,0 \times 10^5$ /100ml respectivement. Roy (2000) indique que les eaux-vannes pénétrant dans les bassins piscicoles de Calcutta contiennent jusqu'à $1,0 \times 10^7$ coliformes thermotolérants pour 100 ml, valeur à comparer à la concentration de ces organismes dans l'eau en sortie des bassins, qui n'est que de 10^3 – 10^4 /100 ml.

Les excreta peuvent être introduits dans les bassins pour les fertiliser en discontinu par petites quantités et à divers intervalles de temps, l'introduction d'excreta ou de fèces s'effectuant parfois directement à partir de latrines suspendues. Les volumes d'excreta ajoutés sont bien inférieurs aux volumes d'eaux usées introduits. Un petit volume d'excreta renfermant de fortes concentrations d'organismes indicateurs sera rapidement dilué après son introduction dans un bassin d'assez grande dimension, même s'il peut arriver que des poissons mangent les fèces directement. Une étude réalisée en Thaïlande sur des bassins piscicoles alimentés avec des excreta dont la teneur moyenne en coliformes thermotolérants était de $3,0 \times 10^6$ MPN/100ml a mis en évidence des concentrations moyennes pour 25 bassins allant de $7,4 \times 10^1$ à $4,0 \times 10^3$ MPN/100ml, 60 % des bassins renfermant moins de 10^3 MPN/100ml en moyenne (Edwards et al., 1984). Dans le cadre d'une expérience prévoyant l'analyse de prélèvements, à intervalles de trois heures, pour rechercher les micro-organismes, on a relevé une réduction initiale de 99% résultant de la dilution des excreta par l'eau du bassin piscicole, suivie d'une réduction supplémentaire de 99%, amenant la concentration de micro-organismes de 10^4 MPN/100ml à 10^2 MPN/100ml, en seulement 30 heures (Edwards et al., 1984).

5.2.5 Dépuration

Avant d'être vendus, les poissons peuvent être maintenus dans de l'eau propre pour réduire leur contamination, un procédé appelé dépuration. La dépuration est souvent recommandée dans les systèmes aquacoles alimentés par des rejets et peut s'effectuer soit par arrêt de l'épandage de rejets, soit par transfert des poissons dans des bassins d'eau propre. Le maintien des poissons dans de l'eau propre pendant deux à trois semaines avant la récolte a des chances d'éliminer l'odeur désagréable résiduelle (un aspect esthétique qui affecte le goût du poisson, mais n'a pas d'impact sur la santé) et de réduire leur degré de contamination par des micro-organismes fécaux. Cependant, la dépuration ne parvient pas à éliminer complètement tous les agents pathogènes des tissus et du système digestif des poissons, notamment lorsque l'eau dans laquelle ils ont grandi était très contaminée (Buras, 1990). Cette opération est sans effet sur les métacercaires de trématodes déjà présentes dans ces poissons.

Malgré le faible nombre d'études sur la salubrité des poissons ayant subi une dépuration, le bon sens amène à penser que cette opération atténue les risques sanitaires en réduisant les possibilités de contamination croisée entre la surface de la peau ou le contenu des viscères et la chair comestible des poissons.

5.2.6 Manipulation et préparation des poissons

Les viscères de poisson contiennent sous forme nettement concentrée la flore microbienne présente dans l'eau où vivent ces poissons. Si cette eau a reçu des apports d'eaux usées, les viscères renfermeront des bactéries liées aux excreta, des virus et éventuellement d'autres agents pathogènes tels que *Giardia* ou *Cryptosporidium* à des

concentrations plus fortes que dans l'eau de départ. De même, si des agents pathogènes opportunistes tels qu'*Aeromonas* sont présents dans l'eau, ils le seront à plus fortes concentrations dans les viscères des poissons.

Des études réalisées sur des poissons produits par l'aquaculture alimentée par des rejets indiquent que la contamination croisée intervenant pendant le nettoyage ou la transformation de ces poissons est bien plus déterminante pour la qualité de la chair que la qualité de l'eau dans laquelle les poissons ont grandi. Par exemple, une étude menée au Viet Nam a évalué la qualité des poissons produits dans des bassins alimentés par des rejets et celle de poissons élevés avec de l'eau de surface. La chair des deux groupes de poissons a été analysée au niveau du point de récolte et à celui du point de vente sur le marché. La qualité bactériologique du muscle de poisson au point de récolte était pratiquement identique pour les deux groupes; la plupart des échantillons ne contenaient aucun coliforme thermotolérant, à l'exception de quelques-uns renfermant 2–3 coliformes thermotolérants par gramme. Les échantillons de muscle de poisson prélevés au point de vente (c'est-à-dire après nettoyage et transformation des poissons) présentaient en revanche des concentrations de coliformes thermotolérants allant de 800 à 19 000 par gramme. Il n'y avait pas de différence significative entre les poissons élevés en bassin alimenté par des rejets et ceux élevés dans de l'eau de rivière. Au niveau du point de vente, les poissons étaient nettoyés sur des planches à découper contaminées, avec des couteaux également contaminés et sans éliminer en tout premier lieu les viscères (Lan et al., sous presse).

Il importe que des mesures soient prises pour éviter la contamination croisée de la chair de poisson avec le contenu des viscères au cours du nettoyage. Cet objectif peut être atteint en retirant les viscères intacts des poissons avant de prélever le muscle et en rinçant la cavité viscérale avec de l'eau de boisson saine (OMS, 2004a). Après élimination des viscères, il est important d'utiliser un couteau différent pour découper la chair de poisson. De même, les couteaux servant à la transformation des poissons bruts doivent être soigneusement nettoyés avant d'être utilisés à d'autres fins (par exemple pour découper du poisson cuit ou d'autres produits comme des légumes).

5.2.7 Lavage/désinfection des produits et cuisson des aliments

Un lavage vigoureux à l'eau du robinet des plantes aquatiques devant être consommées crues permet de réduire la quantité de bactéries dont elles sont porteuses de 1–2 unités logarithmiques (Brackett, 1987; Beuchat, 1998; Lang, Harris & Beuchat, 2004). Le lavage dans une solution désinfectante (habituellement une solution d'hypochlorite), suivi d'un rinçage sous l'eau du robinet, peut fournir une réduction de la contamination microbienne de 1–2 unités logarithmiques. Le lavage avec un détergent (liquide vaisselle, par exemple), suivi d'un rinçage sous l'eau du robinet, peut diminuer le nombre d'œufs d'helminthes de 1–2 unités logarithmiques (B. Jiménez-Cisneros, communication personnelle, 2005).

L'épluchage des fruits et des légumes racines abaisse la quantité d'agents pathogènes de 2 unités logarithmiques au moins. La cuisson des légumes permet une élimination presque complète (5–6 unités logarithmiques) de tous les micro-organismes pathogènes présents.

Ces réductions s'obtiennent de façon extrêmement fiable et doivent toujours être prises en compte lors de la sélection de la combinaison de traitements des eaux usées et d'autres mesures de limitation de l'exposition visant à protéger la santé. Des programmes efficaces d'enseignement et de promotion de l'hygiène seront nécessaires pour informer les personnes manipulant localement des produits alimentaires (sur les marchés, à domi-

cile ou dans les restaurants et les stands de vente) des modalités et des motifs d'un lavage efficace à l'eau ou avec une solution désinfectante, ou encore avec une solution détergente des produits cultivés avec des apports d'eaux usées.

5.2.8 Promotion de l'hygiène et de la santé

Dans nombre de cas, il est difficile d'améliorer la santé publique sans promouvoir une meilleure hygiène domestique et personnelle. Dans le cadre de l'aquaculture alimentée par des rejets, les personnes les plus à risque sont celles travaillant auprès des bassins ainsi que leur famille, les personnes manipulant ou consommant les produits et celles ayant accès aux bassins. Pour mieux protéger la santé publique, divers comportements peuvent être visés. La promotion de la santé doit cibler les divers groupes exposés avec des messages pertinents.

Dans nombre de cas, il est possible d'établir un lien entre les initiatives d'éducation et de promotion de l'hygiène et le développement de l'aquaculture ou les activités de proximité en faveur de la santé en cours actuellement (Blumenthal et al., 2000). Cependant, les interventions sanitaires doivent être focalisées sur quelques comportements spécifiques importants et peuvent obtenir plus de succès si elles mettent l'accent sur les raisons sociales et culturelles de modifier les pratiques en matière d'hygiène plutôt que sur les bénéfices sur le plan sanitaire (Encadré 5.2) (Curtis & Kanki, 1998; Blumenthal et al., 2000).

5.2.9 Vaccination et chimiothérapie

La vaccination contre les helminthiases et contre la plupart des maladies diarrhéiques n'est pour le moment pas praticable. Néanmoins, il vaut la peine d'envisager de vacciner contre la typhoïde les groupes les plus fortement exposés.

La disponibilité d'installations médicales capables de traiter les maladies diarrhéiques et l'administration d'une chimiothérapie régulière peuvent apporter une protection supplémentaire. Cette chimiothérapie couvre la maîtrise des helminthiases intenses chez l'enfant par des moyens pharmaceutiques et la lutte contre l'anémie chez les enfants et les adultes, et notamment chez les femmes et chez les jeunes filles réglées. Pour être efficace, la chimiothérapie doit être réappliquée à intervalles réguliers. La fréquence nécessaire pour maintenir la charge parasitaire à un niveau bas (c'est-à-dire aussi bas que dans le reste de la population) dépend de l'intensité de la transmission, mais peut être de deux à trois fois par an pour les enfants vivant dans des zones d'endémie (Montresor et al., 2002). Albonico et al. (1995) ont constaté que la charge d'helminthiases pouvait être ramenée aux niveaux précédant le traitement en mettant en œuvre pendant six mois une campagne de chimiothérapie de masse, sous réserve que les conditions prévalentes n'évoluent pas.

Dans le cas de la schistosomiase, un programme de chimiothérapie visant les populations à haut risque est préconisé. Dans les situations de forte prévalence, l'OMS propose de traiter une fois par an les enfants d'âge scolaire. Un traitement adapté à la communauté doit être mis à la disposition des autres groupes à haut risque (travailleurs aquacoles, agriculteurs, travailleurs participant ou exposés à l'irrigation). Lorsque la prévalence de la schistosomiase est modérée, il suffit de traiter les enfants d'âge scolaire une fois tous les deux ans. Dans les communautés où la prévalence de cette maladie est faible, ces enfants doivent être traités deux fois au cours de leur scolarité primaire (une fois au début et une fois à la fin) (OMS, 2002).

Des points particuliers ayant trait aux campagnes de chimiothérapie destinées à traiter les trématodoses transmises par les aliments sont évoqués dans la partie 5.3.4.

Encadré 5.2 Réduction des trématodoses : modification de certains comportements en rapport avec les aliments

Les efforts pour amener des individus à renoncer à la consommation d'aliments crus ou insuffisamment cuits à travers la promotion de la santé (parfois appuyée par la législation) restent dans une large mesure sans succès. Cependant, l'expérience acquise dans certains pays d'endémie de l'opisthorchiase ou de la paragonimiasis indique que la limitation de l'exposition peut avoir davantage d'effet lorsque la promotion de la santé a été intégrée au projet. Une étude de terrain menée dans des villages appartenant aux provinces chinoises du Jiangxi et de l'Anhui et dans lesquels la paragonimiasis est endémique a révélé qu'au bout de trois ans, un programme de promotion de la santé avait permis de réduire le pourcentage de villageois consommant du crabe cru de 48,3% à 0% dans la province du Jiangxi et de 50,3 à 0,3% dans la province de l'Anhui. Il a été rapporté que la lutte contre l'opisthorchiase menée en Thaïlande (Cross, 1991) à travers l'administration d'une dose unique de traitement et l'apport d'une éducation sanitaire visant à modifier les habitudes alimentaires avait été une réussite, même si cette approche a rencontré par contre un succès limité dans plusieurs autres pays (OMS, 1995).

Malgré les risques d'échec, la promotion de la santé dans le but de modifier des habitudes alimentaires dangereuses est une approche prioritaire pour lutter contre les trématodoses transmises par les aliments dans le cadre d'une alimentation de subsistance. Le simple fait de fournir des informations sur les dangers associés à la consommation d'aliments crus ne suffit pas pour faire changer les habitudes à risque. La WHO Consultation on Health Education in Food Safety (OMS, 1988b) recommande, avant de mettre en route des activités éducatives, d'entreprendre une campagne de sensibilisation systématique. Il convient en premier lieu de faire prendre conscience et de convaincre les autorités publiques de l'importance du problème et de la nécessité d'une éducation sanitaire. Ensuite, le personnel de santé doit être formé et équipé pour jouer son rôle.

Les organisations non gouvernementales et les groupes locaux, y compris les groupes de femmes, doivent être formellement invités à participer aux programmes d'éducation et d'intervention. Les messages éducatifs doivent être formulés sur la base d'informations épidémiologiques solides et des résultats d'études sociologiques et anthropologiques; les techniques de préparation et de transformation des aliments préconisées doivent être efficaces et avoir été bien étudiées et testées.

La diffusion de ces messages à tous les niveaux de la société d'un pays d'endémie confortera le succès à long terme de la lutte contre les trématodoses liées à l'aquaculture. Si nécessaire, les mass media devront être invités à prendre part au plan d'action, mais le sensationnalisme et l'exagération des problèmes plutôt que la mise en avant des solutions peuvent être contre-productifs. Des évaluations programmatiques doivent être réalisées périodiquement et donner lieu, si nécessaire, à des modifications des programmes.

Pour que les changements visés finissent par se réaliser, deux exigences de base doivent être remplies (OMS, 1984, 1995):

- la perception par la communauté des avantages liés à ces changements;
- l'acceptabilité des coûts tant économiques que sociaux de ces changements (OMS, 1995).

5.2.10 Mesures de limitation de l'exposition à l'intention des travailleurs, des personnes manipulant les produits et des communautés locales

Un certain nombre de mesures de limitation de l'exposition applicables pour protéger la santé du personnel d'exploitation et d'entretien des bassins, des personnes qui transforment ou manipulent les produits aquacoles et des communautés locales sont présentées ci-après.

Le personnel d'exploitation et d'entretien des bassins peut être protégé des expositions à des agents pathogènes par les moyens suivants :

- port d'équipements de protection individuelle (gants, bottes) ;
- gestion des bassins de manière à réduire l'activité reproductive des vecteurs ;
- prévention des contacts cutanés avec les eaux usées, les excreta et les produits contaminés ;
- mise à disposition d'eau saine et d'installations d'assainissement appropriées à proximité des bassins ;
- bonne hygiène personnelle (c'est-à-dire lavage des mains et des autres parties du corps exposées au savon après un contact avec des eaux usées ou des produits contaminés).

Comme la plupart des agents pathogènes pénétrant dans les bassins piscicoles dans le cadre des pratiques traditionnelles se déposent parmi les sédiments au fond de ces bassins, la présence de ces agents dans les sédiments et dans l'eau peut représenter un risque professionnel pour les travailleurs qui entrent dans l'eau pour récolter les poissons (Strauss, 1996). Il peut exister aussi un risque d'helminthiase si les sédiments sont retirés des bassins et épandus dans des champs pour servir d'engrais (se référer au Volume II : *Utilisation des eaux usées en agriculture*, pour plus d'informations sur les risques dus aux helminthes intestinaux en agriculture). Néanmoins, il ne semble pas y avoir de preuves d'un risque accru d'helminthiase pour le personnel d'exploitation et d'entretien des bassins.

Dans le cadre d'une enquête informelle sur les personnes pratiquant une activité piscicole dans des bassins alimentés par des eaux usées à Hanoï, quelques individus de l'un et l'autre sexe ont rapporté des problèmes urogénitaux ou cutanés associés à un contact physique avec l'eau (A. Dalsgaard, communication personnelle, 1996). Des problèmes de peau tels que des démangeaisons et des décolorations ont été occasionnellement signalés. Le principal souci résidait dans l'infection secondaire de lésions cutanées des pieds provoquées par des coquilles de mollusque et des débris de verre.

L'exposition des travailleurs à l'eau et aux sédiments des bassins pourrait être fortement réduite par le port de vêtements de protection, mais l'utilisation de gants, de bottes ou de cuissardes est rare car elle freine les activités et constitue une source d'inconfort sous les climats chauds. Il est particulièrement difficile de porter des bottes dans les bassins comportant des dépôts épais de sédiments mous. Il est également possible de limiter l'exposition à la schistosomiase par le port de bottes Wellington ou de cuissardes très montantes (selon la profondeur des bassins), mais leur usage est rare et interférerait, par exemple, avec la pratique consistant à cueillir les lotus en dégageant leurs racines avec les orteils. Ces équipements seraient également inconfortables sous des climats chauds.

D'après une étude réalisée au Viet Nam, les travailleurs des installations aquacoles alimentées par des rejets sont de plus en plus disposés à porter des gants en caoutchouc longs et des bottes pendant qu'ils travaillent dans les bassins. Cette évolution des comportements est due à la récente disponibilité au niveau local de gants et de bottes en caoutchouc souple, à la fois confortables, peu coûteuses et faciles à utiliser (van der Hoek et al., 2005).

La mise à disposition et l'utilisation d'installations d'assainissement appropriées à proximité des bassins peuvent contribuer à prévenir la contamination de ces bassins par des schistosomes provenant de travailleurs infectés. Les personnes manipulant des

poissons et des plantes aquatiques doivent prendre les précautions suivantes pour réduire leur exposition à des agents pathogènes ou des produits chimiques :

- porter des équipements de protection individuelle (gants, bottes, par exemple) ;
- éviter les contacts cutanés avec des produits contaminés ;
- utiliser une eau saine et des installations d'assainissement appropriées dans les installations de transformation des aliments et sur les marchés où les produits sont commercialisés ;
- stocker dans de bonnes conditions d'hygiène les plantes aquatiques sur les marchés de détail et employer une eau saine pour humidifier les plantes ;
- adopter des techniques de transformation n'entraînant pas de contamination croisée entre le contenu des viscères et les parties comestibles des poissons ;
- veiller à une bonne hygiène personnelle (lavage des mains au savon après un contact avec des produits contaminés, par exemple).

Fattal et al. (1993) ont suggéré que l'un des principaux soucis de santé publique pour les travailleurs qui manipulent et qui transforment le poisson pourrait résider dans le risque d'infection des blessures par *Aeromonas*. Néanmoins, un certain nombre d'autres agents pathogènes peuvent être responsables de l'infection des plaies, et notamment de l'infection secondaire des abrasions et des coupures de la peau.

Pour prévenir l'exposition des communautés locales, les mesures les plus efficaces consisteront à :

- limiter l'accès aux rivières, canaux et bassins alimentés par des rejets à travers la mise en place d'égouts fermés et de clôtures ou, dans certains cas, de panneaux d'avertissement ; les enfants sont particulièrement menacés ;
- gérer les bassins de manière à limiter l'activité reproductive des vecteurs en vue de réduire la propagation de maladies à transmission vectorielle aux communautés locales ;
- garantir l'accès à une eau de boisson saine (c'est-à-dire prévenir l'utilisation d'eaux de surface contaminées pour la boisson et à des fins domestiques) et à des installations d'assainissement appropriées (cela contribuera à interrompre la transmission des trématodes, et notamment des schistosomes).

Il faut indiquer aux personnes résidant localement quels bassins sont fertilisés avec des excreta ou des eaux usées, pour qu'ils empêchent leurs enfants de jouer ou de nager dans ces bassins. Des avertissements doivent être affichés lorsque les bassins concernés sont proches d'une route, en particulier s'ils ne sont pas protégés par des clôtures, bien que tout le monde ne soit pas en mesure de les lire, en particulier les enfants. Néanmoins, faute d'un accès à une eau de boisson saine ou à un assainissement de base, il est probable que les personnes vivant à proximité continueront d'utiliser l'eau des bassins pour la baignade et la défécation et à d'autres fins. Assurer l'accès à une eau de boisson saine et à un assainissement de base constitue donc une mesure importante pour limiter l'exposition humaine.

5.2.11 Lutte contre les maladies à transmission vectorielle

On s'inquiète de ce que la construction de bassins destinés à l'aquaculture alimentée par des rejets puisse fournir un environnement favorable à la reproduction de moustiques tels

que les vecteurs du paludisme, de la fièvre jaune, de la dengue/dengue hémorragique, de l'encéphalite japonaise ou de la filariose de Bancroft. Trois groupes d'espèces doivent faire l'objet d'une attention toute particulière (Feachem et al., 1983):

- Les moustiques du genre *Anopheles*, vecteurs du paludisme, dont la reproduction s'effectue dans des étendues d'eau relativement propres telles que les eaux de crue ou d'irrigation et dans les zones forestières ou à la lisière des forêts et qui auraient donc peu de probabilités de se reproduire dans les bassins piscicoles alimentés par des rejets.
- *Aedes aegypti*, vecteur de la fièvre jaune et de la dengue/dengue hémorragique, qui se reproduit notamment dans l'eau propre contenue dans des pots et des citernes et aurait donc aussi peu de probabilités de se reproduire dans les bassins piscicoles alimentés par des rejets.
- *Culex quinquefasciatus*, le vecteur du ver nématode *Wuchereria bancrofti*, qui provoque la filariose de Bancroft, préfère se reproduire dans de l'eau contenant une pollution organique, par exemple dans les drains ouverts et les bassins de stabilisation mal entretenus. Le vecteur peut donc éventuellement être associé à l'aquaculture alimentée par des rejets. Par ailleurs, les vecteurs du groupe *Culex gelidus* (qui transmettent l'encéphalite japonaise) se reproduisent préférentiellement dans les rizières irriguées.

Dans une revue de la littérature sur les bassins de stabilisation des eaux usées en tant que sites de reproduction pour les moustiques, dont les conclusions s'appliquent également aux bassins piscicoles alimentés par des rejets, Feachem et al. (1983) concluent que l'on peut limiter la reproduction des moustiques dans les bassins par une conception et une gestion appropriées de ces derniers visant à éviter l'installation d'une végétation émergente de l'eau ou plongeant sous la surface du bassin. On prévient le développement de macrophytes aquatiques en construisant des bassins d'une profondeur minimale d'un mètre, exigence également à respecter pour la pisciculture productive, bien que les plantes aquatiques soient parfois cultivées dans des bassins peu profonds, situation source de dangers. Les aquaculteurs et les travailleurs doivent gérer la végétation qui pousse sur les digues des bassins, souvent constituée de légumes ou de plantes fruitières destinés à la consommation humaine.

Les poissons macrophages comme la carpe herbivore se nourrissent de végétaux, éliminant ainsi l'habitat des vecteurs, et la plupart des poissons consomment directement les larves et les pupes de moustiques (Edwards, 1992).

La couverture végétale plus ou moins complète de la surface d'un système aquacole de production d'herbe à canard peut prévenir la reproduction des moustiques dans la mesure où elle empêche les adultes de déposer des radeaux flottants d'œufs et les stades larvaires de venir respirer en surface. En anglais, le nom vulgaire d'*Azolla*, une fougère aquatique ayant la même forme que l'herbe à canard, est «fougère à moustiques». Ce nom pourrait provenir de l'ancien usage en Europe et en Amérique du Nord de cette plante pour empêcher les moustiques de se reproduire dans l'eau peu profonde dont elle recouvre la surface. Les recherches menées en Chine et en Inde sur les applications d'*Azolla* dans les rizières ont montré que la génération de moustiques a souvent déjà amorcé sa décroissance au moment où cette fougère est parvenue à recouvrir totalement la surface de l'eau.

5.3 Trématodes : considérations spéciales

Comme indiqué dans le chapitre 2, on ne trouve les trématodes (y compris les schistosomes) que dans des zones géographiques limitées. Cependant, leur transmission étant associée à la consommation de poissons et de végétaux et pouvant être à l'origine d'événements sanitaires graves, une partie séparée a été ajoutée aux Directives pour traiter de la lutte contre ces parasites. La Figure 5.2 illustre les possibilités de pénétration des trématodes dans les systèmes d'aquaculture alimentés par des rejets et indique certaines mesures de maîtrise des risques pouvant être appliquées. Les mesures de protection sanitaire pouvant être prises aux différentes étapes de cette aquaculture sont présentées dans le texte explicatif figurant au-dessous. Le Tableau 5.4 décrit plus en détail les mesures de protection sanitaire s'appliquant aux différents stades du procédé aquacole alimenté par des rejets.

5.3.1 Réduction de la contamination des bassins par des trématodes et interruption du cycle de vie de ces parasites

Les eaux usées ou les excreta pénétrant dans un bassin peuvent constituer des sources de trématodes parasites. Cependant, si ces eaux usées ou ces excreta sont traités pour inactiver ou éliminer les trématodes, d'autres sources d'agents pathogènes peuvent aussi contaminer les bassins (voir Figure 5.2). Des expériences menées au Viet Nam, en Thaïlande et en République démocratique populaire lao dans le but de prévenir la contamination de la chair de poisson par des métacercaires de *Clonorchis sinensis* et d'*Opisthorchis viverrini* dans des bassins piscicoles ont identifié l'approvisionnement en eau, les alevins, les aliments pour poissons et l'état des bassins comme des dangers potentiels. En lançant dans ces directions des actions préventives, les chercheurs ont été en mesure d'éliminer l'infestation des poissons par des métacercaires dans les bassins expérimentaux.

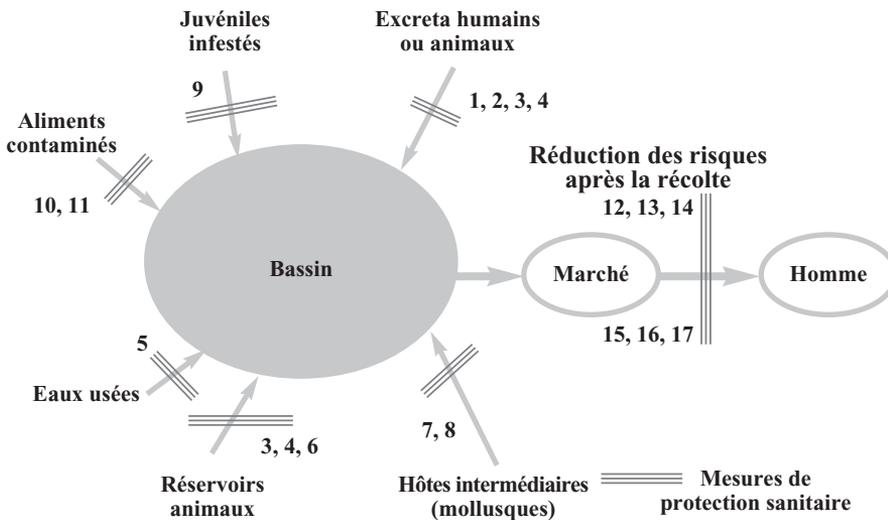


Figure 5.2

Mesures de protection sanitaire contre les trématodes dans le cadre de l'aquaculture alimentée par des rejets (voir Tableau 5.4 pour plus de détails sur les mesures de protection sanitaire repérées par un chiffre)

Tableau 5.4 Mesures de protection sanitaire contre les trématodes

Mesures de protection sanitaire	
Sources de dangers	
Excreta humains ou animaux	<ol style="list-style-type: none"> 1. Traiter les déchets par stockage pendant plus de 30 jours avant de les ajouter dans le bassin. 2. Prévenir la contamination fécale volontaire ou accidentelle par ruissellement superficiel et provenant des latrines reliées au bassin. Remplacer les latrines suspendues au-dessus des bassins piscicoles par des installations d'assainissement plus sûres. 3. Maintenir les animaux à distance des bassins. 4. Traiter les êtres humains et les animaux infectés avec une médication appropriée.
Eaux usées	<ol style="list-style-type: none"> 5. Traiter les eaux usées par des méthodes adaptées pour éliminer ou inactiver les œufs de trématodes. Voir également l'annexe 1 concernant le dimensionnement des bassins de pisciculture alimentés par des rejets.
Réservoirs animaux	<ol style="list-style-type: none"> 3. Maintenir les animaux (chat, chiens, par exemple) à distance des bassins. 4. Traiter les animaux domestiques infestés avec une médication appropriée. 6. Éliminer les restes de poissons crus après nettoyage de manière à ce que des animaux ne puissent s'en emparer.
Hôtes intermédiaires (mollusques)	<ol style="list-style-type: none"> 7. Éliminer la végétation présente dans les bassins et tout autour. 8. Appliquer d'autres techniques de lutte contre les mollusques si besoin est.
Juveniles infestés	<ol style="list-style-type: none"> 9. Prévenir la contamination fécale des bassins de production des juvéniles.
Aliments pour poissons contaminés	<ol style="list-style-type: none"> 10. Traiter les aliments pour poissons de manière à inactiver les métacercaires de trématodes. 11. Utiliser des poissons non infestés pour la production d'aliments pour poissons.
Mesures de maîtrise des risques contre les trématodes après la récolte	
Cuisson	<ol style="list-style-type: none"> 12. Cuire complètement les poissons ou les plantes avant leur consommation. 13. Nettoyer avec soin les couteaux et autres ustensiles pour éliminer tous les œufs, qui ont tendance à adhérer aux surfaces de ce type.
Hygiène	<ol style="list-style-type: none"> 14. Se laver les mains soigneusement après la manipulation ou le nettoyage des poissons.
Promotion de la santé	<ol style="list-style-type: none"> 15. Enseigner aux enfants et aux communautés à risque les cycles de vie des parasites et la manière de prévenir les infestations.
Traitement des aliments	<ol style="list-style-type: none"> 16. Les poissons ou les plantes peuvent être traités à domicile ou de manière industrielle par la chaleur, l'acide, le sel, l'irradiation, la congélation, le séchage ou une combinaison de ces procédés, pour inactiver les métacercaires infectieuses de trématodes.
Inspection des poissons et des plantes	<ol style="list-style-type: none"> 17. Il faut inspecter périodiquement les poissons et les plantes vendus sur les marchés pour signaler les problèmes de contamination et déclencher la mise en œuvre de mesures de protection sanitaire par les autorités sanitaires locales.

taux. Néanmoins, dans les bassins témoins ne bénéficiant d'aucune intervention, 45% des poissons étaient infestés par des métacercaires de *C. sinensis* (Son et al., 1995). Des résultats similaires ont été obtenus pour *O. viverrini* (Son et al., 1995).

Dans les zones d'endémie des trématodes, divers animaux domestiques et sauvages peuvent jouer le rôle de réservoirs. Les hôtes animaux définitifs de *Clonorchis sinensis* peuvent être des chats, des chiens, des rats et même éventuellement des porcs. On a établi

une relation entre les chiens et les chats et la transmission actuelle d'*Opisthorchis viverrini* en Thaïlande et dans la République démocratique populaire lao. *Fasciola hepatica* infeste divers animaux domestiques et sauvages, y compris les bovins, les ovins, les chèvres, les buffles, les chameaux, les lamas, les cervidés, les porcs, les chevaux et les lapins (OMS, 1995). Il importe donc de prendre des mesures pour réduire l'infestation par des trématodes des animaux domestiques en empêchant ces animaux domestiques ou sauvages susceptibles d'être infestés d'accéder aux bassins (par l'installation de clôtures ou d'autres barrières, par exemple). Les restes de poissons (provenant des ménages ou des unités de transformation alimentaire, par exemple) doivent être éliminés de manière empêcher ces animaux de les consommer crus ou insuffisamment traités (Lun et al., 2005). Dans la pratique, il peut être difficile de réduire l'introduction d'œufs de trématodes dans les bassins par le biais des animaux sauvages et domestiques.

Les trématodes infestant des poissons peuvent rester à l'état de métacercaires infectieuses pendant toute la durée de vie de ces poissons. Ainsi, les poissons infestés par des trématodes au stade juvénile peuvent être porteurs de métacercaires infectieuses dans leurs tissus jusqu'à leur récolte. Par conséquent, il est également important de gérer les bassins de production de juvéniles de la même manière que les bassins de grossissement pour prévenir leur contamination par des trématodes.

Les aliments pour poissons utilisés en aquaculture doivent être traités de manière à neutraliser toute métacercaire infectieuse présente dans la chair de poisson ou à la surface des plantes. Cette opération peut être réalisée par une série de traitements, incluant un chauffage ou un séchage des poissons ou des plantes avant leur introduction dans les aliments (OMS, 1995).

5.3.2 Lutte contre les hôtes intermédiaires

Lutter contre les mollusques est l'une des façons d'interrompre le cycle de vie du parasite et ainsi de prévenir l'infestation d'êtres humains. Une démarche appropriée pour cette lutte doit s'appuyer sur une bonne compréhension de l'écologie des mollusques impliqués et de l'environnement. La plupart des hôtes intermédiaires de *Fasciola hepatica* vivent dans des sols marécageux et l'eau est essentielle à la reproduction des mollusques et à la transmission du parasite. Il est donc possible de réduire les populations de mollusques par des moyens physiques, tels que le creusement de canaux de drainage ou l'élimination de la végétation présente dans les bassins ou sur les digues environnantes (OMS, 1995).

Il n'a pas été tenté de lutter contre les trématodes à l'aide de molluscicides ou d'autres méthodes de limitation des populations de mollusques, sauf dans le cas des fasciolases animales. Avant d'introduire des mesures de lutte chimiques contre les mollusques, il faut étudier leur impact potentiel sur les poissons d'élevage, sur la qualité des poissons ou des plantes et sur l'environnement (OMS, 1995).

5.3.3 Mesures de protection sanitaire après la récolte

À l'exception de la schistosomiase, les trématodes se transmettent par consommation de poissons ou de plantes contaminés et non par contact direct.¹ Une fois que la chair de poisson ou les plantes contiennent des métacercaires infectieuses, on peut interrompre la transmission de la maladie par des procédés qui inactivent ces métacercaires. La cuisson

¹ Dans les zones d'endémie humaine, on pense que la fasciolose se transmet par ingestion d'eau de boisson contaminée, en plus de la transmission via la consommation de plantes contaminées [se référer à Mas-Coma (2004) pour en savoir plus sur la fasciolose humaine].

complète des produits alimentaires avant leur consommation est la méthode la plus efficace pour prévenir la transmission de trématodes à partir de produits contaminés. Cependant, la consommation de poissons ou de plantes aquatiques crus est une pratique souvent bien ancrée dans les traditions culturelles et il peut être difficile de modifier ces comportements (OMS, 1995).

Il existe également des éléments suggérant la possibilité d'une infestation des personnes qui manipulent ou nettoient les poissons par ingestion accidentelle de métacercaires infectieuses présentes sur leurs mains (Lun et al., 2005). Le lavage soigneux des mains à l'eau et au savon après la manipulation ou le nettoyage de poissons ou de plantes d'eau douce représente donc une mesure de protection sanitaire importante.

Un traitement après récolte des poissons et des plantes dans le but d'inactiver les larves infectieuses peut être effectué par le consommateur ou dans le cadre de la transformation industrielle des aliments. Pour plus d'informations sur les techniques de traitement des aliments destinées à inactiver les métacercaires de trématodes, se référer à OMS (1995). En dehors d'un lavage énergique (qui peut endommager les plantes), il existe peu de procédures de préparation particulières permettant de réduire les risques liés à la contamination des plantes par des trématodes, notamment si ces végétaux sont habituellement consommés frais et sans transformation (cresson, par exemple). Les métacercaires de *Fasciolopsis buski* peuvent être inactivées en faisant sécher les plantes ou en les trempant dans de l'eau bouillante avant consommation (Feachem et al., 1983).

Des inspecteurs peuvent examiner périodiquement les poissons et les plantes à la recherche de métacercaires infectieuses de trématodes et empêcher la vente des produits contaminés sur les marchés, mais ces inspections n'empêcheront probablement qu'une faible proportion des produits contaminés d'atteindre les consommateurs. Les techniques d'inspection des plantes et des poissons sont décrites dans OMS (1995). L'inspection des aliments peut servir à signaler des problèmes de contamination et à déclencher la prise de mesures de protection sanitaire par les autorités locales.

5.3.4 Chimiothérapie à l'intention des êtres humains et des animaux

Les êtres humains diagnostiqués comme infectés par des trématodes peuvent être traités efficacement. La chimiothérapie réduit la prévalence et l'intensité des infestations dans la population cible, comme le montre la numération des œufs dans les selles. Elle diminue aussi la morbidité, même si ses effets sont plus importants au cours des phases initiales de la maladie qu'à des stades plus tardifs. Après une chimiothérapie, une réinfestation peut se produire dans les zones d'endémie, mais la numération des œufs dans les selles des individus infestés est alors nettement plus basse qu'avant le traitement (OMS, 1995).

L'usage de la chimiothérapie pour lutter contre les trématodoses d'origine alimentaire doit s'appuyer sur des données épidémiologiques solides concernant la population cible. Il est parfois possible d'étudier la prévalence de ces parasitoses dans un groupe à risque comme les enfants d'âge scolaire en tant qu'indicateur de leur prévalence dans la population tout entière. Il n'est pas recommandé de traiter à l'échelle communautaire en l'absence de données épidémiologique pour suivre les effets de ce traitement. La plupart des programmes de lutte contre les trématodes prévoient le traitement annuel de la population cible pendant une période allant jusqu'à trois ans. Après cette phase initiale, la prévalence peut être maintenue à un niveau bas par la délivrance d'un traitement par les services sanitaires locaux (OMS, 1995).

Pour le traitement des communautés, plusieurs approches peuvent être adoptées (OMS, 1995), et notamment :

- *le traitement de masse*: traitement de populations entières sans se préoccuper du statut infectieux des individus;
- *le traitement sélectif en population*: traitement des personnes infestées identifiées par une enquête diagnostique portant sur l'ensemble de la population;
- *le traitement groupé sélectif*: traitement de tous les membres ou des membres infestés d'une tranche d'âge ou d'un groupe professionnel à haut risque;
- *le traitement échelonné*: application des stratégies ci-dessus selon une séquence correspondant à une sélectivité croissante.

L'indication par les données épidémiologiques d'une forte prévalence de l'infestation lors de la mise en route du programme de lutte peut justifier le traitement de populations entières sans procéder à des diagnostics individuels. Si la réponse à ce traitement n'est pas satisfaisante au regard des objectifs prédéfinis de couverture de la population et de réduction des niveaux d'infestation, il est recommandé de passer à des approches plus sélectives. Il est inacceptable de traiter sans nécessité; après un traitement de masse, divers effets secondaires mineurs et transitoires seront probablement observés dans la population traitée (OMS, 1995).

Des études longitudinales sur le retraitement de l'opisthorchiase ont été réalisées dans des zones d'endémie du bassin du Mékong. En Thaïlande, 90% des personnes traitées (dont toutes présentaient une numération initiale des œufs inférieure à 10 000 œufs par gramme de fèces) sont restées négatives pour les œufs pendant deux ans à l'issue d'un traitement unique. Chez les 10% des individus restés positifs pour les œufs, l'infestation était légère et aucun symptôme clinique inhabituel n'a été noté. D'une manière générale, le retraitement contre l'opisthorchiase doit être effectué à intervalles d'un an sur une durée allant jusqu'à trois ans, après quoi sa nécessité doit être évaluée en fonction des données de surveillance épidémiologique (OMS, 1995).

En 1981, un petit projet pilote visant à réduire l'opisthorchiase dans la province de Khon Kaen, en Thaïlande, a été lancé. Ce programme combinait une chimiothérapie annuelle, administrée sous forme de dose unique (40 mg de praziquantel par kg de poids corporel), et une éducation sanitaire intensive, destinée à améliorer les habitudes alimentaires et à promouvoir la construction et l'utilisation de latrines (Sornmani, 1988). Au bout de deux ans, la prévalence de l'opisthorchiase est passée de 56% au départ à moins de 10% et l'incidence des nouvelles infestations comme les résultats moyens des examens coprologiques ont diminué. Des résultats similaires ont été obtenus avec l'extension du projet à sept provinces du nord-est de la Thaïlande en 1988 (OMS, 1995). Des programmes de chimiothérapie de masse ont également réussi à faire reculer les trématodes au Japon et en République de Corée (OMS, 1995).

Les études sur le traitement des animaux (chats, chiens ou porcs, par exemple) en tant que moyen de prévenir ou de réduire la pénétration d'œufs de trématodes dans les bassins aquacoles sont rares, voire inexistantes. Il semble peu probable qu'une telle approche soit applicable dans la plupart des endroits où l'on pratique l'aquaculture alimentée par des rejets.

5.3.5 Schistosomiase

La schistosomiase ou bilharziose est une maladie à transmission vectorielle provoquée par l'infestation du système veineux intestinal ou urinaire par des trématodes du genre *Schistosoma*. La schistosomiase touche 200 millions de personnes dans le monde, principalement en Afrique subsaharienne, parmi lesquelles 20 millions souffriront de séquelles graves (OMS, 2001). L'incidence de cette maladie ayant augmenté avec la construction

de réservoirs et la mise en place de schémas d'irrigation, il convient d'envisager aussi le rôle potentiel de l'aquaculture alimentée par des rejets dans sa transmission. La relation entre schistosomiase et aquaculture a été étudiée antérieurement par McCullough (1990) et Edwards (1992). Bien que la majorité des cas de schistosomiase se déclarent en Afrique subsaharienne, où l'aquaculture alimentée par des rejets est très peu développée, il existe encore des poches de schistosomiase dans certaines parties de l'Asie où ce type d'aquaculture est pratiqué, et des précautions doivent donc être prises pour que cette activité n'amplifie pas la transmission de la schistosomiase dans ces zones.

L'homme est l'hôte définitif dans le cycle de la schistosomiase. Les êtres humains infestés rejettent les œufs du parasite dans l'environnement par l'intermédiaire des fèces ou des urines. Ces œufs éclosent pour donner des miracides, qui infestent des mollusques d'eau douce. Ces miracides atteignent la maturité et se reproduisent de manière asexuée dans les mollusques pour devenir des cercaires, qui à leur tour sont libérées par les mollusques et infestent, par pénétration à travers la peau, des êtres humains entrés dans l'eau à des fins domestiques, professionnelles ou récréatives. Ces œufs provoquent des lésions dans divers organes, notamment la vessie et le foie.

Parmi les stratégies de prise en charge de la schistosomiase, on peut mentionner la lutte contre les mollusques hôtes intermédiaires, dont il faut connaître la taxonomie, la distribution et l'écologie (voir Encadré 5.3). Toutes les zones n'hébergent pas des mollusques hôtes intermédiaires, notamment l'Asie qui présente une distribution nettement plus localisée de la schistosomiase que l'Afrique et les Amériques. Plusieurs espèces de mollusques servant d'hôtes intermédiaires pour la schistosomiase prospèrent dans les eaux dormantes ou peut agitées renfermant une certaine pollution fécale et peuvent se développer dans les bassins alimentés par des rejets, notamment en présence de végétation, car ces animaux préfèrent se déplacer à la surface des plantes. La modification de leur habitat a été un outil majeur pour les programmes nationaux de lutte contre la schistosomiase menés au Japon, où *S. japonicum* a été éradiqué, et en Chine, où la morbidité due à *Schistosoma* a été réduite à des niveaux très bas (McCullough, 1990).

Outre la lutte environnementale contre les mollusques hôtes précédemment exposée, on dispose également de moyens chimiques et biologiques. Des molluscicides ont été employés pour réduire la transmission de la schistosomiase dans de petites étendues d'eau, y compris des bassins, mais la plupart de ces produits sont toxiques pour les poissons, ce qui s'oppose à leur utilisation dans les endroits où l'on pratique l'aquaculture. La lutte biologique contre les mollusques hôtes intermédiaires par le biais des

Encadré 5.3 Réduction de la schistosomiase en Chine

La Chine a réussi à ramener le nombre de cas de schistosomiase de 10 millions en 1955 à moins d'un million en 1996. Au cours de cette même période, la production aquacole a très fortement augmenté. La stratégie chinoise pour faire reculer la schistosomiase était axée sur la chimiothérapie à grande échelle et sur la lutte contre les mollusques à l'aide de molluscicides et par des modifications de l'environnement. Des efforts concertés ont été engagés pour réduire l'habitat de ces mollusques dans les zones d'endémie en drainant les rivières et les marécages. L'expérience chinoise montre qu'il est possible de réduire l'incidence de la schistosomiase dans les régions d'endémie tout en développant simultanément la production aquacole.

Source: Hotez et al. (1997).

poissons qui les consomment a fait l'objet de recherches, mais celles-ci ont rarement abouti à une élimination complète de ces mollusques. En Afrique, on a étudié la possibilité d'utiliser des écrevisses pour manger les mollusques hôtes. Des expériences réalisées au Kenya ont montré que les écrevisses éliminent rapidement les mollusques jouant le rôle d'hôtes intermédiaires lorsqu'on les introduit dans des bassins où ces mollusques sont présents (Mkoji et al., 1992). On ne doit introduire des écrevisses ou d'autres espèces non indigènes dans une région que dans les zones où elles sont déjà présentes pour éviter d'éventuelles perturbations de l'écosystème.

6

SURVEILLANCE ET ÉVALUATION DU SYSTÈME

La surveillance a trois objectifs différents : la validation, par laquelle on prouve que le système est en mesure de répondre aux exigences de conception ; la surveillance opérationnelle, qui fournit des informations sur le fonctionnement des différentes composantes des mesures de protection sanitaire à l'appui de la gestion sur le terrain ; et la vérification, qui intervient habituellement en fin de procédé pour s'assurer que le système remplit les objectifs fixés.

Le moyen le plus efficace de s'assurer régulièrement de l'absence de risque de l'aquaculture alimentée par des rejets est de réaliser une évaluation des risques complète et d'appliquer une démarche de gestion des risques couvrant toutes les étapes de cette aquaculture, de la génération et de l'utilisation des eaux usées et des excréta à la consommation des produits. Cette approche est bien décrite dans le Cadre de Stockholm (voir chapitre 2). L'évaluation des systèmes et ses composantes sont traitées dans la partie 6.3.

6.1 Surveillance

La combinaison de mesures de protection sanitaire adoptée pour un schéma particulier d'aquaculture alimentée par des rejets est un système nécessitant une surveillance régulière pour s'assurer qu'il continue de fonctionner efficacement. Toutefois, la surveillance, comprise comme l'observation, l'inspection et la collecte d'échantillons pour analyse, n'est pas suffisante en soi. Des dispositions institutionnelles doivent être prises pour que les données recueillies fournissent un retour d'information aux personnes chargées de mettre en œuvre les mesures de protection sanitaire. En d'autres termes, il faut répondre par avance aux questions suivantes :

- 1) Quelles données de surveillance seront collectées ?
- 2) À quelle fréquence ces données de surveillance seront-elles collectées, et par qui ?
- 3) À qui ces données seront-elles soumises ?
- 4) Quelles décisions prendra-t-on sur la base de ces données ?
- 5) Quels instruments devront être en place pour garantir la mise en œuvre de ces décisions ?

Pour répondre à la question 4, il faut disposer d'une série de recommandations ou de normes auxquelles on confrontera les résultats de la surveillance. Deux types de réponses peuvent être apportés à la question 5. Dans le premier cas, où la surveillance est opérée par une agence d'exploitation, les personnes interprétant les données de surveillance peuvent simplement donner des ordres à leurs subordonnés pour prendre toute mesure corrective éventuellement nécessaire. Dans le deuxième cas, où la surveillance est effectuée par une entité relevant du pouvoir exécutif (ministère de la santé, par exemple), celle-ci doit posséder des pouvoirs juridiques pour faire appliquer les normes de qualité et d'autres législations. Pour obtenir un système complet de surveillance et de contrôle, il faut donc disposer :

- de directives ou de normes ;
- d'une surveillance pour évaluer leur application ;
- de dispositions institutionnelles permettant d'assurer un retour d'information et/ou de faire appliquer ces directives ou ces normes.

Il convient de définir clairement les responsabilités concernant la surveillance des mesures de protection sanitaire.

6.2 Fonctions de la surveillance

Les trois fonctions de la surveillance sont utilisées chacune à des fins et à des moments différents (voir Tableau 6.1). La surveillance opérationnelle est pratiquée en routine pour savoir si les procédés fonctionnent conformément aux attentes. Ce type de surveillance repose sur des mesures simples pouvant souvent être relevées en temps réel, d'où la possibilité de prendre rapidement des décisions pour remédier à un éventuel problème. La validation est effectuée au départ, lors du développement d'un nouveau système ou de l'adjonction de nouveaux procédés. Elle sert à vérifier ou à prouver que le système est en mesure de remplir les objectifs fixés. La vérification est utilisée pour montrer que le produit final (eaux usées ou excréta traités, plantes ou poissons, par exemple) remplit les objectifs en matière de traitement (spécifications portant sur la qualité microbiologique, absence de métacercaire infectieuse dans la chair de poisson, par exemple) et, en fin de compte, les objectifs liés à la santé (absence de trématodose dans la population exposée aux activités aquacoles utilisant des rejets, par exemple). Les informations provenant de la surveillance/vérification peuvent arriver trop tard pour que le gestionnaire soit en mesure d'arrêter des décisions permettant de prévenir la survenue d'un danger. Cependant, la surveillance/vérification peut indiquer des tendances au cours du temps (par exemple si l'efficacité d'un procédé va en s'améliorant ou en se dégradant).

6.3 Évaluation du système

La première étape dans le développement d'un système de gestion des risques consiste à mettre sur pied une équipe multidisciplinaire d'experts ayant une connaissance approfondie de l'aquaculture alimentée par des rejets. Typiquement, une telle équipe comprend des experts en aquaculture, des ingénieurs, des spécialistes de la qualité de l'eau, des spécialistes de la santé environnementale, des autorités de santé publique et des experts de la sécurité sanitaire des aliments. Dans la plupart des contextes, cette équipe comprend aussi des membres de plusieurs institutions et doit inclure notamment certains membres indépendants, comme des universités.

La gestion efficace d'un système aquacole alimenté par des rejets requiert une connaissance approfondie de ce système, de la plage de variation et de l'ampleur des dangers qu'il peut comporter et de la capacité des infrastructures et des procédés existants à gérer les risques effectifs et potentiels. Elle nécessite aussi une évaluation des moyens pour atteindre les objectifs. Lorsqu'on prévoit un nouveau système ou la modernisation

Tableau 6.1 Définition des fonctions de surveillance

Fonction	Définition
Validation	Obtenir des preuves de l'aptitude des mesures appliquées pour lutter contre les dangers à remplir les objectifs (de la capacité du type de traitement des excréta sélectionné à inactiver les œufs de trématodes, par exemple).
Surveillance opérationnelle	Réaliser une séquence planifiée d'observations ou de mesures des paramètres de contrôle pour évaluer si une mesure de limitation de l'exposition opère à l'intérieur des spécifications de dimensionnement (turbidité en sortie du traitement des eaux usées, par exemple).
Vérification	Appliquer des méthodes, des procédures, des tests ou d'autres évaluations, en plus de celles ou de ceux mis en œuvre dans la surveillance opérationnelle, pour évaluer la conformité avec les paramètres de dimensionnement du système et/ou vérifier le respect d'exigences spécifiées (aucun œuf de trématode viable détecté, absence de métacercaires infectieuses dans la chair de poisson, par exemple)

Source: Adapté de NRMCC/EPHCA (2005).

d'un système existant, la première étape dans le développement d'un plan de gestion des risques consiste à collecter et à évaluer toutes les informations pertinentes disponibles et à étudier les risques que l'on peut rencontrer dans l'ensemble du procédé de production aquacole alimenté par des rejets. La Figure 6.1 illustre le développement d'un plan de gestion des risques.

L'évaluation d'un système d'aquaculture alimenté par des rejets est facilitée par l'établissement d'un schéma de circulation des flux. Un tel schéma fournit une vue d'en-

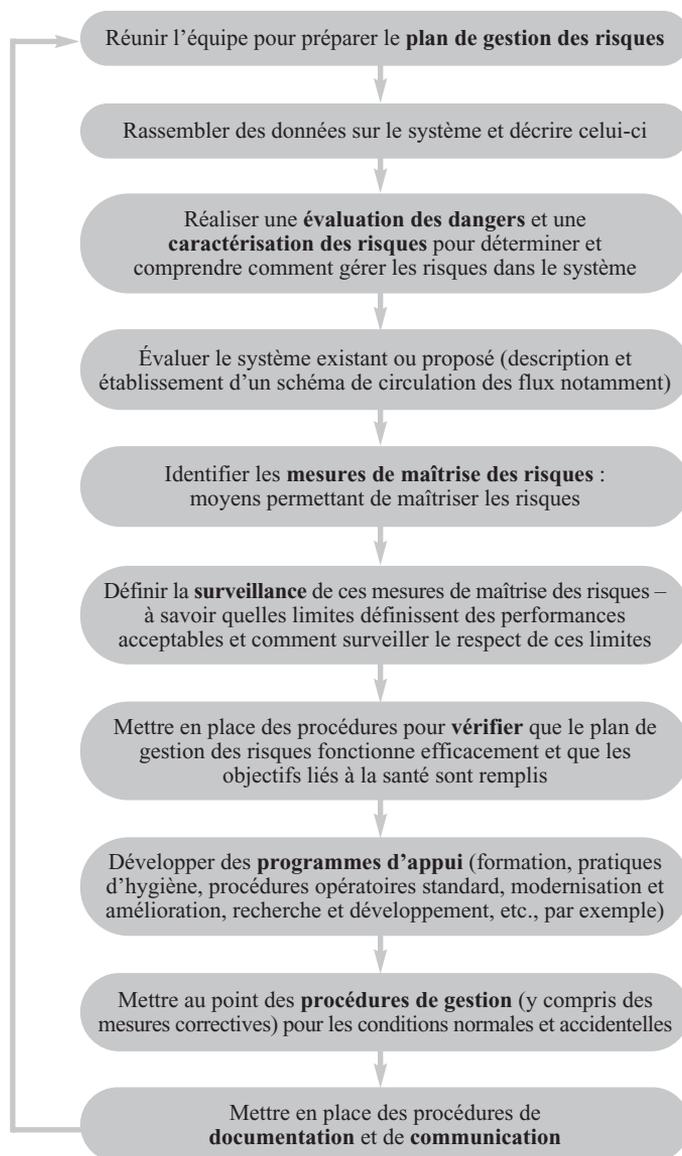


Figure 6.1

Mise au point d'un plan de gestion des risques (OMS, 2004a)

semble du système, permettant notamment d'identifier les sources de dangers et les mesures de protection sanitaire. Il importe que la représentation du système aquacole alimenté par des rejets soit exacte dans son principe. Si le schéma de circulation des flux est inexact, des dangers potentiels importants risquent de passer inaperçus. Pour s'assurer de l'exactitude de ce schéma, il convient de le valider en le comparant visuellement aux caractéristiques observées sur le terrain. Le Tableau 6.2 présente les dangers potentiels et les mesures de maîtrise des risques correspondantes en différents points du système.

Les données relatives à l'occurrence des dangers dans le système, combinées aux informations concernant l'efficacité des contrôles existants, permettent d'évaluer si les objectifs liés à la santé sont réalisables avec les mesures de protection sanitaire existantes. Elles aident aussi à identifier les mesures de protection sanitaire dont on peut attendre raisonnablement qu'elles permettent d'atteindre ces objectifs si des améliorations sont nécessaires.

Pour s'assurer de la justesse de cette évaluation, il est essentiel que tous les éléments du système aquacole alimenté par des rejets soient considérés simultanément et que les interactions et les influences entre ces éléments, ainsi que leurs effets globaux, soient pris en compte.

6.4 Validation

La validation s'efforce d'obtenir des preuves concernant les performances des mesures de limitation de l'exposition, prises séparément et collectivement. Elle doit s'assurer que le système est capable de remplir les objectifs liés à la santé spécifiés. Elle est utilisée pour vérifier ou prouver le respect de critères de dimensionnement. Elle doit être réalisée avant qu'un nouveau procédé de gestion des risques soit mis en place (pour le traitement des eaux usées et des excréta, la dépuration, la transformation des aliments pour éliminer les métacercaires, etc., par exemple), lors de la modernisation d'un équipement (nouveau type de toilettes, par exemple) ou lors de l'adjonction d'équipements ou de procédés nouveaux (addition de chaux dans les excréta, par exemple). Elle peut aussi servir à tester différentes combinaisons de procédés afin de maximiser l'efficacité du procédé global. Elle peut être menée à l'échelle de l'installation ou à une échelle de test. Dans le cadre de la validation d'un bassin de stabilisation, par exemple, un essai utilisant un colorant peut confirmer que le temps de séjour de dimensionnement est obtenu dans la pratique. La validation d'un système de traitement/stockage sur site des excréta peut fournir des données sur le dépérissement des œufs de trématodes dans différentes conditions (température, taux d'humidité après l'addition de chaux, etc., par exemple).

La première étape de la validation consiste à examiner les données déjà existantes. Il s'agit notamment de données provenant de la littérature scientifique, des associations professionnelles, des ministères chargés de la réglementation et de la législation et des organismes professionnels, ainsi que de données historiques et d'informations fournies par les fabricants. Ces données serviront de base à la formulation des exigences à remplir dans le cadre des tests. La seconde étape de la validation vise à évaluer en laboratoire ou à l'échelle pilote des composantes ou l'ensemble du système dans des conditions proches de celles rencontrées sur le site réel. Le système doit être validé pour les différents types de situation qui peuvent se présenter (saison chaude/saison froide, par exemple; saison sèche/saison humide; hiver, printemps, été, automne). La validation ne sert pas à la gestion au jour le jour du traitement et de l'utilisation des eaux usées ou des excréta; par conséquent, elle peut faire appel à des paramètres ne se prêtant pas à la surveillance opérationnelle, pour lesquels le délai d'attente des résultats et les coûts afférant aux mesures supplémentaires sont souvent acceptables (OMS, 2004a).

Tableau 6.2 Composants des systèmes aquacoles alimentés par des rejets et mesures de protection sanitaire

Composant du système	Mesure de protection sanitaire
Eau → étendue d'eau	Traitement de l'eau Mise à disposition d'installations d'assainissement à proximité des systèmes aquacoles
Étendue d'eau → poissons, plantes aquatiques	Épandage de l'eau, fréquence et calendrier
Étendue d'eau → êtres humains (y compris les bassins aquacoles)	Équipements de protection (gants, chaussures, par exemple) Accès interdit aux enfants et aux animaux (clôtures et panneaux, par exemple) Bonne hygiène personnelle et domestique (lavage au savon des mains et des autres parties du corps exposées en cas de contact avec de l'eau contaminée, par exemple)
Étendue d'eau → vecteurs de maladie/hôtes intermédiaires	Lutte biologique, chimique et physique contre les vecteurs de maladie et les hôtes intermédiaires (élimination de la végétation à proximité des bassins, maîtrise des populations de mollusques, introduction de prédateurs des larves de moustiques, par exemple)
Vecteurs de maladie/hôtes intermédiaires → Eau, poissons, plantes aquatiques	Lutte biologique, chimique et physique contre les vecteurs de maladie et les hôtes intermédiaires (élimination de la végétation à proximité des bassins, maîtrise des populations de mollusques, introduction de prédateurs des larves de moustiques, par exemple)
Vecteurs de maladie/hôtes intermédiaires → êtres humains	Prévention des contacts avec les vecteurs (moustiquaires, grillage aux fenêtres, répulsifs chimiques, vêtements appropriés, par exemple) Dans le cas de la schistosomiase, prévenir les contacts avec l'eau contaminée
Poissons, plantes aquatiques → êtres humains	Dépuration (efficace pour certains agents pathogènes lorsque la contamination est faible) Restrictions portant sur les produits (élevage de poissons/culture de plantes non destinés à la consommation humaine) Amélioration des techniques de récolte des plantes pour réduire/prévenir les contacts avec l'eau contenant des rejets Équipements de protection Hygiène personnelle/domestique Hygiène alimentaire (éviter les contaminations croisées entre le contenu des viscères des poissons et les muscles ou entre les plantes et d'autres denrées alimentaires) Cuisson complète des aliments avant leur consommation Inspection des poissons et des plantes à la recherche de métacercaires de trématodes
Êtres humains → infection/maladie	Vaccination Chimioprophylaxie
Infection/maladie	Chimiothérapie

6.5 Surveillance opérationnelle

Les mesures de limitation de l'exposition sont des actions mises en œuvre dans le système pour prévenir, réduire ou éliminer la contamination et sont identifiées lors de l'évaluation du système. Elles comprennent, par exemple, les systèmes de bassins, les installations de traitement/stockage sur site des excreta, les techniques d'épandage des rejets, le port de vêtements de protection, les conditions sanitaires sur les marchés ainsi que la manipulation et la transformation des poissons dans le respect des règles d'hygiène. Leur application collective correcte devrait garantir la réalisation des objectifs liés à la santé.

La surveillance opérationnelle consiste à pratiquer des observations et des mesures planifiées pour évaluer si les mesures de limitation de l'exposition appliquées dans un système utilisant des eaux usées ou des excreta fonctionnent correctement. Il est possible de fixer des limites correspondant à ces mesures, de surveiller le respect de ces limites et de prendre éventuellement des actions correctives en réponse à la détection d'un écart avant que la contamination ne traverse le système. Les limites peuvent porter par exemple sur la teneur en matières solides totales en suspension qui indique la quantité de matières particulaires pouvant être associée aux agents pathogènes, sur la durée du stockage dans les systèmes de traitement sur site des excreta, sur la présence de plantes aquatiques dans les bassins d'aquaculture alimentée par des rejets (offrant un habitat aux mollusques hôtes intermédiaires des trématodes) et sur celle de mollusques convenant comme hôtes intermédiaires pour la reproduction des trématodes. La surveillance opérationnelle doit s'effectuer autour des paramètres du système reflétant les possibilités d'augmentation du risque de survenue d'un danger. Elle est facilitée par des observations et des mesures simples pouvant être réalisées rapidement. Par exemple, la présence de végétation émergente dans un bassin piscicole peut faciliter la reproduction de vecteurs de maladies, ce qui est vérifiable rapidement par des examens visuels périodiques. La végétation trouvée lors de ces inspections peut être éliminée pour réduire les risques associés. Le Tableau 6.3 présente des exemples de paramètres pouvant être surveillés.

La fréquence à laquelle doit s'effectuer la surveillance opérationnelle dépend de la nature des mesures de maîtrise des risques ; les contrôles d'intégrité des infrastructures physiques, par exemple (végétation sur le bord des bassins alimentés par des rejets notamment), peuvent être pratiqués mensuellement ou moins fréquemment, tandis que la surveillance de la turbidité dans une installation de boues activées peut s'opérer en temps réel. Si la surveillance fait apparaître que les spécifications ne sont pas respectées, il existe une possibilité qu'un danger se réalise. Le temps nécessaire pour corriger une action doit conditionner la fréquence de la surveillance opérationnelle. Dans le cas des systèmes de bassins de stabilisation associés à une activité aquacole, par exemple, la surveillance opérationnelle des divers paramètres (voir Tableau 6.3) pourrait s'effectuer à intervalles réguliers de plusieurs semaines ou plus, car le temps de séjour est souvent long (12 à 20 jours, par exemple). Avec des systèmes de traitement des eaux usées caractérisés par des temps de séjour beaucoup plus courts (boues activées, par exemple), la surveillance opérationnelle de paramètres comme la turbidité peut s'opérer en ligne et en temps réel. Pour le traitement des excreta, la durée de stockage et la température peuvent être surveillées en tant qu'indicateurs de l'inactivation des agents pathogènes.

Divers paramètres physico-chimiques doivent être suivis à intervalles réguliers pour vérifier les performances du système de traitement des rejets. La demande biochimique en oxygène à cinq jours, la demande chimique en oxygène, les matières solides totales en suspension, les matières solides totales dissoutes, le pH, la température, la durée de l'exposition, l'azote total et le phosphore total sont des exemples de paramètres chimiques surveillés dans le cadre de la vérification. Pour la plupart de ces paramètres, l'objectif

Tableau 6.3 Paramètres de validation, de surveillance opérationnelle et de surveillance/vérification pour différentes mesures de maîtrise des risques

Mesures de maîtrise des risques	Exigences pour la validation	Paramètres de surveillance opérationnelle	Paramètres de surveillance/ vérification
Traitement des eaux usées et des excréta	Efficacité des procédés de traitement en termes d'inactivation/d'élimination des agents pathogènes et des organismes indicateurs (<i>E. coli</i> , œufs de trématodes, autres helminthes, <i>Ascaris</i> , par exemple) Dimensionnement du système (temps de séjour, courts-circuits dans le bassin de stabilisation révélés par des tests de coloration, par exemple) Procédures analytiques pour détecter les indicateurs et/ou les agents pathogènes (y compris la mesure de leur viabilité) Efficacité du traitement dans l'élimination des produits chimiques toxiques localement importants Procédures analytiques et capacités de détection des produits chimiques dans les eaux usées, les excréta ou l'eau des bassins	<p><i>Systèmes biologiques bas débit :</i></p> <p>Débits</p> <p>DBO (les débits de charge peuvent devoir varier pendant les périodes plus froides)</p> <p>Concentrations d'algues et types d'espèces</p> <p>Oxygène dissous à différentes profondeurs des bassins (bassins facultatifs et de maturation)</p> <p>Ammoniac-azote total</p> <p><i>Procédés haut débit :</i></p> <p>DBO</p> <p>Turbidité</p> <p>pH</p> <p>Carbone organique</p> <p>Dénombrement des particules</p> <p>Intégrité des membranes (pression d'épreuve)</p> <p>Chlore résiduel</p> <p>Programmes locaux en cours de mise en œuvre</p> <p>Matériel de promotion disponible</p> <p>Intégration de la promotion dans les programmes d'enseignement</p>	<p><i>E. coli</i></p> <p>œufs de trématodes viables (y compris <i>Schistosoma</i> spp., le cas échéant)</p> <p>œufs d'helminthes (<i>Ascaris</i>)</p> <p>Produits chimiques toxiques localement importants</p> <p>Sensibilisation aux problèmes de santé et d'hygiène de groupes clés parmi les parties prenantes</p> <p>Amélioration des pratiques</p>
Promotion de la santé et de l'hygiène	Test du matériel de promotion avec des groupes de parties prenantes convenablement choisis		

Tableau 6.3 (suite)

Mesures de maîtrise des risques	Exigences pour la validation	Paramètres de surveillance opérationnelle	Paramètres de surveillance/vérification
Chimiothérapie et vaccination ^a	Efficacité de différents vaccins/médicaments dans la prévention ou le traitement d'infections localement importantes	Nombre de personnes vaccinées/traitées Ciblage des villages/écoles situés à proximité des installations aquacoles alimentées par des rejets Fréquence des campagnes	Réduction de la prévalence et de l'intensité des infections Baisse du nombre de flambées épidémiques dans les zones visées
Restrictions portant sur les produits	Enquêtes auprès des consommateurs de produits pour déterminer quelles espèces sont toujours consommées après une cuisson complète Étude des possibilités de commercialisation des différentes espèces/cultures Viabilité économique de l'élevage ou de la culture de produits non destinés à la consommation humaine	Types de poissons élevés ou de plantes cultivées dans les installations aquacoles alimentées par des rejets	Analyse de l'eau des bassins pour s'assurer que les plantes ou les poissons consommés crus sont conformes aux exigences de qualité microbiologique fixées par l'OMS
Épandage des rejets/chronologie d'épandage	Évaluer par des tests, pour différentes conditions climatiques et différents agents pathogènes/indicateurs, le temps à ménager entre l'épandage des rejets et la récolte des poissons ou des plantes afin de garantir une contamination minimale	Surveiller la chronologie de l'épandage des rejets et de la récolte	Surveiller la qualité de l'eau des bassins

<p>Dépuración, manipulación et préparation des aliments, lavage et désinfection des produits, transformation et cuisson des aliments</p>	<p>Rechercher les méthodes les plus efficaces pour réduire ou prévenir la contamination croisée et pour inactiver les agents pathogènes</p> <p>Tester le matériel de formation auprès de parties prenantes appropriées</p>	<p>Inspection par les autorités de sécurité sanitaire des aliments pour s'assurer de l'application de procédures correctes sur les marchés ou dans les restaurants où l'on prépare les produits</p>	<p>Analyses microbiennes périodiques pour contrôler l'hygiène des espaces de préparation des aliments sur les marchés et dans les restaurants, analyse des produits pour déterminer où s'opère la contamination</p>
<p>Contrôle des accès, port d'équipements de protection individuelle</p>	<p>Contrôler l'efficacité des mesures de contrôle des accès dans la prévention de l'exposition du public aux eaux usées et aux excréta</p> <p>Identifier les équipements de protection individuelle disponibles à faible coût que porteront les travailleurs</p> <p>Contrôler l'efficacité de ces équipements dans la prévention de l'exposition aux dangers</p>	<p>Inspection visuelle de l'installation aquacole pour vérifier la présence de panneaux de mise en garde, de clôtures, etc.</p> <p>Inspection visuelle des travailleurs pour s'assurer qu'ils portent des vêtements de protection individuelle appropriés</p>	<p>Surveillance de la santé des travailleurs pour documenter la diminution des maladies cutanées, de la schistosomiase (le cas échéant) et des ankylostomiases</p>
<p>Lutte contre les hôtes intermédiaires et les vecteurs</p>	<p>Tester le système pour évaluer son effet sur la reproduction des insectes vecteurs et/ou sur la survie et le développement des espèces de mollusques concernées</p> <p>Tester les mesures de maîtrise des risques telles que la réduction de la végétation émergente et les mesures biologiques telles que l'introduction de poissons consommant les larves de moustiques</p>	<p>Inspection visuelle des installations pour surveiller la croissance végétale dans les bassins et à leur voisinage</p> <p>Inspection de l'eau à la recherche des larves d'insectes ou des mollusques hôtes intermédiaires concernés</p>	<p>Surveillance sanitaire pour réunir des informations sur les maladies à transmission vectorielle ou sur la schistosomiase chez les travailleurs et sur les trématodoses transmises par les aliments chez les consommateurs de produits</p>

^a La vaccination, la chimioprophylaxie et la chimiothérapie sont considérées comme complémentaires des mesures de protection sanitaire et ne doivent pas être utilisées à la place d'autres mesures de protection sanitaire telles que le traitement des eaux usées ou des excréta.

de la surveillance est de prévenir l'impact sur l'environnement du rejet d'eaux usées et de satisfaire les exigences réglementaires portant sur la qualité des matières rejetées. Néanmoins, certains d'entre eux peuvent servir de valeurs approximatives pour évaluer la présence de substances dangereuses. Jiménez et Chávez (1998), par exemple, ont relevé une corrélation directe entre les matières en suspension totales et les concentrations d'helminthes intestinaux. Il est plus facile de mesurer les matières solides totales que de déterminer directement la concentration d'œufs d'helminthes, opération qui nécessite l'intervention d'un technicien formé en parasitologie et des installations de laboratoire appropriées.

Si l'on suspecte la présence à un niveau quantitatif de rejets industriels dans les eaux usées, une surveillance périodique des eaux usées à la recherche de métaux lourds et d'hydrocarbures chlorés peut se justifier. De même, si l'aquaculture porte sur des espèces particulièrement sensibles (poissons, par exemple), il sera nécessaire de surveiller les produits chimiques susceptibles de toxicité.

Dans la plupart des cas, la surveillance opérationnelle repose sur des observations ou des tests simples et rapides, tels que la mesure de la turbidité ou le contrôle de l'intégrité structurale, plutôt que sur des analyses microbiennes ou chimiques complexes. Les analyses plus compliquées sont généralement effectuées dans le cadre des activités de validation et de vérification plutôt que dans celui de la surveillance opérationnelle.

La surveillance doit être menée de manière à fournir des informations valables sur le plan statistique (duplication des échantillons, par exemple), a pour objectif de maîtriser les dangers les plus graves et peut apporter des informations pour étayer les modifications apportées aux mesures de protection sanitaire. Un programme de surveillance doit être conçu pour être applicable avec les moyens techniques et financiers disponibles, quelle que soit la situation. L'objectif est de suivre en temps utile les mesures de maîtrise des risques à l'aide d'un plan d'échantillonnage logique afin de limiter le plus possible les impacts négatifs sur la santé publique (OMS, 2004a).

6.6 Surveillance/vérification

La vérification consiste à utiliser des méthodes, des procédures ou des tests, en plus de celles ou de ceux mis en œuvre dans la surveillance opérationnelle, pour déterminer si les performances du système d'utilisation des eaux usées/excreta sont conformes aux objectifs déclarés qui s'expriment à travers les objectifs liés à la santé, et/ou si le système doit subir des modifications ou une nouvelle validation.

En ce qui concerne les objectifs de réduction microbienne, il y a de fortes chances que la vérification implique des analyses microbiologiques. Dans la plupart des cas, elle inclut l'analyse de micro-organismes indicateurs fécaux et, dans certaines circonstances, elle couvre également l'évaluation des densités de certains agents pathogènes (œufs d'*Ascaris* et œufs de trématodes viables, par exemple). La vérification de la qualité microbiologique des eaux usées et des excreta peut être effectuée par des agences de santé publique locales.

Dans le cadre des procédures de vérification, on effectue notamment l'analyse des eaux usées ou des excreta après leur traitement ou à leur point d'épandage ou d'utilisation. La vérification de la qualité microbiologique de ces rejets comprend souvent la recherche d'*E. coli* ou de coliformes thermotolérants. Bien qu'*E. coli* soit un indicateur précieux, son utilité a des limites; l'absence de cette bactérie n'indique pas nécessairement celle d'autres agents pathogènes. Dans certaines circonstances, il peut être souhaitable de sélectionner d'autres micro-organismes résistants tels qu'*Ascaris* ou des bactériophages (virus infectant des bactéries) comme indicateurs d'autres groupes microbiens.

6.7 Systèmes à petite échelle

La validation, la surveillance opérationnelle et la surveillance/vérification sont des étapes importantes pour identifier et éventuellement atténuer les problèmes de santé publique parfois associés à l'aquaculture alimentée par des rejets. Cependant, ce type d'aquaculture peut être difficile à surveiller car il s'agit la plupart du temps d'une activité de subsistance, avec de petites unités réparties en de nombreux endroits. En outre, l'aquaculture alimentée par des rejets se pratique pour une grande part de manière informelle et indirecte (activités aquacoles exercées dans des eaux de surface contaminées par des matières fécales, par exemple), ce qui la rend plus délicate à planifier et à maîtriser. Les gouvernements et les autorités locales en particulier devront donc développer des moyens pour aider les petits systèmes à renforcer leurs capacités de prise en charge des tâches de surveillance en vue de répondre aux problèmes de santé publique locaux les plus criants et tenir compte des disponibilités locales en matière de personnel qualifié et d'accès à des installations de laboratoire.

Lorsque l'aquaculture alimentée par des rejets fait intervenir un grand nombre de bassins à l'échelle des ménages, les autorités nationales de santé publique ou de sécurité sanitaire des aliments peuvent choisir de valider des mesures de protection sanitaire au niveau d'un site de recherche central, puis de diffuser les informations aux acteurs pertinents (en formulant des recommandations, en faisant appel à des agents de santé de proximité ou à du personnel d'encadrement en aquaculture, ou encore en organisant des ateliers à l'intention des acteurs locaux).

La surveillance opérationnelle doit comporter principalement des inspections visuelles et des audits de sécurité ne nécessitant pas d'analyses de laboratoire difficiles ou coûteuses. Par exemple, l'examen visuel d'une installation permet de savoir si des latrines sont vidangées directement dans un bassin piscicole ou s'il existe une végétation émergente qui faciliterait la reproduction de vecteurs ou d'hôtes intermédiaires. De même, il est possible de réaliser un examen visuel rapide des marchés alimentaires pour repérer les opérations de nettoyage ou de préparation des poissons comportant des risques. Les autorités locales sauront quelles espèces de poissons ou de plantes sont fréquemment consommées crues et seront donc à même d'identifier ces espèces dans les installations où les mesures pour maîtriser les risques n'atteignent pas leur objectif.

La surveillance/vérification peut être plus facile à mener en un point central (marché au poisson, par exemple). Dans les zones où les trématodoses sont courantes, la chair de poisson et les plantes aquatiques peuvent être inspectées périodiquement à la recherche de métacercaires infectieuses. Cette recherche nécessite du personnel formé et un microscope mais n'exige pas de réactifs coûteux et reste relativement simple. Il convient d'utiliser les données provenant de la surveillance sanitaire des trématodoses d'origine alimentaire, de la schistosomiase, des helminthiases intestinales et d'autres maladies localement importantes pour ajuster les mesures de protection sanitaire en cas de besoin.

6.8 Autres types de surveillance

6.8.1 Inspection des aliments

Il convient de contrôler périodiquement par des analyses la contamination microbienne et chimique des produits de l'aquaculture alimentée par des rejets. On recherchera dans ces produits la présence d'*E. coli* et de coliformes thermotolérants ainsi que d'autres contaminants microbiens comme les métacercaires de trématodes, le cas échéant. Il convient également de déterminer les concentrations de métaux lourds pouvant présenter un risque sanitaire (cadmium et plomb, par exemple) pour s'assurer qu'elles demeurent

dans les limites de sécurité spécifiées par la Commission du Codex Alimentarius (voir chapitre 4).

Il est souvent utile d'analyser les produits à différents stades, c'est-à-dire immédiatement après la récolte, après transport jusqu'au marché, après transformation sur le marché ou à domicile et au point de consommation (après cuisson ou à l'état cru si les produits sont destinés à être consommés sous cette forme, par exemple). Ce type de surveillance peut indiquer les points où se produit la contamination. Ainsi, des expériences menées au Viet Nam ont révélé que la contamination de la chair de poisson intervenait majoritairement après la récolte, au cours de la transformation, et que, par conséquent, les mesures de protection sanitaire ciblant cette transformation auraient plus d'impact que le traitement des eaux usées, à un degré plus poussé par exemple (Lan et al., sous presse).

6.8.2 Surveillance sanitaire

La mesure directe d'événements sanitaires spécifiques (trématodoses, qu'ils s'agisse d'infestations d'origine alimentaire ou d'une schistosomiase, helminthiases intestinales ou maladies à transmission vectorielle telles que la filariose, par exemple) est possible et doit être réalisée périodiquement dans les populations exposées. Cette mesure est évoquée dans le chapitre 2 du Cadre de Stockholm.

ASPECTS SOCIOCULTURELS, ENVIRONNEMENTAUX ET ÉCONOMIQUES

Le présent chapitre fournit des informations sur les aspects socioculturels, environnementaux et économiques liés à l'aquaculture alimentée par des rejets. Ces aspects doivent être pris en compte dans la mise au point des mesures de protection sanitaire. Ces questions sont traitées de manière plus poussée dans le Volume II : *Utilisation des eaux usées en agriculture*, et dans le Volume IV : *Utilisation des excreta et des eaux ménagères en agriculture*.

7.1 Aspects socioculturels

Les schémas comportementaux humains sont des déterminants clés dans la transmission des maladies liées aux excreta. La faisabilité sur le plan social de modifier certains schémas comportementaux afin d'introduire un nouveau schéma d'utilisation des eaux usées ou de réduire la transmission des maladies dans le cadre de schémas existants ne peut être évaluée qu'en connaissant au préalable les valeurs culturelles attachées à ces pratiques qui semblent privilégiées par la société mais facilitent la transmission des maladies. Les croyances culturelles varient si fortement entre les différentes parties du monde qu'il est impossible de supposer qu'on puisse transposer facilement ailleurs une pratique liée à l'utilisation des excreta ou des eaux usées que l'on a réussi à faire évoluer en un endroit donné ; une évaluation approfondie du contexte socioculturel local est toujours nécessaire (Cross, 1985). Cependant, il semble exister une corrélation positive entre l'occurrence d'une utilisation traditionnelle des déchets dans certaines sociétés et la densité démographique de ces sociétés, corrélation que l'on a désignée par « l'impératif nutritionnel ». Les sociétés qui utilisent des excreta ou qui en ont utilisé dans un passé récent en agriculture ou en aquaculture sont aussi les plus densément peuplées : Europe, Inde, Chine et Asie du Sud-Est (Edwards, 1992).

On constate une association étroite entre croyances culturelles et perception par le public de l'utilisation des eaux usées et des excreta. Cette utilisation semble mieux acceptée lorsqu'elle est indirecte. Psychologiquement, il peut être plus facile d'employer de l'eau de rivière renfermant une contamination fécale en aquaculture que d'utiliser directement des eaux usées ou des excreta. L'emploi d'eaux usées ou d'excreta est aussi plus facilement accepté par le public dans les situations où l'eau est rare ou lorsque les bénéfices associés à cet emploi apparaissent de manière évidente, comme dans le cas où l'on observe une augmentation des rendements en poissons ou en plantes.

7.1.1 Perception par le public

Le maintien de bonnes relations avec le public, notamment sous l'angle de la protection de la santé des consommateurs, est très important. Le public doit avoir l'assurance que les aliments qu'il consomme ne sont en aucune manière préjudiciables à sa santé. À cet égard, les programmes de surveillance systématique des eaux usées, des excreta et de la qualité des produits revêtent une très grande importance, tout comme la démonstration de l'absence de transmission de maladies infectieuses.

La perception par le public de l'utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture peut varier considérablement d'une communauté à l'autre. Les communautés disposant de revenus élevés et n'ayant pas été en contact auparavant avec ces rejets sont souvent opposées à leur utilisation en raison des risques sanitaires, des nuisances environnementales, des problèmes d'odeur ou de la baisse de valeur des biens immobiliers que cette utilisation peut entraîner. La situation est complètement différente dans les régions pauvres où les possibilités d'emploi sont rares, lorsque l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta représente une opportunité d'amélioration de la qualité de vie à travers un

accroissement des revenus et de la sécurité alimentaire (Hussain et al., 2001). Lorsqu'une communauté ou une partie d'une grande ville s'est développée et que le statut social et économique des personnes qui la constituent s'est amélioré, la perception de l'utilisation des eaux usées et des excreta peut évoluer pour passer d'une acceptation générale à la réticence et même à l'opposition.

Il importe de reconnaître que, même dans les situations où l'on utilise des procédés avancés pour traiter les eaux usées et les excreta et où les risques sanitaires effectifs sont très faibles, une perception négative par la population peut faire échouer des projets même bien planifiés. Bridgeman (2004) a présenté un certain nombre de conclusions au vu des sentiments émis par le public lors du développement de divers projets d'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en Californie (États-Unis d'Amérique).

- La perception par le public varie selon les communautés, de sorte qu'il n'existe pas de solution unique applicable partout. Les programmes de proximité doivent s'appuyer sur une connaissance approfondie du profil de la communauté que le projet prévu doit desservir. À partir de là, il convient de mettre au point des plans d'actions adaptés aux parties prenantes.
- Il importe que la communauté et les parties prenantes participent au projet dès ses premiers stades.
- Le pouvoir de l'opinion publique concernant l'utilisation des eaux usées ne doit pas être sous-estimé.
- Une communication cohérente, claire et fiable avec la communauté est également importante. Des messages clés doivent être présentés à la communauté sous une forme compréhensible par tous ses membres.
- Les efforts en direction du public doivent être proactifs et non réactifs.
- Le succès d'un projet suppose la confiance entre les planificateurs et les bénéficiaires potentiels de ce projet.
- Les messages doivent être axés sur les bénéfices du projet.
- L'éducation des communautés bénéficiaires est essentielle pour le succès d'un projet.
- Il importe de bien organiser dans le temps la mise en œuvre du projet et de suivre de près l'opinion de la population. Les communautés peuvent être plus réceptives à l'égard d'un projet d'utilisation d'eaux usées ou d'excreta lorsqu'elles sont confrontées à une situation de sécheresse.
- Quelles que soient les justifications économiques ou scientifiques des schémas d'utilisation des eaux usées ou des excreta proposés, il peut y avoir des personnes qui, pour des raisons qui leur sont propres, n'accepteront jamais l'aquaculture alimentée par de tels rejets.
- Le programme de surveillance est un élément essentiel pour rassurer la population.

7.1.2 Utilisation des excreta

Les sociétés humaines ont opposé des réponses socioculturelles très diverses à l'utilisation d'excreta non traités, allant de l'extrême aversion à la prédilection, en passant par le rejet et l'indifférence. En Afrique, en Europe et dans les Amériques, par exemple, l'utilisation des excreta est généralement considérée avec un certain rejet ou, au mieux, avec indifférence. Cette disposition résulte du point de vue solidement ancré que les excreta, et tout particulièrement les fèces, sont des substances répugnantes qu'il est préférable de tenir éloignées de la vue et de l'odorat. Les produits fertilisés avec des excreta

bruts sont donc considérés comme altérés ou souillés dans une certaine mesure. De tels points de vue ne s'appliquent pas, ou tout au moins de manière moins rigide, au compost obtenu à partir des excreta ou aux gadoues issues des eaux usées, lesquels sont couramment utilisés en agriculture, en horticulture et dans les schémas de mise en valeur des terres.

À l'inverse, on utilise des déchets humains et animaux en agriculture et en aquaculture depuis des décennies en Chine, au Japon et dans certaines parties de l'Indonésie, par exemple. Cette pratique est en accord sur le plan social avec les traditions chinoise et japonaise de frugalité et reflète une conscience profonde de la relation de dépendance écologique et économique entre fertilité du sol et rejets humains. Dans de telles sociétés, les pratiques de culture intensive ont évolué pour répondre aux besoins alimentaires des fortes populations vivant sur des territoires où les terres disponibles sont très limitées, ce qui a imposé l'utilisation rigoureuse de toutes les ressources à la disposition des communautés, y compris les excreta. Ainsi, l'utilisation des excreta est dictée par les économies de subsistance. Mais, même dans les situations de ce type, toute tentative pour minimiser les risques sanitaires en modifiant les pratiques établies en matière d'utilisation des excreta n'aura de chance d'être socialement acceptée et de réussir que si les changements apportés sont mineurs et sans importance sur le plan social. Les efforts pour modifier des préférences sociales comme la consommation de certains plats de poisson cru lors des festivités ont plus de probabilités d'échouer.

Dans les sociétés musulmanes, le contact direct avec les excreta inspire la répugnance dans la mesure où, selon le Coran, ces déchets contiennent des matières impures (*najassa*). Leur utilisation n'est autorisée que si ces *najassa* ont été éliminées. Ainsi, l'usage agricole d'excreta non traités ne sera pas toléré et toute tentative pour modifier cette situation serait vaine. Par ailleurs, l'utilisation d'excreta ayant subi au préalable un traitement serait acceptable si ce traitement était en mesure d'éliminer les *najassa* – comme, par exemple, le compostage thermophile, qui produit une substance analogue à l'humus sans lien visuel ou olfactif avec la matière de départ. Il existe d'autres moyens pour que les *najassa* puissent être considérées comme éliminées. En Indonésie, notamment, il est acceptable de fertiliser les bassins piscicoles avec des excreta non traités car ceux-ci sont dilués par l'eau des bassins et cette eau s'écoule d'un bassin au suivant; on considère alors que cette combinaison de dilutions et d'écoulements purifie l'eau (la rend *tahur*) et que cette pratique est acceptable sur le plan religieux.

Dans de nombreux pays en développement, la tâche consistant à collecter les matières de vidange dans les villes est considérée comme un emploi de très bas statut social, de sorte qu'il devient de plus en plus difficile pour les autorités de recruter des personnes pour faire ce travail. C'est pourquoi les installations d'assainissement produisant ces matières de vidange, comme les latrines à seau, sont progressivement remplacées par des installations qui n'en produisent pas, comme les latrines à chasse d'eau manuelle. En effet, dans certains pays (l'Inde, par exemple), les gouvernements font la promotion de programmes visant à remplacer les latrines à seau par des latrines à chasse d'eau non seulement pour améliorer la santé, mais aussi pour répondre à la demande de la société d'éliminer la pratique dégradante pour des êtres humains consistant à transporter des matières de vidange (Venugopalan, 1984). Les matières de vidange ont tendance à être remplacées par des boues de latrines en tant que matière première des schémas d'utilisation des excreta. Du point de vue de la lutte contre les maladies liées aux excreta, cette évolution doit être accueillie très favorablement car elle conduit à une réduction substantielle de la charge d'agents pathogènes et par conséquent du risque sanitaire potentiel.

7.1.3 Utilisation des eaux usées

On utilise actuellement des eaux usées non traitées pour l'aquaculture dans différentes parties du monde, principalement en Asie. Même si cette pratique ne semble pas susciter de répulsion socioculturelle majeure compte tenu de sa nécessité économique, l'emploi d'eaux usées traitées soulève apparemment beaucoup moins d'objections et, d'un point de vue socio-esthétique, convient mieux pour les usages agricoles et aquacoles. Les craintes du public peuvent être dissipées par des programmes d'information bien conçus.

Dans les pays musulmans, il a été jugé que les eaux usées pouvaient servir à l'irrigation sous réserve que les impuretés (*najassa*) présentes dans les eaux usées brutes soient éliminées. Selon Farooq & Ansari (1983), il existe trois façons de transformer l'eau impure en eau pure :

- 1) l'autopurification de l'eau (élimination des impuretés par sédimentation, par exemple) ;
- 2) l'addition d'eau pure en quantité suffisante pour diluer les impuretés ;
- 3) l'élimination des impuretés avec le temps ou sous l'action d'effets physiques (lumière solaire et vent, par exemple).

La première et la troisième de ces transformations sont pratiquement similaires à celles réalisées par les procédés de traitement des eaux usées, notamment les bassins de stabilisation.

En 1978, le Conseil des Érudits musulmans responsables d'Arabie saoudite a émis une fatwa (décision légale sur un problème d'importance religieuse) concernant l'utilisation d'eaux usées dans les sociétés islamiques. Selon cette fatwa, les eaux usées impures peuvent être considérées comme des eaux pures, similaires à l'eau pure originale, si le traitement utilisant des procédures techniques avancées qui leur est appliqué est capable d'éliminer les impuretés responsables des altérations du goût, de la couleur et de l'odeur, selon les attestations d'experts honnêtes, spécialisés et bien informés. Elles peuvent alors être utilisées pour l'élimination des impuretés corporelles et la purification, voire pour la boisson. En présence d'effets négatifs sur la santé humaine résultant de leur usage direct, il est préférable d'éviter de les utiliser, non parce qu'elles sont impures, mais pour éviter de nuire aux êtres humains. Le Conseil préfère qu'on évite l'utilisation d'eaux usées pour la boisson (dans la mesure du possible) «pour protéger la santé et pour ne pas entrer en contradiction avec les habitudes humaines» (Faruqui, Biswas & Bino, 2001). Une publication des mêmes auteurs (2001) étudie plus en détail l'utilisation des eaux usées dans les sociétés musulmanes.

Néanmoins, certains pays musulmans utilisent quand même des eaux usées non traitées, principalement dans des zones souffrant d'une extrême pénurie d'eau, et ces eaux sont alors généralement prélevées dans un wadi local (cours d'eau désertique éphémère), mais cette pratique résulte clairement de la nécessité économique et non d'une préférence culturelle.

Dans d'autres contextes, savoir que les produits de l'aquaculture alimentée par des rejets subiront une cuisson complète avant consommation semble rendre l'utilisation des eaux usées et des excreta plus acceptable sur le plan culturel. Par exemple, les personnes qui achètent des poissons d'eau douce sur les marchés de Calcutta sont tout à fait conscientes du fait que ces animaux ont grandi dans des eaux usées, mais ils ne les consomment qu'après les avoir bien cuits (par exemple en plongeant assez longtemps l'ensemble du poisson dans la matière grasse de friture), et cette pratique est donc facilement acceptée.

7.1.4 Déterminants alimentaires

Les trématodoses transmises par les aliments résultent de l'ingestion de poissons, de crustacés ou de plantes aquatiques à l'état cru ou ayant subi une transformation inappropriée, ou encore de la consommation d'une eau contaminée par des métacercaires. Les risques de trématodose humaine sont par conséquent associés aux habitudes alimentaires. Ces habitudes évoluent souvent avec le développement économique. Au Viet Nam, l'amélioration du statut socio-économique du peuple semble avoir entraîné une augmentation de la consommation de plats de poisson cru ou ayant subi une transformation inappropriée. Ce phénomène, en parallèle avec la tendance générale à la consommation de produits marins de type «sushi», pourrait accroître le risque de trématodose d'origine alimentaire. Plusieurs facteurs socioculturels, économiques et comportementaux favorisent l'infestation des êtres humains (Encadré 7.1) (OMS, 1995).

La perception des aliments est liée à certaines croyances, à la culture, à des tabous et à des traditions; elle est en outre de plus en plus influencée par la communication de masse. Les habitudes alimentaires se constituent dans des conditions sociales et économiques particulières. Lorsqu'elles sont adaptées par des individus ou des groupes à d'autres contextes, elles peuvent devenir inappropriées, voire dangereuses pour la santé. Par exemple, les ruraux ou les membres de populations indigènes qui s'installent dans des zones urbaines, ou encore les travailleurs émigrés, les touristes ou les réfugiés vivant dans des communautés étrangères conservent souvent leurs habitudes alimentaires, même si elles ne sont plus appropriées ou adaptées aux conditions locales de production, de préparation ou de transformation des aliments (OMS, 1995).

Les propriétés organoleptiques des aliments, l'anticipation des conséquences de leur ingestion et la connaissance de leur nature ou de leur origine influent de manière interactive sur le choix que l'on fait parmi eux, mais la réponse hédonique – aimer ou ne pas aimer – est le déterminant principal (OMS, 1995).

Comprendre les déterminants alimentaires des trématodoses transmises par les aliments est au cœur de toute stratégie de maîtrise des risques et il est important d'évaluer l'adéquation de toute source alimentaire ou méthode de préparation de substitution proposée. Enfin, ces déterminants conditionnent la mesure dans laquelle les changements visant les méthodes de préparation ou de transformation des aliments seront acceptés et appliqués (OMS, 1995).

7.2 Préoccupations environnementales

S'ils sont convenablement planifiés et gérés, les schémas d'utilisation des eaux usées et des excreta peuvent avoir un impact positif sur l'environnement tout en contribuant à la production de poissons et de plantes. Cet effet positif peut résulter de plusieurs facteurs, dont principalement :

- l'évitement d'une pollution des eaux de surface qui se produirait si les eaux usées n'étaient pas utilisées mais rejetées dans des rivières ou des lacs; on peut ainsi empêcher la survenue de problèmes environnementaux majeurs, tels que l'épuisement de l'oxygène dissous, l'eutrophisation, le moussage et la destruction de poissons;
- la préservation ou un usage plus rationnel des ressources en eau douce, notamment dans les zones arides ou semi-arides: l'eau douce répondant préférentiellement à la demande urbaine, les eaux usées aux besoins aquacoles;

Encadré 7.1 Exemples de pratiques socioculturelles conduisant à la transmission de maladies

La consommation de poissons ou de crustacés crus ou peu cuits est une pratique très répandue dans le monde, notamment dans les zones proches des lacs, des cours d'eau ou des mares où le poisson frais est facilement disponible. En République de Corée, du poisson cru est habituellement servi dans le cadre des réunions sociales masculines comme accompagnement de l'alcool de riz. Cette consommation peut entraîner une infestation par *Clonorchis* spp. ou de nombreuses espèces de douve intestinale. Dans le sud de la Chine, on trempe de minces tranches de poisson cru dans la soupe bouillante pendant un instant et on les mange avec des épices ou de la sauce, ou encore telles quelles. Le poisson cru dans une soupe de riz chaude constitue un autre plat populaire en Chine.

Le crabe trempé dans la sauce soja (*ke-jang*) est la principale source d'infestation par *Paragonimus* en République de Corée et le crabe conservé dans le vinaigre ou trempé dans le vin («saoul») est considéré comme un met délicat par les Chinois vivant dans les zones d'endémie de la paragonimiasse. Le *kinilow* (crabe ou poisson cru) et le *sinigang* (préparation incluant du crabe) font partie des plats favoris dans les régions d'endémie de la paragonimiasse des Philippines, tout comme le *pla poo* (crabe cru) en Thaïlande.

On contracte une opisthorchiasse en consommant du poisson cru ou mal cuit, congelé, salé ou fumé – par exemple sous forme de *koi pla* (poisson cru) en Thaïlande. Il existe des spécialités locales similaires dans beaucoup d'autres pays d'endémie.

Dans le nord de Luzon, aux Philippines, on a relevé une association entre la prévalence de 69% d'*Echinostoma malayanum* dans une zone et la tradition de longue date de consommer cru le mollusque *Lymnaea*.

Parmi les plantes vectrices de trématodoses, certaines espèces de cresson sont le plus couramment responsables, mais pas systématiquement, de fasciolases humaines lorsqu'elles sont consommées crues en salade. La consommation de cresson est fréquente dans le sud de l'Europe et en dehors de ce continent, dans les pays où des Européens du Sud ont émigré. En Algérie, pendant l'occupation française, des flambées de fasciolase sont apparues chez les Européens vivant dans le pays, tandis qu'aucun cas n'était enregistré chez les Algériens de souche qui ne consommaient pas de cresson. En Asie orientale, l'un des goûters favoris des enfants, notamment en zone rurale, est la châtaigne d'eau, principale source végétale de fasciolopsiasse. L'évolution des habitudes alimentaires vers les produits de l'agriculture «biologique» ou vers les légumes à feuilles sauvages peut être corrélée de plus en plus nettement avec la fasciolase humaine parmi les membres des classes aisées d'Europe et des Amériques.

Les écrevisses ne sont habituellement pas consommées crues en République de Corée. Néanmoins, la pratique traditionnelle consistant à utiliser le jus cru d'écrevisses écrasées comme traitement traditionnel de la rougeole est une source non négligeable d'infestation et peut être à l'origine des séquelles neurologiques dévastatrices de la paragonimiasse cérébrale chez l'enfant. Dans certaines tribus camerounaises (Bakosi) et nigérianes (Calabar), on pense que le crabe cru rend les femmes plus fertiles. En Équateur, les parents broient des crabes (*Hypolobocera* spp.) et donnent le liquide surnageant à leurs enfants malades à titre de médication.

Source: OMS (1995).

- la réduction du risque d'inondation dans les zones urbaines, dans la mesure où les canaux, les bassins et les lacs alimentés par les eaux usées jouent un rôle de tampon pendant les fortes précipitations, ce qui prévient les inondations ;
- la diminution des besoins en engrais artificiels, qui s'accompagne en parallèle d'une baisse des dépenses énergétiques et de la pollution atmosphérique en d'autres endroits.

En fait, les bassins piscicoles alimentés par des rejets ont un fonctionnement similaire à celui des bassins de maturation, derniers bassins dans une série de bassins de stabilisation, dont l'objectif principal est de détruire les agents pathogènes et qui sont toujours aérobies. Il est essentiel que les aquaculteurs maintiennent un environnement sain dans les bassins pour garantir un développement satisfaisant des poissons et une bonne production piscicole. Certains d'entre eux ont tiré parti de leur expérience pour mettre au point des essais biologiques aidant à gérer les bassins piscicoles. Ces essais ont pour objectif de maintenir un niveau optimal d'alimentation naturelle pour les poissons dans les bassins d'après l'indication fournie par la couleur de l'eau et le degré de pénétration de la lumière dans la colonne d'eau. Les aquaculteurs vérifient également si la concentration d'oxygène dissous convient aux poissons en observant la fréquence à laquelle ceux-ci viennent en surface à l'aube, moment de la journée où la teneur en oxygène des bassins est à son minimum (Anon, 1980).

L'utilisation d'excreta en aquaculture semble présenter un grand nombre des avantages de l'utilisation d'eaux usées et, en revanche, moins d'inconvénients potentiels pour l'environnement. La plupart des systèmes d'assainissement sur site pourraient être conçus ou adaptés en vue de cette utilisation, ce qui permettrait d'exploiter sans risque les boues de latrines résultantes.

L'Encadré 7.2 donne un aperçu général de l'interaction à double sens entre l'environnement et l'aquaculture. Il convient de noter l'impact positif de l'aquaculture alimentée par des rejets qui assure un traitement des rejets en utilisant les nutriments et en réduisant l'eutrophisation, comme le reconnaît l'Agenda 21 de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, le Programme d'action des Nations Unies pour le développement durable (Nations Unies, 1993).

Dans le Code de conduite pour une pêche responsable, à l'article 9, Développement de l'aquaculture, la FAO encourage les États à promouvoir un développement et une gestion responsables de l'aquaculture en relation avec la préservation de l'intégrité de l'écosystème auquel participe l'aquaculture alimentée par des rejets. Elle leur conseille d'encourager les efforts pour utiliser des engrais appropriés, y compris le purin. Ce Code ne mentionne pas spécifiquement les boues fécales et les eaux usées, mais ces rejets sont englobés dans la catégorie « engrais verts ». Les parties du Code FAO pour une pêche responsable ayant trait au développement de l'aquaculture sont présentées dans l'annexe 2.

7.3 Faisabilité économique et financière

Dans l'évaluation de la viabilité d'un nouveau schéma d'utilisation des eaux usées et des excreta, les facteurs économiques sont particulièrement importants, mais même un projet économiquement intéressant peut échouer faute d'une planification financière rigoureuse. L'évaluation économique examine si un projet vaut la peine d'être mené, tandis que la planification financière étudie comment il peut être financé. L'amélioration des pratiques existantes doit d'une manière ou d'une autre faire l'objet d'une compensation financière et nécessite donc aussi une forme de planification financière.

Encadré 7.2 Panorama des interactions potentielles avec l'environnement de l'aquaculture alimentée par des rejets

Les impacts de l'environnement externe sur l'aquaculture peuvent être positifs ou négatifs. L'enrichissement en nutriments des étendues d'eau peut fournir des nutriments bénéfiques à la production aquacole dans certains systèmes de culture extensive (pêcheries reposant sur l'élevage dans les lacs et les retenues, algues marines, par exemple). Néanmoins, une charge excessive en eaux usées et en excreta peut avoir des conséquences graves pour les activités aquacoles en cas de contamination par des polluants toxiques, des agents pathogènes ou des phytotoxines. Avec l'aggravation de la pollution aquatique et de la dégradation physique des habitats aquatiques par le développement d'autres projets, les aquaculteurs peuvent devoir faire face à une mortalité massive au sein de leur élevage, à des flambées de maladie, à une contamination des produits et à une moindre disponibilité de la semence ou du stock reproductif sauvage. À la différence de la pêche par capture, l'aquaculture offre tout au moins des opportunités d'adapter les systèmes d'élevage et les pratiques de gestion de manière à optimiser la production alimentaire dans des conditions environnementales parfois sous-optimales.

De nombreux types d'aquaculture peuvent contribuer positivement à l'amélioration de l'environnement. Le recyclage des nutriments et des matières organiques par l'intermédiaire des systèmes d'élevage intégrés est reconnu depuis longtemps comme judicieux sur le plan environnemental. Les récents progrès dans la gestion intégrée des nuisibles ont montré comment la polyculture riz-poisson pouvait aider les agriculteurs à réduire la consommation de pesticides nocifs pour l'environnement. L'aquaculture en eau douce alimentée par des rejets et la culture d'algues marines peuvent servir à récupérer des nutriments en excès, contribuant ainsi à réduire les risques d'eutrophisation, etc. Des impacts négatifs ont été associés principalement aux systèmes intensifs à haut niveau d'intrants et d'extrants et non à l'aquaculture alimentée par des rejets. En certains endroits, l'application inadaptée de produits chimiques, la collecte de semences provenant du stock reproductif sauvage, l'introduction d'espèces exotiques ou la surexploitation des ressources de la pêche en tant qu'intrants alimentaires ont aussi suscité des inquiétudes.

Sources : Adapté de Barg et al. (1997); Phillips & Macintosh (1997).

7.3.1 Évaluation économique

On procède à l'évaluation économique d'un projet d'utilisation des eaux usées/des excreta pour déterminer son rapport coût/efficacité et s'il vaut la peine d'être mis en œuvre (Squire & Van Der Tak, 1975; Gittinger, 1982). Cette évaluation nécessite le calcul des coûts et des bénéfices marginaux du projet – c'est-à-dire de la différence entre les coûts et les bénéfices de ce projet et ceux de son alternative. Pour qu'un schéma soit viable, il faut que les bénéfices marginaux excèdent les coûts marginaux.

Pour ce qui concerne le traitement des eaux usées et des excreta, il peut être nécessaire d'envisager les conséquences des coûts de transfert. Par exemple, des ménages aisés peuvent bénéficier d'un raccordement au réseau d'égout, mais si les eaux-vannes ne sont pas traitées, cette opération peut transférer des coûts vers les plus démunis sous forme d'impacts sanitaires négatifs et vers la société en général sous forme d'impacts environnementaux. Il y a eu de nombreux cas où les coûts de traitement des eaux-vannes n'ont pas été pris en compte pendant la planification. Les coûts « en aval » importants des rejets d'eaux-vannes à prendre en considération incluent les coûts afférant au traitement de l'eau de boisson, à la dégradation de l'environnement côtier, aux préjudices pour l'industrie de la pêche, à la pollution des eaux à usage récréatif et à la perte de revenus provenant du tourisme.

Il convient également de réaliser une analyse économique des composants du système. Par exemple, les planificateurs doivent analyser les différentes options pour chaque composant du système de traitement et d'utilisation des eaux usées et des excreta – y compris les options en matière de transport.

Parmi les aspects économiques à prendre en compte figurent les points suivants :

- Les réseaux d'égout sont coûteux à construire, à faire fonctionner et à entretenir ; des solutions moins onéreuses comme la décantation des eaux-vannes, les égouts condominaux et d'autres technologies encore peuvent être disponibles.
- Les coûts de pompage des eaux-vannes sont importants ; il faut prévoir l'implantation des installations de traitement des eaux usées et des excreta dans les zones où ces rejets peuvent être utilisés avec un bon rapport coût/efficacité et où les besoins en pompage seront minimaux (bassins installés en contrebas des installations de traitement, par exemple).
- Des technologies efficaces et peu onéreuses de traitement des eaux usées et des excreta sont disponibles.
- En combinant différentes technologies de traitement (sédimentation primaire et bassins de finition, par exemple), il est possible d'accroître l'efficacité d'élimination des agents pathogènes pour un coût modéré et d'apporter de la flexibilité en vue de la mise à niveau des installations de traitement.
- Les utilisateurs d'eaux usées et d'excreta sont souvent disposés à payer pour accéder à ces rejets.
- Les droits acquittés sur les eaux usées et les excreta peuvent contribuer à la récupération des coûts.
- Le différentiel de prix entre les eaux usées et les excreta et l'eau douce peut inciter les aquaculteurs à utiliser ces rejets plutôt que de l'eau douce provenant de sources de haute qualité.
- Les installations de traitement des eaux usées et des excreta peuvent être en mesure de récupérer certains des coûts de traitement en élevant ou cultivant dans l'installation des produits qu'ils vendront ensuite (voir Encadré 7.3).

7.3.2 Faisabilité financière

Lorsque les rejets sont distribués par une agence distincte de celle qui les collecte et les traite, des frais doivent normalement être acquittés sous une forme ou sous une autre. Des frais sont également facturés lorsque les rejets sont distribués à des individus.

Le montant de ces frais peut être décidé au stade de la planification. Le gouvernement peut définir ce montant de manière à ce qu'il ne couvre que les coûts de fonctionnement et de maintenance ou le fixer à un niveau plus élevé, couvrant aussi les coûts en capital du schéma. Bien qu'il soit bien sûr souhaitable de garantir une récupération maximale des coûts, il importe aussi de ne pas décourager l'usage autorisé des rejets. Il est donc essentiel de procéder au départ à certaines investigations pour évaluer la volonté et la capacité des éventuels intéressés à payer pour acquérir ces rejets, non seulement pour déterminer le montant des frais, mais aussi pour définir la fréquence, le calendrier et les moyens de paiement. Par exemple, un droit annuel acquittable après la saison des pluies peut être plus facile à collecter.

Par ailleurs, les producteurs aquacoles sont quelquefois désireux de participer aux investissements dans l'usine de traitement, cette participation conditionnant l'obtention d'un permis d'utilisation. Cette contribution peut être apportée sous forme d'argent liquide ou de terrain pour accueillir les installations de traitement ou de stockage. Des

Encadré 7.3 Compensation des coûts par la vente de produits aquacoles élevés ou cultivés dans les systèmes de traitement des rejets comprenant des bassins de stabilisation dans des pays tropicaux ou subtropicaux

Dans certains cas, la vente de produits aquacoles élevés ou cultivés dans des eaux usées traitées peut compenser partiellement ou totalement les coûts de traitement. Sur la base des données obtenues avec des bassins de stabilisation exploités à Lima, au Pérou, on a mis au point un modèle permettant de calculer les revenus tirés de systèmes de traitement des rejets avec bassins de stabilisation de dimensions variables, dans le cadre de régions tropicales ou subtropicales. En zone tropicale, la dimension minimale du système pour obtenir un retour financier suffisant est plus faible, car les températures plus chaudes permettent jusqu'à trois récoltes de poissons par an. Par exemple, pour produire 60 tonnes de poisson par an, il faudrait disposer d'un système de bassins de stabilisation de 19 ha sous un climat subtropical, alors que, pour obtenir le même rendement en zone tropicale, un bassin de stabilisation de 9 ha à peine suffirait.

Pour un exemple typique de ferme tropicale, le modèle détermine qu'un investissement initial d'US \$76 000 et un coût d'exploitation annuel d'US \$16 000 sont nécessaires pour produire 60 tonnes de poisson par an. Le coût d'élevage des poissons est estimé à US \$0,31/kg, valeur à comparer au prix du marché pour ce poisson de US \$1,00–3,00/kg. Ce faible coût permet à l'élevage d'être compétitif avec la pêche industrielle et de générer un taux de retour interne de 45%. Il est bien sûr nécessaire de déterminer à l'avance si les produits de l'élevage ou de la culture dans le système de traitement seront acceptables par les consommateurs et s'ils pourront être vendus à un prix raisonnable sur le marché. Cet exemple ne prend pas en compte le coût du terrain et suppose que le projet a pour cadre une zone non cultivée. Néanmoins, le modèle peut analyser les variations du profit réalisé selon le coût des terrains et du traitement de l'eau. Dans certains cas, les coûts du traitement devront se conformer à la réglementation locale et, dans tous les cas, les profits résultant de la vente des poissons réduiront ces coûts.

Sources : Cavallini (1996) ; PNUE (2002).

expériences menées au Pérou ont indiqué que les aquaculteurs sont parfois disposés à effectuer certaines tâches d'exploitation ou de maintenance associées au traitement, au stockage ou au transport des eaux usées, à titre de contribution en nature aux dépenses courantes du schéma (Bartone & Arlosoroff, 1987).

Un producteur ne paiera pour acquérir des eaux usées destinées à l'aquaculture que si le coût de cette eau est inférieur à celui de l'option d'approvisionnement en eau la moins onéreuse et à la valeur des nutriments que contiennent ces eaux usées. Comment le coût des eaux usées est-il alors déterminé par l'agence qui les vend ? Il existe trois approches fondamentales pour fixer le prix des eaux usées. Ce prix peut être établi d'après :

- 1) les coûts de production (traitement supplémentaire et transport) ;
- 2) les bénéfices tirés de l'utilisation de ces eaux ; ou
- 3) un certain jugement de valeur quant à la capacité ou la disposition des utilisateurs à payer.

Dans le cas de l'aquaculture, le prix des eaux usées ou des excreta est défini habituellement d'après le plus faible des deux termes suivants : coût marginal du traitement

et du transport et valeur du contenu en nutriments (habituellement l'azote). Il existe plusieurs manières de facturer ces rejets, et notamment :

- au mètre cube;
- par heure de rejet d'une conduite standard;
- par hectare de bassin.

Ce droit d'accès peut aussi être acquitté sous diverses formes :

- tarif ou prix d'achat de l'eau ;
- redevance pour le renouvellement d'un permis de soutirage ;
- surcoût prélevé sur le loyer des terres ;
- déduction sur le prix de vente des produits lorsque cette vente s'effectue de manière centralisée.

8 ASPECTS POLITIQUES

La gestion sans risque des pratiques aquacoles utilisant des rejets est facilitée par l'existence de politiques, de législations, de cadres institutionnels et de réglementations appropriés aux niveaux international, national et local. Dans nombre de pays où l'on pratique l'aquaculture alimentée par des rejets, ces cadres font défaut. Le présent chapitre examine les différentes stratégies nationales pour développer, à chaque niveau, des cadres adaptés qui contribueront à encourager l'utilisation sans risque d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture. Il importe que les pays élaborent des politiques pour encadrer de manière appropriée l'aquaculture alimentée par des rejets en fonction des conditions locales qui leur sont propres.

Comme le montre la Figure 8.1, la politique constitue le cadre général qui définit les priorités de développement national. Elle peut être influencée par des décisions de politique internationale (Objectifs du Millénaire pour le Développement, Commission sur le Développement durable, par exemple), par des traités ou des engagements internationaux (Programme d'action mondial pour la protection du milieu marin contre la pollution due aux activités terrestres du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, par exemple), ou encore par des organismes de développement multilatéral. La politique peut déboucher sur la formulation d'une législation pertinente. Cette législation définit les responsabilités et les droits des différentes parties prenantes – c'est-à-dire le cadre institutionnel. Ce cadre institutionnel détermine quelle agence est responsable de l'élaboration de la réglementation et qui dispose de l'autorité pour faire appliquer et respecter cette réglementation.

8.1 Politique

D'après Elledge (2003), la politique se définit comme une série de procédures, de règles et de mécanismes d'affectation qui constituent le socle des programmes et des services. Les politiques définissent des priorités et les stratégies associées affectent des ressources pour leur mise en œuvre. Les politiques sont appliquées au moyen de quatre types d'instrument :

- 1) *Les lois et les réglementations* : les lois fournissent habituellement le cadre général. Les réglementations apportent des instructions plus détaillées. Les réglementations sont des règles ou des ordres gouvernementaux destinés à contrôler ou à régir les comportements et ont souvent force de loi. Les réglementations relatives à l'utilisation des eaux usées et des excreta peuvent couvrir une large palette de sujets, dont les pratiques des prestataires de services, les normes de dimensionnement, les droits d'utilisation, les exigences portant sur le traitement, sur la qualité de l'eau et des excreta et sur la surveillance, les restrictions portant sur les cultures, la protection de l'environnement et les contrats. Ces réglementations, et en particulier les exigences s'appliquant au traitement et à la qualité de l'eau et des excreta, doivent être adaptées aux conditions locales.
- 2) *Les mesures économiques* : comme exemples de mesures économiques, on peut mentionner les frais à la charge des utilisateurs, les subventions, les incitations et les amendes. Les frais à la charge des utilisateurs ou droits d'utilisation sont des charges que les ménages et les entreprises payent en échange du prélèvement d'eaux usées ou d'excreta. Les subventions sont des allocations en argent liquide ou en nature aux communautés ou aux ménages destinées à la mise en place d'installations ou de services d'assainissement correspondant aux types recommandés. Les amendes sont des prélèvements monétaires imposés aux entreprises

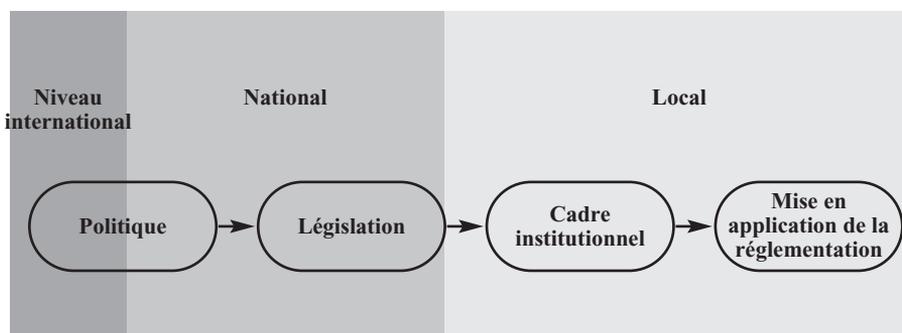


Figure 8.1
Cadre politique

ou aux personnes pour sanctionner une élimination dans des conditions dangereuses, des émissions et/ou des comportements et des pratiques à risque en matière d'hygiène sources de dangers pour les personnes et l'environnement.

- 3) *Les programmes d'information et d'éducation* : ces programmes comprennent les campagnes de sensibilisation du public et les programmes éducatifs destinés à générer une demande et un soutien de la part de la population pour les efforts de développement des services d'assainissement et d'hygiène.
- 4) *Affectation de droits et de responsabilités pour la prestation de services* : les gouvernements nationaux ont la responsabilité de déterminer les rôles des agences nationales et ceux revenant aux secteurs public, privé et sans but lucratif dans le développement et la mise en œuvre des programmes et la prestation de services.

8.1.1 Politique internationale

La politique internationale peut influencer sur l'élaboration des politiques nationales concernant l'utilisation des eaux usées et des excréta. Les pays acceptent des traités, des conventions, des objectifs pour le développement international, etc., qui peuvent les engager à réaliser certaines actions. Par exemple, les pays peuvent avoir pris des engagements à l'égard des objectifs du Millénaire pour le développement (comme indiqué dans le chapitre 1) ou de la Commission sur le Développement durable, ou encore en rapport avec la réduction de l'utilisation et/ou de la contamination des ressources en eau qui traversent des frontières internationales (engagements qui leur imposent de prélever moins d'eau douce ou de traiter les rejets d'eaux usées jusqu'à obtenir un degré plus poussé de qualité afin de réduire la pollution à l'échelle du bassin hydrographique). Les exportations mondiales de denrées alimentaires constituent un autre problème majeur. Comme indiqué dans le chapitre 4, l'OMC reconnaît le droit des pays à établir des normes concernant la sécurité sanitaire des aliments importés sur leur territoire. Les produits alimentaires cultivés ou élevés conformément aux *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères* sont internationalement reconnus comme ayant été obtenus dans un cadre approprié de gestion des risques. Cela peut contribuer à faciliter le commerce international des produits alimentaires sains obtenus en utilisant des eaux usées ou des excréta.

8.1.2 Politiques nationales à propos de l'utilisation des eaux usées et des excreta

Les priorités politiques diffèrent nécessairement en fonction des conditions locales de chaque pays. La politique nationale en matière d'utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture doit prendre en compte divers points, dont :

- les conséquences pour la santé de l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture (exigence d'une évaluation de l'impact sanitaire d'un projet avant sa mise en œuvre à grande échelle; voir annexe 3) et définition de normes et de réglementations appropriées;
- la rareté de l'eau;
- la quantité d'eaux usées et d'excreta générés dans la situation actuelle et dans l'avenir;
- les lieux où les eaux usées et les excreta sont générés;
- l'acceptabilité de l'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture;
- l'ampleur des usages actuels des eaux usées et des excreta et leurs types;
- la capacité à traiter efficacement les eaux usées et les excreta et à mettre en œuvre d'autres mesures de protection sanitaire;
- les impacts qui se produiraient en aval si les eaux usées et les excreta n'étaient pas utilisés pour l'aquaculture;
- le nombre de personnes dépendant pour leur subsistance de l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture;
- les incidences sur le plan commercial de l'exportation de poissons élevés ou de plantes cultivées avec des eaux usées ou des excreta.

8.1.3 Rôle des eaux usées et des excreta dans la gestion intégrée des ressources en eau

Les eaux usées sont de plus en plus considérées dans le contexte plus large de la gestion intégrée des ressources en eau, notamment dans les zones arides et semi-arides. Elles constituent souvent des sources d'eau fiables, avec des débits constants, même pendant la saison sèche. L'utilisation d'eaux usées et d'excreta en aquaculture doit occuper une plus grande place dans la gestion des ressources en eau, car elle permet aux communautés de préserver des ressources en eau de haute qualité (eaux souterraines ou eaux de surface non contaminées, par exemple) pour des usages tels que l'approvisionnement en eau de boisson. L'utilisation des eaux usées ou des excreta en tant que ressource en eau complémentaire est importante pour de nombreuses communautés vivant dans des régions arides ou semi-arides.

8.2 Législation

S'il est prévu de mettre en place ou de promouvoir des projets comportant l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture, l'intervention du législateur peut être nécessaire. Celui-ci peut à la fois *faciliter* l'emploi sans risque des eaux usées et des excreta, par exemple en mettant en place des incitations économiques en faveur des installations de traitement et d'utilisation de ces rejets, et *réglementer* cet emploi en mettant au point des normes de qualité de l'eau et autres. Dans de nombreux cas, il suffit de modifier la législation existante, mais il arrive parfois qu'il faille légiférer à nouveau. On accordera une attention particulière aux aspects suivants :

- création de nouvelles institutions ou affectation de nouveaux pouvoirs à des entités existantes;

- rôle des gouvernements nationaux et locaux dans le secteur et relations entre ces gouvernements ;
- droits d'accès et de propriété pour les eaux usées et les excréta, y compris un règlement public de leur utilisation (voir Encadré 8.1) ;
- droits de propriété sur les terres ;
- législation s'appliquant à la santé publique et à l'aquaculture : normes de qualité pour les eaux usées et les excréta, restrictions portant sur les produits, méthodes d'épandage, santé au travail, hygiène alimentaire, etc.

8.2.1 Rôles et responsabilités des institutions

Une législation d'habilitation peut être nécessaire pour mettre en place un organe de coordination national encadrant l'utilisation des eaux usées et des excréta et pour établir des entités locales responsables de la gestion des schémas pris individuellement. Cela suppose que ces entités aient autorité pour facturer les eaux usées et les excréta qu'elles distribuent ou pour vendre tout produit éventuel. Travailler dans le cadre institutionnel existant peut être préférable à la création de nouvelles institutions.

Au niveau national, l'aquaculture alimentée par des rejets est une activité qui relève de plusieurs ministères ou agences. Comme exemples de ministères ou d'agences pouvant exercer une juridiction sur l'utilisation d'eaux usées ou d'excréta en aquaculture, on peut mentionner :

Encadré 8.1 Les droits d'accès à l'eau font progresser la santé

Accorder aux personnes un accès et un droit à l'eau est une étape importante dans l'amélioration de la santé à l'échelle des ménages et des communautés à travers une meilleure nutrition et un approvisionnement alimentaire plus durable. De nombreux pays ne disposent pas d'un cadre légal garantissant des droits à l'eau, notamment pour les plus démunis. Pour améliorer l'accès à cette ressource, la FAO (2002) suggère la nécessité, dans de nombreux pays, d'introduire des réformes juridiques couvrant les points suivants :

- répartition des ressources en eau entre les différents utilisateurs, notamment dans les zones rurales et urbaines ;
- apaisement des conflits entre les personnes utilisant cette ressource comme approvisionnement en eau et celles qui s'en servent pour éliminer des déchets ;
- promotion d'une utilisation efficace de l'eau ;
- réglementation de l'utilisation des eaux usées et des excréta, de manière à ce que cette utilisation puisse s'effectuer sans risque ;
- diminution du rôle du gouvernement dans les projets concernant l'eau en milieu rural, renforcement de celui des groupes d'utilisateurs locaux et élimination des obstacles à la facturation de l'eau et à la récupération des coûts ;
- évolution des systèmes de propriété foncière vers des titres de propriété écrits, individuels ou groupés ;
- garantie d'un accès légal aux terres et à l'eau pour les chefs de famille de sexe féminin et pour les femmes en général ;
- mise en place ou amélioration d'une administration efficace des droits liés à l'eau pour gérer le secteur de l'eau en général et le secteur rural de l'eau en particulier.

Sources : IPTRID (1999) ; FAO (2002).

- *Le ministère de l'agriculture et de la pêche*: planification générale des projets; gestion des terres appartenant à l'État; installation et exploitation des infrastructures d'irrigation; recherche en agriculture et en aquaculture et ses prolongements, y compris la formation; contrôle des activités de marketing.
- *Le ministère de l'environnement*: fixation de normes s'appliquant au traitement des eaux usées et des excréta et à la qualité des effluents en fonction des préoccupations environnementales; mise en place de pratiques pour protéger les ressources en eau (tant les eaux de surface que les eaux souterraines) et l'environnement; établissement de protocoles de surveillance et d'analyse.
- *Le ministère de la santé*: protection de la santé, et en particulier définition de normes de qualité et de «bonnes pratiques» (à la fois pour les eaux usées et les excréta traités, les produits et les mesures de protection sanitaire); surveillance des méthodes et des calendriers d'épandage des eaux usées et des excréta traités; surveillance de la mise en œuvre des mesures de protection sanitaire; validation des mesures de protection sanitaire pour les petites unités aquacoles alimentées par des rejets; éducation à la santé; surveillance et traitement des maladies.
- *Le ministère chargé des ressources en eau*: intégration de l'utilisation des eaux usées et des excréta dans la planification, le développement et la gestion des ressources en eau.
- *Le ministère de l'éducation*: développement de nouveaux programmes d'enseignement concernant l'assainissement, l'hygiène personnelle et domestique et les pratiques sans risque associées à l'utilisation d'eaux usées ou d'excréta en aquaculture.
- *Le ministère chargé des travaux publics ou les gouvernements locaux*: collecte, traitement et utilisation des excréta et des eaux usées.
- *Le ministère des finances et de la planification économique*: évaluation économique et financière des projets; contrôle des importations (équipements, aliments pour poissons); mise au point de mécanismes financiers pour le transport et le traitement des eaux usées et les infrastructures d'utilisation.

D'autres ministères et agences gouvernementales – par exemple ceux et celles concernés par la propriété foncière, le développement rural, les coopératives et la condition féminine – peuvent aussi être impliqués.

Une collaboration est nécessaire entre les agences concernées, et en particulier entre les membres du personnel technique impliqués. Certains pays, notamment ceux dont les ressources naturelles en eau sont limitées, peuvent trouver avantage à mettre en place un organe exécutif tel qu'un comité technique permanent interagences, sous l'égide d'un ministère principal (ministère de l'agriculture ou chargé des ressources en eau) ou éventuellement d'une organisation séparée (bénéficiant à la fois d'un financement public et privé) telle qu'un service du recyclage des eaux usées, pour assumer la responsabilité des tâches de planification, de développement et de gestion.

Dans nombre de pays, un comité ad hoc simple peut suffire. Il est également possible de confier la responsabilité de l'aquaculture alimentée par des rejets ou une partie de cette responsabilité à des organisations existantes; par exemple, on peut confier la responsabilité de l'utilisation des eaux usées en aquaculture à l'Agence nationale de l'Eau. Cette organisation doit ensuite convoquer un comité réunissant des représentants des différentes agences qui exercent des responsabilités sectorielles. La mise en place d'un comité interagences ou interministériel contribuera à l'information des tiers concernant les difficultés ou les opportunités rencontrées par le secteur.

Dans les pays dotés d'une administration régionale ou fédérale, de telles dispositions pour la collaboration interagences sont importantes au niveau régional ou fédéral. Alors que le cadre général de la politique d'utilisation des eaux usées et des excréta et les normes peuvent être définis au niveau national, il revient aux organes régionaux d'interpréter et de compléter ces éléments au vu des conditions locales.

S'agissant des mesures de protection sanitaire, le ministère de la santé doit mener une action coordonnée avec l'organe interministériel pour :

- développer une politique nationale ou régionale cohérente et suivre sa mise en œuvre ;
- définir une répartition des responsabilités entre les différents ministères et autres organes intervenant dans le secteur, ainsi que la forme de liaison devant exister entre eux ;
- évaluer les schémas nouveaux et existants du point de vue de la santé publique et de la protection de l'environnement ;
- superviser la promotion et la mise en application de la législation et des codes de pratiques nationaux ;
- mettre au point une politique cohérente de développement des ressources humaines.

L'organe local assurant la gestion d'un schéma d'utilisation, ou tout au moins l'agence collectant les eaux usées et les excréta, est souvent placé sous le contrôle de la municipalité. Si l'utilisation des eaux usées ou des excréta doit faire l'objet d'une promotion dans le contexte d'une politique nationale, il faut pour cela coordonner et définir avec soin les relations entre les gouvernements locaux et nationaux. Par ailleurs, il est parfois nécessaire au gouvernement national de proposer des incitations aux autorités locales pour promouvoir l'utilisation sans risque des eaux usées ou des excréta ; certaines formes de sanction peuvent également devoir être appliquées pour garantir une mise en œuvre des schémas sans risque excessif pour la santé publique.

Il faut donner autorité aux gouvernements locaux pour développer leur propre réglementation. Par exemple, ils doivent avoir la capacité de collecter des droits afférents au traitement des eaux usées ou des excréta et à d'autres services, de délivrer des permis, de mener des inspections, d'instaurer des restrictions portant sur les produits, d'inspecter les marchés, de développer des installations de traitement et d'utilisation des eaux usées ou des excréta décentralisées, etc.

Les autorités locales doivent avoir la capacité de délivrer des permis pour l'utilisation en aquaculture d'eaux usées ou d'excréta provenant d'un réseau de distribution public. Ces permis peuvent être émis par l'administration locale chargée de l'agriculture ou des ressources en eau ou par l'organisme contrôlant le réseau de distribution d'eaux usées et d'excréta. La délivrance de tels permis d'utilisation des eaux usées ou des excréta doit être subordonnée au respect effectif des pratiques sanitaires concernant les méthodes d'épandage, les restrictions portant sur les produits et la limitation de l'exposition.

Il est aussi fréquent que l'entité administrant la distribution des eaux usées et des excréta passe par des associations d'utilisateurs qui peuvent se développer à partir d'institutions classiques pour traiter avec les propriétaires terriens. Des permis d'utilisation des eaux usées et des excréta peuvent être délivrés aux associations, ce qui simplifie la tâche administrative consistant à traiter séparément avec un grand nombre de petits utilisateurs et délègue aux associations la mission de faire appliquer les réglementations dont le respect est nécessaire pour un renouvellement du permis.

Un comité conjoint ou un conseil d'administration, pouvant inclure des représentants de ces associations et tous les utilisateurs particulièrement importants, les autorités responsables de la collecte et de la distribution des eaux usées ou des excréta ainsi que les autorités sanitaires locales, doit être mis en place. Même pour des organisations de petite taille, il est important que certaines dispositions, telles qu'un comité comprenant des représentants communautaires, soient prévues pour que les utilisateurs participent à la gestion du projet.

Dans certains cas, les agriculteurs sont en mesure de négocier directement avec l'entreprise de services publics assurant le traitement des eaux usées et des excréta les contrats portant sur un approvisionnement spécifique en eaux usées traitées.

8.2.2 Droits d'accès

Les producteurs aquacoles seront réticents à installer des infrastructures ou des installations de traitement s'ils n'ont pas, dans une certaine mesure, l'assurance de disposer d'un accès durable aux eaux usées ou aux excréta. Cet accès peut être réglementé par des permis et dépendre de la mise en œuvre par l'agriculteur de pratiques sanitaires efficaces. La législation doit donc parfois définir les droits des utilisateurs en matière d'accès aux eaux usées et les pouvoirs des entités autorisées à attribuer ou à réglementer ces droits.

8.2.3 Propriété foncière

La sécurité de l'accès aux eaux usées et aux excréta ne représente rien sans sécurité de la propriété des terres et de l'eau. Dans la plupart des cas, la législation foncière existante sera probablement applicable, bien qu'il soit parfois nécessaire de définir les propriétaires des terres vierges nouvellement mises en culture. S'il est décidé de regrouper des exploitations agricoles individuelles pour les placer sous une gestion unique, il peut être nécessaire de disposer de pouvoirs d'expropriation.

8.2.4 Santé publique

Le domaine de la santé publique, placé au plan national sous l'autorité du ministère de la santé, couvre les règles régissant les restrictions portant sur les produits et les méthodes d'épandage, les normes de qualité s'appliquant aux eaux usées et aux excréta traités à usage aquacole et aux produits de l'aquaculture, ainsi que d'autres mesures de protection sanitaire évoquées au chapitre 5 de ces Directives, qui peuvent nécessiter un complément de réglementation. Il englobe aussi d'autres aspects de la protection de la santé, tels que la santé au travail et l'hygiène alimentaire, qui ne nécessiteront probablement pas de nouvelles mesures mais devront éventuellement être modifiés pour mieux prendre en compte les risques spécifiquement liés à l'aquaculture alimentée par des rejets. Les facteurs pouvant nuire à l'application des restrictions portant sur les produits, examinés au chapitre 4, concernent les schémas d'aquaculture existants comme les nouveaux. Les consommateurs sont également en droit d'attendre des produits alimentaires issus de l'aquaculture qu'ils ne soient pas nocifs pour la santé.

Lorsque l'on propose de nouveaux schémas d'aquaculture alimentée par des rejets ou lorsqu'on prévoit de développer plus largement des activités existantes, l'évaluation de l'impact sanitaire fournit un outil efficace pour quantifier les effets sanitaires sur les populations locales. L'évaluation de l'impact sanitaire de l'aquaculture alimentée par des rejets est traitée plus en détail à l'annexe 3.

■ 8.3 Réglementations

Les réglementations régissant l'aquaculture alimentée par des rejets doivent être pratiques et axées sur la protection de la santé publique (d'autres aspects étant également concernés, comme la protection de l'environnement). Elles doivent aussi spécifier les droits et les responsabilités des différentes parties prenantes, définir les exigences pour la délivrance des permis, préciser les démarches de gestion des risques à appliquer dans les différents contextes, indiquer les exigences en matière de surveillance de la qualité de l'eau/des produits, mettre en place des mécanismes permettant de faire appliquer ces exigences et créer des réseaux de surveillance des maladies. Point le plus important : ces réglementations doivent être applicables compte tenu des circonstances locales.

Il convient de mettre en place un cadre réglementaire autour des différentes mesures de protection sanitaire (à savoir le traitement des eaux usées et des excreta, les restrictions portant sur les produits, l'épandage des eaux usées ou des excreta, la limitation de l'exposition, la vaccination ou la chimiothérapie). Il peut déjà exister une réglementation régissant certaines des mesures protectrices. Sans un certain nombre de mesures complémentaires telles qu'une réglementation contrôlant l'hygiène des marchés (disponibilité d'installations d'assainissement et d'approvisionnement en eau appropriées, inspection des marchés et analyse périodique en laboratoire des produits de l'aquaculture alimentée par des rejets), des produits alimentaires sains, élevés ou cultivés conformément à la réglementation sur l'utilisation des eaux usées et des excreta pourraient facilement être recontaminés sur les marchés, ce qui anéantirait partiellement l'effet des mesures de protection sanitaire précédemment appliquées (voir Tableau 8.1 présentant des exemples d'activités à réglementer).

■ 8.4 Mise au point d'un cadre politique national

Dans la mise au point d'un cadre politique national pour faciliter la pratique sans risque de l'aquaculture alimentée par des rejets, il importe de définir les objectifs stratégiques, d'évaluer l'environnement politique actuel et de développer une approche nationale.

8.4.1 Définition des objectifs

L'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture peut avoir un ou plusieurs objectifs. La définition de ces objectifs est une étape importante dans le développement d'un cadre politique national (Mills & Asano, 1998). Les principaux objectifs peuvent être :

- de renforcer le développement économique national ou local ;
- d'augmenter la production de plantes aquatiques ;
- d'accroître les approvisionnements en eau douce et, par ailleurs, de tirer pleinement parti de la valeur en tant que ressource des eaux usées ou des excreta ;
- d'éliminer les eaux usées et les excreta de manière respectueuse de l'environnement et peu onéreuse ;
- d'améliorer les revenus des ménages, la sécurité alimentaire et/ou la nutrition.

Lorsqu'on utilise déjà des eaux usées ou des excreta, l'introduction de mesures de sauvegarde de la santé et de l'environnement dans les stratégies de gestion ou encore l'amélioration des rendements de culture ou d'élevage des poissons par une amélioration des pratiques peuvent faire partie des sous-objectifs.

Tableau 8.1 Exemples d'activités pouvant entrer dans le champ d'application de la réglementation

Points de contrôle	Considérations réglementaires
Eaux usées ou excréta	Droits d'accès, droits d'utilisation, gestion (municipalité, communauté, groupe d'utilisateurs, par exemple)
Transport	Agence responsable de la construction des infrastructures, de l'exploitation et de la maintenance, coûts de pompage, camions de livraison
Traitement	Exigences portant sur le traitement en fonction de l'usage final des matières traitées, exigences portant sur les procédés
Surveillance	Types de surveillance (surveillance des procédés ou des paramètres, surveillance analytique, par exemple), fréquence, lieu, responsabilités financières
Épandage des eaux usées ou des excréta	Pose de clôtures, nécessité de ménager des zones tampons
Restrictions portant sur les produits	Types de produits autorisés, non autorisés, application des restrictions, éducation des aquaculteurs ou de la population
Limitation de l'exposition	Accès contrôlé aux zones d'utilisation des eaux usées ou des excréta (pose de panneaux de signalisation et de clôtures, par exemple), port de vêtements de protection exigé, mise à la disposition des travailleurs d'eau et d'installations d'assainissement, responsabilités en matière d'éducation à l'hygiène
Hygiène sur les marchés	Inspection des marchés, mise à disposition d'eau et d'installations d'assainissement sur les marchés
Sécurité sanitaire des aliments	Inspection des poissons ou des plantes à la recherche de métacercaires de trématodes, analyse des produits à la recherche d'autres agents pathogènes et de métaux toxiques, éducation des consommateurs
Autorité financière	Autorité financière chargée de collecter les droits d'utilisation et les amendes
Mise en application	Autorité chargée de faire respecter la réglementation

8.4.2 Évaluation de l'environnement politique

Comme indiqué dans la partie 8.2.5, l'existence de politiques en faveur des droits d'accès peut faciliter l'utilisation sans risque des eaux usées et des excréta en aquaculture. Il est fréquent que des politiques soient déjà en place et influent à la fois négativement et positivement sur l'aquaculture alimentée par des rejets. Il est souvent utile de réaliser une évaluation des politiques existantes avant d'en développer une nouvelle au plan national ou pour réviser les politiques en vigueur. Cette évaluation doit s'effectuer selon deux approches: du point de vue du décideur politique, et de celui du gestionnaire de projet. Les décideurs politiques souhaiteront évaluer les politiques nationales, la législation, le cadre institutionnel et les réglementations pour s'assurer que tous ces éléments cadrent avec les objectifs nationaux en matière d'utilisation des eaux usées ou des excréta (maximiser les retours sur investissement sans nuire à la santé publique ou à l'environnement). Les coordonnateurs de projets voudront s'assurer que les schémas actuels et futurs d'aquaculture alimentée par des rejets sont en mesure de satisfaire toutes les lois et réglementations nationales ou locales pertinentes.

Les principaux points à considérer sont les suivants :

- *Politique* : existe-t-il des politiques claires concernant l'utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture? L'aquaculture alimentée par des rejets doit-elle être encouragée ou non?
- *Législation* : l'aquaculture alimentée par des rejets est-elle régie par la législation? Quels sont les droits et les responsabilités des différentes parties prenantes?
- *Cadre institutionnel* : quelle agence, quel ministère ou quelle organisation importante a autorité pour contrôler l'utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture au niveau national et à celui du district ou de la communauté? Les responsabilités des différents ministères ou agences sont-elles clairement définies? Existe-t-il un ministère principal ou le contrôle est-il exercé par plusieurs ministères ou agences dont les juridictions se recoupent? Quel ministère ou quelle agence : est responsable de l'élaboration de la réglementation, est chargé de veiller au respect de la réglementation, est chargé de la faire appliquer?
- *Réglementation* : existe-t-il une réglementation? La réglementation actuelle est-elle suffisante pour atteindre les objectifs relatifs à l'utilisation des eaux usées (protéger la santé publique, prévenir les détériorations de l'environnement, satisfaire aux normes de qualité pour le commerce national et international, préserver les moyens de subsistance, conserver l'eau et les nutriments, etc.)? La réglementation actuelle est-elle appliquée? Quel ministère ou quelle agence est chargé de la faire appliquer?

Il est plus facile d'élaborer une réglementation que de la faire appliquer. Lors de la mise au point d'une nouvelle réglementation (ou de la sélection des prescriptions réglementaires à appliquer), il est important de prévoir les institutions, le personnel et les moyens nécessaires pour s'assurer que cette réglementation est respectée. Il importe aussi de veiller à ce que cette réglementation soit réaliste et applicable dans le contexte où elle doit l'être. Il est souvent avantageux d'adopter une démarche par étapes ou de tester une nouvelle série de prescriptions réglementaires en persuadant une administration locale de les voter en tant qu'arrêtés avant qu'elles ne soient étendues au reste du pays.

8.4.3 Mise au point d'approches nationales sur la base des Directives OMS

Les approches nationales pour définir des pratiques sans risque en matière d'aquaculture alimentée par des rejets développées à partir des Directives de l'OMS offrent une protection maximale de la santé des populations lorsqu'elles s'intègrent dans des programmes complets de santé publique, incluant d'autres mesures sanitaires telles que la promotion de la santé et de l'hygiène et l'amélioration de l'accès à une eau de boisson saine et à un assainissement approprié. Par exemple, si des poissons sont élevés ou des plantes sont cultivées conformément aux recommandations des Directives mais sont contaminés par la suite sur les marchés, une partie des progrès éventuellement réalisés sur le plan sanitaire sera probablement réduite à néant. L'utilisation de latrines suspendues au-dessus de bassins piscicoles, situation dans laquelle les excreta ne sont pas traités, peut continuer à faciliter la transmission de trématodes par l'intermédiaire des aliments dans les zones d'endémie. D'autres programmes complémentaires, tels que des campagnes de chimiothérapie, doivent s'accompagner de la promotion ou de l'enseignement de pratiques plus hygiéniques en vue de modifier les comportements responsables de la réinfestation par des trématodes transmis par les aliments et/ou par des helminthes intestinaux.

Ces approches nationales doivent être adaptées aux circonstances socioculturelles, environnementales et économiques locales tout en visant une amélioration progressive de la santé publique. La priorité doit être donnée aux interventions destinées à contrer les menaces sanitaires les plus graves au plan local. À mesure que des moyens et de nouvelles données deviendront disponibles, on pourra introduire des mesures de protection sanitaire supplémentaires. L'Encadré 8.2 présente certaines étapes du développement d'une approche nationale progressive pour renforcer la sécurité des activités aquacoles utilisant des eaux usées ou des excreta.

8.4.4 Travail de recherche

Des recherches doivent être réalisées par les instituts, les universités ou d'autres unités de recherche nationales sur les possibilités de minimiser l'impact sanitaire de l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture. Il importe de mener ces recherches au niveau national car les données relatives aux conditions locales sont d'une importance capitale pour la mise au point de mesures de protection sanitaire efficaces et peuvent varier fortement d'un pays à l'autre. Pour étudier la faisabilité des mesures de protection sanitaire et répondre à des questions liées à la production, on peut recourir à des projets pilotes. Dans les cas où l'aquaculture alimentée par des rejets est pratiquée à petite échelle dans des installations disséminées, souvent à l'échelle des ménages, les travaux de recherche

Encadré 8.2 Mise au point d'une approche nationale pour l'utilisation sans risque d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture

Les approches visant à garantir une utilisation sans risque des eaux usées et des excreta en aquaculture doivent reposer sur la connaissance des pratiques locales, des conséquences pour la santé de ces pratiques et de la nécessité de respecter la législation/règlementation existante. La première étape consiste souvent à évaluer la situation.

Évaluation de la situation

Voici les différents types d'information pouvant être utiles dans la mise au point d'une telle approche :

- disponibilité de traitements des eaux usées ou des excreta et types de traitement disponibles ;
- types de produits aquacoles obtenus dans la zone (destinés à être consommés crus ou cuits, par exemple) ;
- techniques de transport/d'épandage des eaux usées ou des excreta utilisées en aquaculture (conduites, canaux revêtus, canaux sans revêtement, besoins en matière de pompage, charrettes et camions, proximité des communautés locales, présence de clôtures, signalisation, etc., par exemple) ;
- exposition humaine aux eaux usées ou aux excreta dans le cadre des pratiques aquacoles (les travailleurs portent-ils des vêtements de protection, pratiquent-ils une bonne hygiène, des installations d'hygiène et d'assainissement sont-elles disponibles sur le terrain, par exemple?) ;
- conditions d'hygiène de la récolte par les techniques actuellement appliquées, du stockage des produits et de leur transport sur les marchés ;
- pratiques en vigueur sur les marchés où les récoltes sont vendues (dispose-t-on d'un accès à de l'eau saine et à des installations d'assainissement appropriées sur ces marchés? Les vendeurs pratiquent-ils une hygiène satisfaisante? Utilisent-ils une eau saine pour laver ou rafraîchir les produits?).

Encadré 8.2 (suite)

Les risques pour la santé publique varient d'un endroit à l'autre. Il importe de comprendre quels problèmes sanitaires peut soulever l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture. Les trématodoses d'origine alimentaire et la schistosomiase ne sont présentes que dans des zones géographiques limitées, mais peuvent représenter des maladies importantes au plan local. De même, l'incidence des maladies à transmission vectorielle est variable et doit être prise en compte dans les situations concernées. Il est possible d'acquérir des informations sur les priorités sanitaires locales à partir des études scientifiques sur les maladies, des revues de données cliniques, des informations sur les flambées, des données de prévalence et des résultats d'entretiens avec le personnel médical (médecins, infirmières, pharmaciens) et avec les aquaculteurs. Un effort doit aussi être fait pour quantifier les impacts sanitaires positifs – par exemple sur la nutrition et la sécurité alimentaire des ménages.

Implication des parties prenantes

Dans la mesure du possible, les parties prenantes doivent participer au développement des approches de santé publique. Sans leur implication, les mesures de protection sanitaire ont moins de chances d'être appliquées avec succès. Les parties prenantes peuvent participer au développement des politiques par le biais d'ateliers organisés au niveau national ou districale ou d'un encadrement local des activités aquacoles.

Renforcement des capacités nationales/locales

La mise en œuvre des mesures de protection sanitaire exige une supervision institutionnelle aux niveaux national et local. Dans certains cas, il peut être nécessaire de définir ou de renforcer les capacités institutionnelles. Les autorités sanitaires locales doivent connaître leurs responsabilités en matière de mise en œuvre, de surveillance, d'application et de promotion des mesures de protection sanitaire.

Mise en œuvre par étapes des mesures de protection sanitaire

Les mesures de protection sanitaire peuvent être mises en œuvre progressivement au cours du temps. Les premières mesures à appliquer doivent être celles répondant à la plus grande priorité de santé publique. Par exemple, dans les zones d'endémie de la trématodose, on peut, dans une première étape, inciter les aquaculteurs à stocker les excreta pendant 30 jours avant de les introduire dans les bassins ou à n'élever que des poissons ou à ne cultiver que des plantes qui se consomment cuits. Le développement de matériel d'enseignement et d'ateliers locaux pour apprendre aux aquaculteurs comment faire reculer les trématodoses peut être entamé rapidement. Des programmes similaires pourraient être mis en place sur les marchés en vue d'améliorer l'hygiène alimentaire et de réduire la contamination croisée pendant le nettoyage des poissons. Le traitement des eaux usées peut démarrer au bout d'un certain temps, avec des perfectionnements progressifs, jusqu'à ce qu'il soit capable de réaliser les objectifs en matière de réduction microbienne de l'OMS évoqués au chapitre 4.

nationaux peuvent servir à valider les mesures de protection sanitaire et à développer ensuite des recommandations et des normes à l'intention des petits producteurs. Ces travaux de recherche doivent être diffusés aux divers groupes de parties prenantes sous la forme qui leur sera la plus utile.

La réalisation d'un projet pilote est particulièrement intéressante dans les pays n'ayant qu'une faible expérience, voire aucune, en matière d'aquaculture alimentée par des rejets ou lorsqu'on envisage d'introduire de nouvelles techniques. La protection de

la santé est une considération majeure, mais il existe d'autres questions auxquelles il est difficile d'apporter des réponses sans le type d'expérience locale que peut apporter un projet pilote. Parmi ces questions figureront probablement des aspects techniques, sociaux et économiques importants. Un schéma pilote peut aider à identifier les risques potentiels pour la santé et à mettre au point des moyens pour les maîtriser.

Les projets pilotes doivent faire l'objet d'une planification: diverses espèces de poissons (anciennes et nouvelles) et de plantes, élevés ou cultivées avec divers taux d'épandage des eaux usées ou des excréta, doivent être étudiées. On a besoin d'informations non seulement sur les rendements, mais également sur les niveaux de contamination microbienne, l'absorption de métaux toxiques par les produits, l'accumulation de tels métaux ou la présence d'œufs de parasites dans les sédiments en fond des bassins, ainsi que sur les effets sur les sources d'eau de boisson.

Le projet pilote doit être mené pendant au moins une saison d'élevage ou de culture, ou au moins pendant un an si l'on veut étudier la production au cours des saisons. Il doit faire l'objet d'une planification rigoureuse pour éviter de sous-estimer le travail qu'il implique et effectuer ce travail correctement, faute de quoi il faudrait reprendre le projet l'année suivante. À l'issue de la période d'expérimentation, un projet pilote dont les résultats sont satisfaisants peut être transposé en projet de démonstration, en prévoyant des installations de formation pour les exploitants et les aquaculteurs locaux.

La planification et la mise en œuvre des programmes d'aquaculture alimentée par des rejets requièrent une approche globale et progressive répondant en premier lieu aux priorités sanitaires les plus urgentes. Les stratégies de développement des programmes nationaux doivent prévoir des volets concernant la communication avec les parties prenantes, les interactions avec elles ainsi que la collecte et l'exploitation des données. Le présent chapitre présente les points clés à prendre en compte pour la planification et la mise en œuvre au niveau national des programmes d'aquaculture alimentée par des rejets.

Au niveau local, la pérennité de l'aquaculture alimentée par des rejets dépend de l'évaluation et de la compréhension de huit paramètres importants. Ces huit paramètres – santé, faisabilité économique, impact social et perception par le public, faisabilité financière, impact environnemental, et faisabilité commerciale, institutionnelle et technique – sont décrits dans les chapitres précédents. Le présent chapitre explique brièvement comment ils sont liés à la planification et à la mise en œuvre des projets d'aquaculture alimentée par des rejets.

La protection de la santé publique dans le cadre de l'aquaculture alimentée par des rejets nécessite le développement et l'application de mécanismes pour promouvoir des améliorations. C'est un aspect important de la planification. L'objet des améliorations de cette aquaculture (qu'il s'agisse d'investissement prioritaire au niveau régional ou national, du développement de programmes d'éducation à l'hygiène ou d'efforts pour faire appliquer les normes) dépend de la nature des pratiques aquacoles utilisant des rejets et des types de problèmes identifiés (OMS, 2004a). Voici une liste type des mécanismes permettant d'améliorer l'aquaculture alimentée par des rejets :

- ✓ *Définition de priorités nationales* : après avoir identifié les erreurs et les problèmes les plus courants dans l'aquaculture alimentée par des rejets, il est possible de formuler des stratégies nationales pour définir des mesures d'amélioration et de correction ; il peut s'agir de modifications dans le domaine de la formation (des gestionnaires, des administrateurs, du personnel d'encadrement ou de terrain), de la création de programmes d'amélioration ou de la réorientation des stratégies de financement pour viser des besoins spécifiques.
- ✓ *Définition de priorités régionales* : les agences sanitaires régionales ou locales peuvent déterminer les communautés dans lesquelles il faut intervenir et les activités à améliorer en priorité ; une fois les priorités établies, il faut prendre en compte les critères de santé publique.
- ✓ *Mises en place de programmes d'éducation à l'hygiène* : nombre des problèmes sanitaires rencontrés dans l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture sont liés à l'hygiène personnelle et alimentaire et ne peuvent être résolus par la technologie uniquement. La résolution de beaucoup de ces problèmes passe probablement par des actions participatives de promotion et d'éducation.
- ✓ *Audit et mise à niveau des systèmes* : les systèmes d'aquaculture alimentée par des rejets doivent subir des audits ou des inspections. Les résultats de ces audits sont utilisables pour encourager les producteurs à améliorer leurs pratiques. Il est parfois difficile de faire appliquer la réglementation locale pour améliorer les mesures de protection sanitaire par les petits producteurs. Il peut être plus productif de collaborer avec les producteurs en utilisant comme intermédiaire du personnel d'encadrement qui leur enseignera les mesures de protection sanitaire et les stratégies de réduction des risques.

- ✓ *Réalisation de l'exploitation et de la maintenance par des membres de la communauté*: une autorité désignée doit aider les membres de la communauté à recevoir une formation les rendant capables d'assumer l'exploitation et la maintenance de bassins ou d'installations d'aquaculture alimentés par des rejets familiaux ou communautaires.
- ✓ *Mise en place de canaux de sensibilisation et d'information de la population*: la publication d'informations sur des aspects de l'aquaculture alimentée par des rejets intéressant la santé publique peut encourager les producteurs à respecter les bonnes pratiques, mobiliser l'opinion publique et susciter sa réaction, et également limiter la nécessité de mesures d'exécution de la réglementation, qui ne doivent être envisagées qu'en dernier recours.

Pour faire le meilleur usage possible de ressources limitées, il est conseillé de débiter avec un programme de base, dont le déroulement s'effectuera de manière planifiée. Un exemple d'approche par étapes, comprenant des actions à prendre dans les phases initiale, intermédiaire et avancée, est présenté ci-après :

- **Phase initiale**
 - Définition des exigences pour le développement des institutions.
 - Formation du personnel participant au programme.
 - Définition du rôle des participants (personnel d'encadrement aquacole, autorités sanitaires locales, inspecteurs de la sécurité sanitaire des aliments, etc., par exemple).
 - Mise au point de mesures de protection sanitaire adaptées à la zone.
 - Mise en œuvre de mesures de protection sanitaire dans les zones prioritaires.
 - Suivi des performances, mais en limitant la surveillance/vérification à quelques paramètres essentiels et à des dangers connus d'importance majeure.
 - Mise en place de systèmes pour l'établissement des rapports, la documentation et la communication.
 - Préconisation d'améliorations en fonction des priorités identifiées.
 - Mise en place d'un système de compte rendu à l'intention des communautés locales, des médias et des autorités régionales.
 - Mise en place d'une liaison avec les communautés; identification des rôles de celles-ci dans la mise au point de mesures de protection sanitaire et de moyens pour promouvoir la participation communautaire.
- **Phase intermédiaire**
 - Formation du personnel participant au programme.
 - Instauration et élargissement de l'application systématique des mesures de protection sanitaire.
 - Élargissement de l'accès aux moyens analytiques de surveillance (souvent par l'intermédiaire des laboratoires régionaux, les laboratoires nationaux étant responsables, pour une grande part, du contrôle de qualité analytique et de la formation du personnel des laboratoires régionaux).
 - Développement de capacités pour l'analyse statistique des données.
 - Établissement d'une base de données nationale.
 - Identification des problèmes courants et promotion des activités pour y faire face aux niveaux régional et national.

- Élargissement de l'activité de compte rendu pour inclure l'interprétation au niveau national.
 - Mise au point ou révision des objectifs liés à la santé pour l'aquaculture alimentée par des rejets
 - Recours à des mesures d'exécution légales en cas de nécessité.
 - Implication régulière des communautés dans le développement et la mise en œuvre des mesures de protection sanitaire.
- **Phase avancée**
 - Institutionnalisation d'un programme de formation du personnel.
 - Mise en place d'un mesurage systématique de l'ensemble des paramètres liés à la santé, à des fréquences définies.
 - Utilisation d'un cadre national de gestion des risques pour l'aquaculture alimentée par des rejets.
 - Amélioration des pratiques d'aquaculture utilisant des rejets en fonction des priorités nationales et locales, éducation à l'hygiène et mise en application des normes.
 - Mise en place de bases de données régionales compatibles avec la base de données nationale.
 - Diffusion des données et d'autres informations à tous les niveaux (local, régional et national).
 - Implication systématique des communautés dans le développement et la mise en œuvre de mesures de protection sanitaire.

9.1 Compte rendu et communication

Le partage des informations avec les parties prenantes joue un rôle important dans le succès d'un programme d'aquaculture alimentée par des rejets. Il est pour cela utile de mettre en place des systèmes de communication appropriés avec l'ensemble des parties prenantes concernées. Une communication correcte suppose à la fois de fournir des éléments et de solliciter un retour d'information de la part des parties intéressées. Les possibilités d'amélioration des pratiques aquacoles utilisant des rejets sont fortement dépendantes des capacités à analyser et à présenter l'information sous une forme utile aux différents destinataires (voir Encadré 9.1). Ces destinataires peuvent comprendre :

Encadré 9.1 Communication sur les problèmes sanitaires

L'un des points clés du processus de planification est la communication aux différentes parties prenantes des problèmes sanitaires importants. La communication des problèmes sanitaires à la population et aux décideurs politiques doit s'appuyer sur des éléments scientifiques ainsi que sur la transformation de ces éléments en informations utiles, le développement de solutions faisables, l'évaluation de l'impact, l'implication des parties prenantes et la communication avec ces parties. Ces étapes sont explicitées ci-après.

- Recueil d'*éléments* sur une question ou un problème particulier dans le domaine de l'environnement ou de la santé. Cette opération peut s'effectuer par des recherches ou des analyses scientifiques formelles ou par le biais de la surveillance de divers indicateurs environnementaux et sanitaires. Il est également possible que certaines informations soient recueillies de manière anecdotique,

Encadré 9.1 (suite)

dans les médias ou à l'occasion d'un événement catastrophique. Habituellement, ces éléments, qu'ils soient formels ou informels, sont directement liés aux conditions locales.

- **Transformation** des éléments scientifiques formels en éléments utiles aux décideurs politiques et/ou à la population générale. Cette transformation peut s'opérer par l'intermédiaire d'une évaluation de type épidémiologique ou de la charge de morbidité, d'analyses coût-efficacité et coût-bénéfices, d'une évaluation des risques ou de l'agrégation des données de surveillance environnementale et sanitaire sous forme d'indicateurs essentiels, faciles à appréhender pour les décideurs.
- Examen de **solutions** (les options politiques) en parallèle à la discussion des problèmes environnementaux et sanitaires. Pour les politiciens, attirer l'attention ou mener des discussions sur des problèmes apparemment sans solution peut avoir peu d'attrait. À l'inverse, il est possible de transformer des problèmes que l'on peut solutionner en capital politique.
- Réalisation d'une **évaluation de l'impact** pour prendre en compte ces éléments à la lumière des politiques existantes et proposées. Ce processus peut être formalisé comme composante d'une évaluation de l'impact sanitaire (voir annexe 3), d'une opération d'emprunt, d'une stratégie de réduction de la pauvreté, d'un plan national ou de la discussion d'un budget. Il peut aussi être complètement informel. Dans tous les cas où le gouvernement définit explicitement sa politique, une forme d'évaluation de l'impact intervient.
- Au vu des nouveaux éléments et des nouvelles options politiques, les décideurs et les parties prenantes prennent des **engagements**. Ces engagements peuvent être facilités par les activités d'organisations non gouvernementales locales et d'établissements d'enseignement, par celles de partisans locaux ou internationaux de la cause considérée, ou encore par des processus déclenchés par des agences internationales ou intergouvernementales, notamment des conventions ou des protocoles d'accord récents. L'engagement des décideurs clés à prendre en compte les nouveaux éléments peut nécessiter un changement d'attitude des personnels et au niveau institutionnel. Ce changement intervient habituellement de manière progressive.
- En parallèle avec le processus d'engagement et d'évaluation de l'impact s'opère une **communication** des risques sanitaires et des solutions ou des politiques pouvant y répondre. Dans le meilleur des cas, cette communication fait intervenir des acteurs gouvernementaux, des médias et l'ensemble des groupes d'intérêts et des parties prenantes. Son efficacité est maximale lorsqu'elle est concrète, démontre les résultats « tangibles » de l'intervention et s'effectue sous une forme interactive, non frontale ou passive – c'est-à-dire en amenant les décideurs clés, les médias et les parties prenantes concernés à observer les opérations suivantes ou à y participer : amélioration de l'aquaculture alimentée par des rejets, relevé ou recherche rétrospective des résultats relatifs à la qualité de l'eau ou estimation des économies réalisées en termes de santé. Le document communiqué doit comporter plusieurs niveaux – par exemple une note d'information d'une page pour les principaux responsables, des informations générales plus détaillées à l'intention des professionnels, des éléments destinés aux médias, etc.

Source : Fletcher (2005).

- les responsables de la santé publique aux niveaux local, régional et national ;
- les organismes ou les sociétés de services gérant le traitement collectif des eaux usées ou des excreta ;
- les administrations locales ;

- les communautés et les producteurs aquacoles ;
- les autorités locales, régionales et nationales responsables du développement, de la planification et des investissements.

■ 9.2 Interaction avec les communautés et les consommateurs

La participation des communautés à la planification et à la mise en œuvre des programmes d'aquaculture alimentée par des rejets est souhaitable. Les communautés sont souvent à la fois bénéficiaires de l'utilisation d'eaux usées ou d'excréta en aquaculture et exposées aux dangers que cette utilisation comporte. Elles sont une source de connaissances et d'expériences locales à laquelle il est possible de faire appel. Leurs membres seront probablement parmi les premiers à remarquer d'éventuels problèmes de santé liés aux pratiques aquacoles utilisant des rejets et pourront donc aider à les modifier. Les stratégies de communication doivent prévoir la fourniture d'informations sommaires aux producteurs et aux consommateurs de produits ainsi que la mise en place et l'implication d'associations de consommateurs aux niveaux local, régional et national.

Fournir directement des informations à l'ensemble d'une communauté n'est pas toujours praticable. Il est parfois plus approprié de faire appel à des organisations communautaires, lorsqu'il en existe, comme canal efficace pour transmettre un retour d'information et d'autres éléments aux utilisateurs. Lorsqu'on recourt à des organisations locales pour relayer l'information, il est souvent plus facile de lancer un processus de discussion et de prise de décision au sein de la communauté. Le point le plus important dans la collaboration avec les organisations locales est de s'assurer que l'organisation choisie a accès à l'ensemble de la communauté et qu'elle est en mesure d'initier une discussion sur les mesures de protection sanitaire retenues et appliquées dans les programmes d'aquaculture alimentée par des rejets.

■ 9.3 Exploitation des données et des informations

Les stratégies pour la définition des priorités au plan régional sont habituellement à moyen terme et exigent des informations. Alors que la gestion des informations au niveau national vise à éclairer les problèmes sanitaires courants ou récurrents, l'objectif de leur gestion au niveau régional est d'affecter un degré de priorité à des interventions individuelles. Il est donc important de déterminer une mesure relative du risque sanitaire. Il est ensuite possible d'élaborer et de mettre en œuvre des mesures de protection sanitaire praticables pour faire face aux dangers associés aux risques relatifs les plus graves.

Dans de nombreuses situations, et en particulier lorsque la production s'effectue à très petite échelle, les pratiques d'aquaculture utilisant des rejets peuvent comporter des dangers pour la santé publique. Il importe alors de se mettre d'accord sur des objectifs réalistes en termes d'amélioration et de s'y tenir.

■ 9.4 Critères de planification des projets

Huit critères sont à prendre en compte dans la planification des projets d'aquaculture alimentée par des rejets : la santé, la faisabilité économique, l'impact social et la perception par le public, la faisabilité financière, l'impact environnemental ainsi que les faisabilités commerciale, institutionnelle et technique (voir Figure 9.1) (Mills & Asano, 1998). Si l'un quelconque de ces critères n'est pas rempli, le projet peut échouer. Le respect de tous les critères peut contribuer à garantir la pérennité du projet.

La plupart de ces critères ont été évoqués dans les chapitres précédents, ils sont néanmoins repris brièvement un par un dans la discussion qui suit :

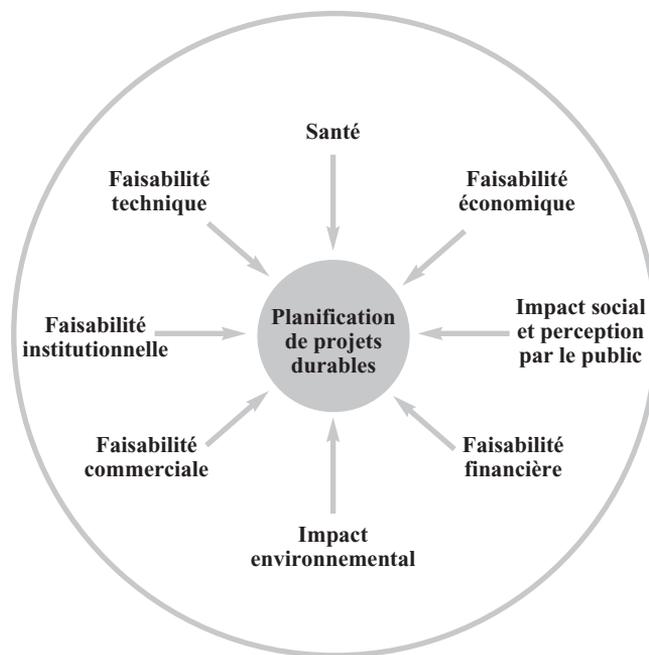


Figure 9.1
Planification des projets : huit critères conditionnent leur succès

- 1) *Santé* : c'est l'objet principal de ces Directives. Les problèmes sanitaires pouvant différer d'un endroit à l'autre dans un même pays, il importe de comprendre et de déterminer quels problèmes sanitaires associés à l'aquaculture alimentée par des rejets sont susceptibles de prendre la plus grande importance. Des études s'avèrent souvent nécessaires pour identifier les problèmes majeurs. La réalisation d'une évaluation de l'impact sanitaire avant le développement de nouveaux projets ou dans le cadre d'une évaluation des projets en cours fournit un outil de planification important (voir annexe 3). Cette évaluation de l'impact sanitaire aide à identifier les populations (par exemple les communautés locales vivant à proximité des installations aquacoles alimentées par des rejets) susceptibles de courir un risque accru en raison de différentes expositions liées à cette activité (maladies à transmission vectorielle ou schistosomiase, par exemple) mais éventuellement non prises en compte par d'autres études. Les impacts sanitaires, tant positifs que négatifs, sur les populations les plus sensibles (pratiquant une activité de subsistance, par exemple) doivent être comptabilisés dans la planification des projets par des procédures d'évaluation efficaces.
- 2) *Faisabilité économique* : la faisabilité économique a été examinée au chapitre 7. Lors de la planification des projets, il faut envisager en premier les mesures de protection sanitaire fournissant un rapport coût/bénéfices sanitaire optimal.
- 3) *Impact social et perception par le public* : ces aspects ont été traités au chapitre 7. Les pratiques culturelles concernant l'utilisation des eaux usées et des excréta, les schémas de consommation alimentaire et autres comportements sont très importants dans la mise au point de mesures de protection sanitaire. Il est parfois

très difficile de modifier des croyances ou des pratiques profondément enracinées. Il convient de concevoir ces mesures de manière à ménager ou même à intégrer des croyances ou des pratiques traditionnelles. La perception par le public peut avoir une influence très puissante sur l'acceptation ou le rejet d'un schéma d'aquaculture alimentée par des rejets. Il importe de faire participer la population à la planification de projets et de communiquer avec les différentes parties prenantes. Si l'activité prévue répond à un besoin perçu (pour des motifs économiques ou en raison d'autres facteurs tels que la rareté de l'eau, par exemple), la population sera plus disposée à accepter le projet.

- 4) *Faisabilité financière*: ce point est discuté plus en détail au chapitre 7. La planification financière examine comment un projet peut être financé. Un projet viable sera en mesure d'attirer un financement suffisant pour l'ensemble de ses étapes (c'est-à-dire du démarrage à l'achèvement), y compris l'acquisition des équipements, l'exploitation et la maintenance, la formation du personnel, la surveillance, etc. Dans certains cas, les planificateurs des projets peuvent souhaiter mettre en place des droits d'utilisation ou vendre des produits du système aquacole alimenté par des rejets en vue de récupérer certains coûts.
- 5) *Impact environnemental*: ce point est discuté plus en détail au chapitre 7. L'utilisation d'eaux usées ou d'excréta en aquaculture entraîne souvent des effets bénéfiques pour l'environnement, résultant du recyclage de ressources importantes en nutriments et du fait que cette utilisation assure une certaine forme de traitement des eaux usées/des excréta. Cependant, elle peut conduire à une contamination des eaux de surface ou des eaux souterraines, en particulier si les aquifères sont proches de la surface. Pour réduire les conséquences sur l'environnement, les gestionnaires du projet doivent aussi évaluer le risque que les activités aquacoles utilisant des rejets favorisent le développement de sites de reproduction des vecteurs ou des mollusques. Lier l'évaluation de l'impact environnemental à celle de l'impact sanitaire apporte un gain d'efficacité.
- 6) *Faisabilité commerciale*: la demande en produits provenant de l'aquaculture alimentée par des rejets doit être évaluée avant d'entamer cette production aquacole. Par exemple, si l'une des mesures de protection sanitaire choisie pour remplir l'objectif lié à la santé est d'imposer des restrictions sur les produits, il faut qu'il existe sur le marché une demande suffisante pour garantir une vente profitable des produits privilégiés (cette considération ne s'applique pas aux produits destinés à la consommation des ménages). Ce type de considération est à prendre en compte également par les agences de traitement des eaux usées désireuses de mettre en place un droit d'utilisation pour récupérer les coûts. Les eaux usées traitées ne peuvent être vendues aux producteurs aquacoles qu'à un prix qu'ils acceptent et qu'ils sont en mesure de payer.
- 7) *Faisabilité institutionnelle*: les planificateurs de projets doivent assimiler les exigences légales et réglementaires portant sur l'aquaculture alimentée par des rejets. Ils doivent savoir quelles administrations nationales et locales contrôlent les activités aquacoles utilisant des rejets et les faire participer au processus de planification. La faisabilité institutionnelle est évoquée plus en détail au chapitre 8.
- 8) *Faisabilité technique*: les projets d'aquaculture alimentée par des rejets doivent être faisables techniquement pour réussir. Les considérations technologiques englobent des aspects tels que les équipements servant au traitement, au stockage, à la distribution et à l'utilisation des eaux usées ou des excréta, ainsi que les

services d'assistance et la formation dans les domaines techniques. Les technologies les plus durables sont celles qui présentent un bon rapport coût/efficacité, peuvent subir des perfectionnements et sont faciles à exploiter et à entretenir avec les moyens locaux. Les principaux points techniques à prendre en compte dans la planification sont recensés dans l'Encadré 9.2.

9.4.1 Services d'appui

Divers services d'appui aux aquaculteurs sont particulièrement utiles à la mise en œuvre des mesures de protection sanitaire et doivent être envisagés de manière détaillée au stade de la planification. Il s'agit notamment :

- des machines (vente et entretien, ou encore location) ;
- de l'apport complémentaire en aliments, des pompes, des clôtures, des vêtements de protection, etc. ;
- des installations de transformation des produits ;
- de l'encadrement et de la formation ;
- des services marketing, en particulier lors de l'introduction de nouveaux produits ou lors de la mise en exploitation de nouveaux terrains ;
- des soins de santé primaires, y compris éventuellement des examens de santé réguliers pour les travailleurs et leur famille.

9.4.2 Formation

Les besoins en formation doivent faire l'objet d'une évaluation soignée au stade de la planification et il est souvent nécessaire de débiter les programmes de formation, en particulier pour les agents et les exploitants de bassins, avant le démarrage du projet, de manière à disposer avec certitude de personnel convenablement formé. Les exploitants des installations de traitement des eaux-vannes doivent être formés sur le terrain à tous les aspects de l'exploitation d'une installation de traitement, d'un réseau de distribution et d'une station de pompage ; les producteurs doivent recevoir une formation sur les

Encadré 9.2 Données techniques devant figurer dans le plan du projet

- Vitesses de génération actuelles et projetées des eaux usées et des excréta, proportion d'effluents industriels, dilution par des eaux de surface
- Installations de traitement des rejets existantes et nécessaires, efficacité en matière d'élimination des agents pathogènes, qualité physico-chimique
- Surfaces de bassins existantes et nécessaires : dimensions, localisation, types de sol, proximité des villages voisins
- Évaporation, en particulier dans les bassins de stabilisation (impact sur la salinité et besoins en eau de dilution)
- Transport des eaux usées ou des excréta traités jusqu'aux bassins (collecte des eaux usées ou des excréta traités par les producteurs aquacoles de poissons ou de plantes aquatiques ou livraison par l'entité chargée du traitement)
- Besoins en matière de stockage pour les eaux usées ou les excréta
- Taux et méthodes d'épandage des eaux usées ou des excréta
- Types de poissons à élever ou de plantes aquatiques à cultiver et leurs exigences en termes de qualité des eaux usées ou des excréta et d'apport alimentaire supplémentaire
- Rendements estimés en poissons/plantes par hectare de bassin et par an
- Stratégies de protection de la santé

méthodes d'aquaculture convenant le mieux à l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta ; et les techniciens doivent être formés à la collecte et à l'analyse des échantillons.

De même, il faut évaluer les besoins probables en services d'encadrement aquacole et prévoir leur disponibilité auprès des producteurs après la mise en route du projet. Il faudra également former le personnel d'encadrement lui-même à des méthodes compatibles avec la protection de la santé et le personnel chargé de faire appliquer la réglementation sanitaire aux aspects suivants : restrictions portant sur les produits, santé au travail, hygiène alimentaire, etc.

RÉFÉRENCES

- Albonico M et al. (1995). Rate of reinfection with intestinal nematodes after treatment of children with mebendazole or albendazole in a highly endemic area. *Transactions of the Royal Society for Tropical Medicine and Hygiene*, 89: 538–541.
- Anon (1980). *Pond fish culture in China. Lecture notes for FAO training course.* Guangzhou, Pearl River Fisheries Research Institute.
- APHA et al. (1981). *Glossary: Water and wastewater control engineering*, 3rd ed. Washington, DC, American Public Health Association, American Society of Civil Engineers, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation.
- Arnbjerg-Nielsen K et al. (2005). [Risk assessment of partly composted faeces for use in private gardens.] Copenhagen, Danish Environmental Protection Agency (in Danish with English summary; <http://www.mst.dk/udgiv/Publikationer/2005/87-7614-693-6/pdf/87-7614-694-4.PDF>).
- Asano T, ed. (1998). *Wastewater reclamation and reuse*. Lancaster, PA, Technomic Publishing Company.
- Asano T, Levine AD (1998). Wastewater reclamation, recycling, and reuse: an introduction. In: Asano T, ed. *Wastewater reclamation and reuse*. Lancaster, PA, Technomic Publishing Company, pp. 1–56.
- Barg UC et al. (1997). Aquaculture and its environment: a case for collaboration. In: Hancock DA et al., eds. *Developing and sustaining world fisheries resources. The state of science and management. Proceedings of the 2nd world fisheries congress, Brisbane, Australia, 28 July-2 August 1996*. Collingwood, CSIRO Publishing, pp. 462–470.
- Barlow CH (1925). The life cycle of the human intestinal fluke *Fasciolopsis buski* (Lankester). *American Journal of Hygiene Monograph Series*, 4: 1–98.
- Bartone CR, Arlosoroff S (1987). Reuse of pond effluents in developing countries. *Water Science and Technology*, 19(12): 289–297.
- Bartram J, Fewtrell L, Stenström T-A (2001). Harmonised assessment of risk and risk management for water-related infectious disease: an overview. In: Fewtrell L, Bartram J, eds. *Water quality: Guidelines, standards and health – Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. London, IWA Publishing on behalf of the World Health Organization.
- Berkman DS et al. (2002). Effects of stunting, diarrhoeal disease, and parasitic infection during infancy on cognition in late childhood: a follow-up study. *Lancet*, 359(9306): 542–571.
- Beuchat LR (1998). *Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review*. Geneva, World Health Organization (Report No. WHO/FSF/FOS/98.2).
- Beveridge MCM et al. (1993). Grazing rates on toxic and non-toxic cyanobacteria by *Hypophthalmichthys molitrix* and *Oreochromis niloticus*. *Journal of Fish Biology*, 43: 901–907.
- Bhowmik ML, Chakrabarti PP, Chattopadhyay A (2000). Microflora present in sewage-fed systems and possibilities of their transmission. In: Jana BB et al., eds. *Waste recycling and resource management in the developing world: ecological engineering approach*. Kalyani, University of Kalyani, and Wolhusen, International Ecological Engineering Society, pp. 71–77.
- Biswas JK, Santra SC (2000). Heavy metal levels in marketable vegetables and fishes in Calcutta metropolitan area, India. In: Jana BB et al., eds. *Waste recycling and resource management in the developing world: ecological engineering approach*.

- Kalyani, University of Kalyani, and Wolhusen, International Ecological Engineering Society, pp. 371–376.
- Blum D, Feachem R (1985). *Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Part III. An epidemiological perspective*. Duebendorf, International Reference Centre for Waste Disposal (Report No. 05/85).
- Blumenthal UJ et al. (1991–1992). Recent epidemiological studies to test microbiological quality guidelines for wastewater use in agriculture and aquaculture. *Public Health Reviews*, 19: 237–242.
- Blumenthal UJ et al. (2000). *Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence (WELL Study, Task No.: 68 Part 1)*. London, Water and Environmental Health at London and Loughborough.
- Bose PC (1944). Calcutta sewage and fish culture. *Proceedings of the National Institute of Sciences of India*, 10(4): 443–454.
- Brackett RE (1987). Antimicrobial effect of chlorine on *Listeria monocytogenes*. *Journal of Food Protection*, 50: 999–1003.
- Bridgeman J (2004). Public perception towards water recycling in California. *The Water and Environment Journal*, 18(3): 150–154.
- Buras N (1990). Bacteriological guidelines for sewage-fed fish culture. In: Edwards P, Pullin RSV, eds. *Wastewater-fed aquaculture, proceedings of the international seminar on wastewater reclamation and reuse for aquaculture, Calcutta*. Bangkok, Asian Institute of Technology, Environmental Sanitation Information Center, pp. 223–226.
- Buras N (1993). Microbial safety of produce from wastewater-fed aquaculture. In: Pullin RVC, Rosenthal H, MacLean JL, eds. *Environment and aquaculture in developing countries. Proceedings of the 31st ICLARM conference*. Manila, International Centre for Living and Aquatic Resources, pp. 285–295.
- Buras N, Duek L, Niv S (1985). Reactions of fish to microorganisms in wastewater. *Applied Environmental Microbiology*, 50: 989–995.
- Buras N et al. (1987). Microbiological aspects of fish grown in treated wastewater. *Water Research*, 21(1): 1–10.
- Carr R, Bartram J (2004). The Stockholm Framework for guidelines for microbial contaminants in drinking-water. In: Cotruvo J et al., eds. *Waterborne zoonoses: Identification, causes, and control*. London, IWA Publishing on behalf of the World Health Organization.
- Cavallini JM (1996). *Aquaculture using treated effluents from the San Juan stabilization ponds, Lima, Peru*. Lima, Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences.
- Chen MG et al. (1994). Progress in assessment of morbidity due to *Clonorchis sinensis* infection: a review of recent literature. *Tropical Diseases Bulletin*, 91: R7-R65.
- Chorus I, Bartram J, eds. (1999). *Toxic cyanobacteria in water*. Geneva, World Health Organization.
- CIFA (undated). *Sewage treatment through aquaculture*. Orissa, Central Institute of Freshwater Aquaculture.
- Clancy JL et al. (1998). UV light inactivation of *Cryptosporidium* oocysts. *Journal of the American Water Works Association*, 90(9): 92–102.
- Codd GA, Bell SG (1995). *Occurrence, fate and behaviour of cyanobacterial hepatotoxins*. Bristol, National Rivers Authority (Research and Development Project Record 271/7/A).

- Codex (1997). Lignes directrices pour l'application du système de l'analyse des risques – Points critiques pour leur maîtrise (HACCP) et Directives concernant son application. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, Italie. Commission du Codex Alimentarius (Annex to CAC/RCP 1-1969, Révision 3). <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/004/y1579f/y1579f.pdf>
- Codex (2009). *Examen de la norme générale Codex pour les contaminants et les toxines présents dans les denrées alimentaires (GSCT)*. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, Italie. Commission du Codex Alimentarius. ftp://ftp.fao.org/codex/ccfac36/fa36_16f.pdf
- Crawford MA (2002). Cerebral evolution. *Nutrition and Health*, 16:29–34.
- Cross JH, ed. (1991). Emerging problems in food-borne parasitic zoonoses: impact on agriculture and public health. Proceedings of the 33rd SEAMO-TROPMED Regional Seminar. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 22(Suppl.).
- Cross P (1985). *Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture. Part I: Existing practices and beliefs in the utilization of human excreta*. Duebendorf, International Reference Centre for Waste Disposal (Report No. 04/85).
- Curtis V, Kanki B (1998). *Happy, healthy and hygienic. Vol. 3. Motivating behaviour change*. New York, UNICEF, Water, Environment and Sanitation (WES Technical Guidelines Series No. 5).
- De NV et al. (2003). The food-borne trematode zoonoses of Vietnam. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 34(Suppl. 1): 12–35.
- Demanou J, Brummett RE (2003). Heavy metal and faecal bacterial contamination of urban lakes in Yaoundé, Cameroon. *African Journal of Aquatic Science*, 28(1): 49–56.
- Djajadiredja R et al. (1979). *The role of nightsoil and household wastes in freshwater fish culture: a case study in West Java, Indonesia*. Paper presented at International Development Research Centre Nightsoil Survey Leaders' Meeting, 4–6 June 1979, Singapore.
- Easa M El-S et al. (1995). Public health implications of waste water reuse for fish production. *Water Science and Technology*, 32(11): 145–152.
- EC (2001). Commission Regulation (EC) No. 466/2001 setting maximum levels of certain contaminants of foodstuffs. *Official Journal of the European Communities*, L77: 1–14.
- Edwards P (1984). *Aquaculture: A component of low cost sanitation technology*. Washington, DC, United Nations Development Programme/World Bank Integrated Resource Recovery Project, 45 pp. (World Bank Technical Paper No. 36).
- Edwards P (1990). An alternative excreta-reuse strategy for aquaculture: the production of high-protein animal feed. In: Edwards P, Pullin RSV, eds. *Wastewater-fed aquaculture, proceedings of the international seminar on wastewater reclamation and reuse for aquaculture, Calcutta*. Bangkok, Asian Institute of Technology, Environmental Sanitation Information Center, pp. 209–221.
- Edwards P (1992). *Reuse of human wastes in aquaculture: a technical review*. Washington, DC, United Nations Development Programme and The World Bank, Water and Sanitation Program.
- Edwards P (2000). Wastewater-fed aquaculture: state-of-the-art. In: Jana BB et al., eds. *Waste recycling and resource management in the developing world: ecological engineering approach*. Kalyani, University of Kalyani, and Wolhusen, International Ecological Engineering Society, pp. 37–49.

- Edwards P, Pullin RSV, eds. (1990). *Wastewater-fed aquaculture, proceedings of the international seminar on wastewater reclamation and reuse for aquaculture, Calcutta*. Bangkok, Asian Institute of Technology, Environmental Sanitation Information Center.
- Edwards P, Pacharaprakiti C, Yomjinda M (1990). Direct and indirect reuse of septage for culture of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. In: Hirano R, Hanju I, eds. *The second Asian fisheries forum*. Manila, Asian Fisheries Society, pp. 165–168.
- Edwards P, Polprasert C, Wee KL (1987). *Resource recovery and health aspects of sanitation*. Bangkok, Asian Institute of Technology, Environmental Sanitation Information Center (AIT Research Report No. 205).
- Edwards P et al. (1984) *Re-use of cesspool slurry and cellulose agricultural residues for fish culture*. Bangkok, Asian Institute of Technology (AIT Research Report No. 166).
- El-Gohary F et al. (1993). Assessment of the performance of oxidation pond system for wastewater reuse. *Water Science and Technology*, 27(9): 115–123.
- Elledge MF (2003). *Thematic overview paper: Sanitation policies*. Delft, IRC International Water and Sanitation Centre.
- FAO (2000). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie, 2000. <http://www.fao.org/docrep/003/x8002f/x8002f00.htm>
- FAO (2002). *Eau et agriculture: produire plus avec moins d'eau*. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture. Rome, Italie, 2002. <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y3918F/Y3918F00.HTM>
- Farooq S, Ansari ZI (1983). Water reuse in Muslim countries – an Islamic perspective. *Environmental Management*, 7(2): 119–123.
- Faruqui NI, Biswas AK, Bino MJ, eds. (2001). *Water management in Islam*. Ottawa, International Development Research Centre and United Nations University Press.
- Fattal B, Doan A, Tchorsch Y (1992). Rates of experimental microbiological contamination of fish exposed to polluted water. *Water Research*, 26: 1621–1627.
- Fattal B et al. (1981) Study of enteric disease transmission associated with wastewater utilization in agricultural communities in Israel. In: *Proceedings of the water reuse symposium II, Vol. 3*. Denver, CO, American Water Works Association, pp. 2200–2215.
- Fattal B et al. (1993). Microbiological purification of fish grown in fecally contaminated commercial fish pond. *Water Science & Technology*, 27(7–8): 303–311.
- Feachem RG et al. (1983). *Sanitation and disease: health aspects of excreta and wastewater management*. Chichester, John Wiley & Sons (World Bank Studies in Water Supply and Sanitation 3).
- Fewtrell L, Bartram J, eds. (2001). *Water quality: Guidelines, standards and health – Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. London, IWA Publishing on behalf of the World Health Organization.
- Fletcher E (2005) *Environment and health decision-making in a developing country context*. Geneva, World Health Organization/United Nations Environment Programme.
- Frost JA et al. (1995). An outbreak of *Shigella sonnei* infection associated with consumption of iceberg lettuce. *Emerging Infectious Diseases*, 1: 26–29.
- Garrett ES, Lima dos Santos C, Jahncke ML (1997). Public, animal, and environmental health implications of aquaculture. *Emerging Infectious Diseases*, 3(4): 1–6.
- Ghosh D (1997). Ecosystems approach to low-cost sanitation in India: where the people know better. In: Etnier C, Guterstam B, eds. *Ecological engineering for wastewater*

- treatment, 2nd ed. *Proceedings of the international conference at Stensund Folk College, Sweden*. Boca Raton, FL, CRC Press, pp. 51–65.
- Gijzen HJ, Ikramullah M (1999). *Pre-feasibility of duckweed-based wastewater treatment and resource recovery in Bangladesh*. Delft, International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), and Bangladesh, Project in Agriculture, Rural Industry Science and Medicine (PRISM) Bangladesh.
- Gijzen HJ, Veenstra S (2000). Duckweed based wastewater treatment for rational resource recovery and re-use. In: Olguin EJ, Sanchez G, Hernandez EJ, eds. *Environmental biotechnology and cleaner bioprocesses*. London, Taylor and Francis, pp. 83–100.
- Gilroy DJ et al. (2000). Assessing potential health risks from microcystin toxins in blue-green algae dietary supplements. *Environmental Health Perspectives*, 108(5): 435–439.
- Gittinger JP (1982). *Economic analysis of agricultural projects*. Baltimore, MD, Johns Hopkins University Press.
- Haq AHMR, Ghosal TK (2000). Wastewater reclamation using duckweed. In: Jana BB et al., eds. *Waste recycling and resource management in the developing world: ecological engineering approach*. Kalyani, University of Kalyani, and Wolhusen, International Ecological Engineering Society, pp. 495–499.
- Hendy SMH, Youssef RG (2002). *Wastewater management and reuse, Egypt country profile*. Cairo, Government of Egypt, Ministry of Health and Population, and WHO Regional Office for the Eastern Mediterranean.
- Hotez PJ et al. (1997). Emerging and reemerging helminthiases and the public health of China. *Emerging Infectious Diseases*, 3(3): 1–11. <http://www.cdc.gov/ncidod/eid/vol3no3/hotez.htm>
- Hurst CJ, Benton WH, Stetler RE (1989). Detecting viruses in water. *Journal of the American Water Works Association*, 8(9): 71–80.
- Huss HH, Ben Embarek PK (2003). Parasites. In: Huss HH, Ababouch L, Gram L, eds. *Assessment and management of seafood quality*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO Fisheries Technical Paper 444).
- Hussain I et al. (2001). *A framework for analyzing socioeconomic, health and environmental impacts of wastewater use in agriculture in developing countries*. Colombo, International Water Management Institute, 23 pp. (Working Paper 26).
- IPTRID (1999). *Poverty reduction and irrigated agriculture*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (Issues Paper No. 1).
- Iqbal S (1999). *Duckweed aquaculture. Potentials, possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries*. Duebendorf, Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC Report No. 6/99).
- Jana BB (1998). Sewage-fed aquaculture: The Calcutta model. *Ecological Engineering*, 11: 73–85.
- Jenkins MB et al. (2002). *Cryptosporidium parvum* oocyst inactivation in three soil types at various temperatures and water potentials. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(8): 1101–1109.
- Jiménez B (2003). Health risk in aquifer recharge with recycled water. In: Aertgeerts R, Angelakis A, eds. *Health risks in aquifer recharge using reclaimed water – State of the art report*. Geneva, World Health Organization. http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wsh0308/en/index.html

- Jiménez B (2005). Treatment technology and standards for agricultural wastewater reuse: a case study in Mexico. *Journal of Irrigation and Drainage*, 54: 1–11.
- Jiménez B, Chávez A (1998). Removal of helminth eggs in an advanced primary treatment with sludge blanket. *Environmental Technology*, 19: 1061–1071.
- Jiménez B, Chávez A (2002). Low cost technology for reliable use of Mexico City's wastewater for agricultural irrigation. *Environmental Technology*, 9(1–2): 95–108.
- Jiménez B et al. (2001). The removal of a diversity of micro-organisms in different stages of wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 43(10): 155–162.
- Jørgensen K (2005). *Accumulation of toxic metals in aquatic vegetables cultivated with use of urban wastewater in Hanoi and Nam Dinh, Vietnam* [MSc thesis]. Frederiksberg, Royal Veterinary and Agricultural University.
- Kapperud G et al. (1995). Outbreak of *Shigella sonnei* infection traced to imported iceberg lettuce. *Journal of Clinical Microbiology*, 33(3): 609–614.
- Karapanagiotidis IT et al. (2002). Tilapias from different aquatic systems contain variable amounts of ω -3 and ω -6 polyunsaturated fatty acids: implications for human nutrition. In: *World aquaculture 2002, Beijing, book of abstracts*. Baton Rouge, LA, World Aquaculture Society, p. 342.
- Karimi AA, Vickers JC, Harasick RF (1999). Microfiltration goes Hollywood: the Los Angeles experience. *Journal of the American Water Works Association*, 91(6): 90–103.
- Keiser J, Utzinger J (2005). Food-borne trematodiasis: an emerging public health problem. *Emerging Infectious Diseases*, 11(10): 1503–1510.
- Keshavanath P et al. (1994). The functional grazing response of a phytoplanktivorous fish *Oreochromis niloticus* to mixtures of toxic and non-toxic strains of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Journal of Fish Biology*, 45: 123–129.
- Khalil MT, Hussein HA (1997). Use of wastewater for aquaculture: an experimental field study at a sewage-treatment plant, Egypt. *Aquaculture Research*, 28: 859–865.
- Kosek M, Bern C, Guerrant RL (2003). Résumé (voir p. 201) La charge mondiale des maladies diarrhéiques, calculée d'après les résultats des études publiées entre 1992 et 2000. *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé, Vol. 81(3)*: 197–204. <http://www.who.int/bulletin/volumes/81/3/Kosek0303.pdf>
- Kowal NE (1985). *Health effects of land application of municipal sludge*. Research Triangle Park, NC, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Health Effects Research Laboratory (EPA/600/1–85/015) [cited in USEPA, 1992].
- Lan NTP et al. (2005). Microbiological quality of fish grown in wastewater-fed and non-wastewater-fed fishponds in Hanoi, Vietnam: influence of hygiene practices in local retail markets. *Journal of Water and Health*.
- Landa H, Capella A, Jiménez B (1997). Particle size distribution in an effluent from an advanced primary treatment and its removal during filtration. *Water Science and Technology*, 36(4): 159–165.
- Lang MM, Harris LJ, Beuchat LR (2004). Survival and recovery of *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* on lettuce and parsley as affected by method of inoculation, time between inoculation and analysis, and treatment with chlorinated water. *Journal of Food Protection*, 67: 1092–1103.
- Larsson B (1994). *Three overviews on environment and aquaculture in the tropics and sub-tropics*. Harare, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Aquaculture for Local Communities Development Programme (ALCOM Field Document No. 27).

- Lazarova V et al. (2000). Wastewater disinfection by UV: Evaluation of the MS2 phages as a biosimulator for plant design. In: *Proceedings of the WaterReuse Association annual symposium 2000, 12–15 September 2000, Napa, CA*. Alexandria, VA, Water-Reuse Association.
- Li SF (1997). Aquaculture and its role in ecological wastewater treatment. In: Etnier C, Guterstam B, eds. *Ecological engineering for wastewater treatment*, 2nd ed. *Proceedings of the international conference at Stensund Folk College, Trosa, Sweden*. Boca Raton, FL, CRC Press, pp. 37–49.
- Little DC, Pham AT (1995). *Overview of freshwater fish seed production and distribution in Vietnam*. Bangkok, Asian Institute of Technology (Working Paper No. NV-6).
- Lun Z-R et al. (2005). Clonorchiasis: a key foodborne zoonosis in China. *The Lancet Infectious Diseases*, 5: 31–41.
- MAFF (1995). *Manual of nutrition*, 10th ed. London, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, HMSO (Reference Book 342).
- Mara D (1997). *Design manual for waste stabilization ponds in India*. Leeds, Lagoon Technology International Ltd.
- Mara DD (1998). Waste stabilization ponds and wastewater storage and treatment reservoirs: the low-cost production of microbiologically safe effluents for agricultural and aquacultural reuse. In: Asano T, ed. *Wastewater reclamation and reuse*. Lancaster, PA, Technomic Publishing Company, pp. 141–158.
- Mara DD (2004). *Domestic wastewater treatment in developing countries*. London, Earthscan Publications.
- Mara DD, Silva SA (1986). Removal of intestinal nematode eggs in tropical waste stabilization ponds. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 89(2): 71–74.
- Mara DD et al. (1993). A rational approach to the design of wastewater-fed fishponds. *Water Research*, 27(12): 1797–1799.
- Mas-Coma S (2004). Human fascioliasis. In: Cotruvo JA et al., eds. *Waterborne zoonoses: identification, causes and control*. London, IWA Publishing on behalf of the World Health Organization.
- Mathers CD et al. (2002). *Global burden of disease 2000: Version 2 methods and results*. Geneva, World Health Organization.
- McCullough FS (1990). Schistosomiasis and aquaculture. In: Edwards P, Pullin RSV, eds. *Wastewater-fed aquaculture, proceedings of the international seminar on wastewater reclamation and reuse for aquaculture, Calcutta*. Bangkok, Asian Institute of Technology, Environmental Sanitation Information Center, pp. 237–249.
- Mead PS et al. (1999). Food-related illness and death in the United States. *Emerging Infectious Diseases*, 5(5): 607–625.
- Mills RA, Asano T (1998). Planning and analysis of wastewater reuse projects. In: Asano T, ed. *Wastewater reclamation and reuse*. Lancaster, PA, Technomic Publishing Company, pp. 57–111.
- Mkaji GM et al. (1992). Control of natural populations of schistosome-transmitting snails by the crayfish, *Procambarus clarkii* in temporary man-made ponds in Kenya. In: Harrison BA, Shay EG, Ruskin FR, eds. *Aquaculture and schistosomiasis*. Washington, DC, National Academy Press.
- Montangero A, Strauss M (2002). *Faecal sludge management*. Delft, IHE-Delft University, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG) / Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC) (home page on the Internet at: <http://www.sandec.ch/FaecalSludge>).

- Montresor A et al. (2002). *Lutte contre les helminthiases chez les enfants d'âge scolaire : guide à l'intention des responsables des programmes de lutte*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 64 pp. <http://disei.who.int/uhtbin/cgiirsi/CVjnNe8X50/169440053/9>
- Morrice C, Chowdhury NI, Little DC (1998). Fish markets in Calcutta. *Aquaculture Asia*, 3(2): 12–14.
- Murray CJL, Lopez AD, eds. (1996). *The global burden of disease. Vol. 1*. Cambridge, MA, Harvard School of Public Health on behalf of the World Health Organization and The World Bank.
- NAS (1976). *Making aquatic weeds useful; some perspectives for developing countries*. Washington, DC, National Academy of Sciences, 175 pp.
- National Research Council (1998). *Issues in potable reuse: The viability of augmenting drinking water supplies with reclaimed water*. Washington, DC, National Academy Press.
- NRMMC/EPHCA (2005). *National guidelines for water recycling: managing health and environmental risks*. Sydney, Natural Resource Management Ministerial Council and the Environment Protection and Heritage Council of Australia.
- Olah J (1990). Wastewater-fed fish culture in Hungary. In: Edwards P, Pullin RSV, eds. *Wastewater-fed aquaculture, proceedings of the international seminar on wastewater reclamation and reuse for aquaculture, Calcutta*. Bangkok, Asian Institute of Technology, Environmental Sanitation Information Center, pp. 79–89.
- Oragui JI et al. (1987). Removal of excreted bacteria and viruses in deep waste stabilization ponds in northeast Brazil. *Water Science and Technology*, 19: 569–573.
- Organisation mondiale de la Santé. *La sécurité des produits alimentaires et son rôle dans la santé et le développement : rapport d'un comité mixte d'experts FAO/OMS de la sécurité des produits alimentaires*. Genève, 1984 (Série de Rapports techniques N° 849). http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_705_fre.pdf
- Organisation mondiale de la Santé. *Lutte contre les trématodoses d'origine alimentaire : rapport d'un groupe d'étude de l'OMS*, Série de Rapports techniques, N° 849. Genève, 1995. [http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_849_\(part1\)_fre.pdf](http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_849_(part1)_fre.pdf)
- Organisation mondiale de la Santé. *Problèmes de salubrité posés par les produits de l'aquaculture : rapport d'un groupe d'étude mixte FAO/NACA/OMS*, Série de Rapports techniques, N° 883. Genève, 1999. <http://disei.who.int/uhtbin/cgiirsi/J90XYc8O23/50600041/9>
- Organisation mondiale de la Santé. *Aide-mémoire sur la maladie : schistosomiase*. Genève, 2001. <http://www.worldwaterday.org/wday/2001/lgfr/disease/schistosomiasis.html>
- Organisation mondiale de la Santé. *Rapport sur la santé dans le monde, 2003 – Façonner l'avenir*. Genève, 2003. <http://www.who.int/whr/2003/fr/>
- Organisation mondiale de la Santé. *Typhoïde*. Genève, 2003. http://www.who.int/topics/typhoid_fever/fr/
- Organisation mondiale de la Santé. *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. Genève, 2004. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/fr/index.html
- Organisation mondiale de la Santé. *Rapport sur la santé dans le monde, 2004 – Changer le cours de l'histoire*. Genève, 2004. http://www.who.int/whr/2004/en/report04_fr.pdf
- Organisation mondiale de la Santé. *Schistosomiase et géohelminthiases : prévention et lutte : rapport d'un comité d'experts de l'OMS*, Série de Rapports techniques, N° 912. Genève, 2004. http://whqlibdoc.who.int/trs/WHO_TRS_912_fre.pdf

- Organisation mondiale de la Santé. *Maladies liées à l'eau: Encéphalite japonaise*. Genève, 2005. http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/encephalitis/fr/index.html
- Pal D, Das Gupta C (1992). Microbial pollution in water and its effect on fish. *Journal of Aquatic Animal Health*, 4: 32–39.
- Pettygrove GS, Asano T (1985). *Irrigation with reclaimed municipal wastewater – a guidance manual*. Chelsea, MI, Lewis Publishers.
- Phillips MJ, Macintosh DJ (1997). Aquaculture and the environment: challenges and opportunities. In: Nambiar KPP, Singh T, eds. *Sustainable aquaculture. Proceedings of INFOFISH-AQUATECH '96 international conference on aquaculture, Kuala Lumpur, Malaysia, 25–27 September 1996*. Kuala Lumpur, INFOFISH, pp. 159–170.
- Prein M (1996). Wastewater-fed aquaculture in Germany: a summary. In: Staudenmann J, Schönborn A, Etnier C, eds. *Recycling the resource, proceedings of the second international conference on ecological engineering for wastewater treatment, School of Engineering, Wädenswil-Zürich, 18–22 September 1995*. Zurich, Transtec Publications, pp. 155–160.
- Prüss A, Havelaar A (2001). The global burden of disease study and applications in water, sanitation, and hygiene. In: Fewtrell L, Bartram J, eds. *Water quality: Guidelines, standards and health – Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. London, IWA Publishing on behalf of the World Health Organization.
- Randall D, Bolis L, Agradi E (1990). Fish in human nutrition research and the implications for aquaculture. *Ambio*, 19(5): 272–275.
- Rice AL et al. (2000). Résumé (voir p. 1218) La malnutrition en tant que cause sous-jacente des décès par maladies infectieuses chez l'enfant dans les pays en développement. *Bulletin de l'Organisation mondiale de la Santé*. Vol. 78: 1207–1221. [http://www.who.int/bulletin/archives/78\(10\)1207.pdf](http://www.who.int/bulletin/archives/78(10)1207.pdf)
- Rivera F et al. (1995). Removal of pathogens from wastewater by the root zone method (RZM). *Water Science and Technology*, 32(3): 211–218.
- Robertson LJ, Campbell AT, Smith HV (1992). Survival of *Cryptosporidium parvum* oocysts under various environmental pressures. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(11): 3494–3500.
- Rojas-Valencia N et al. (2004). Ozonation by-products issued from the destruction of micro-organisms present in wastewaters treated for reuse. *Water Science and Technology*, 50(2): 187–193.
- Rose JB et al. (1996). Removal of pathogenic and indicator microorganisms by a full-scale water reclamation facility. *Water Resources*, 30(11): 2785–2797.
- Rose JB et al. (1997). Evaluation of microbiological barriers at the Upper Occoquan Sewage Authority. In: *1996 water reuse conference proceedings, 25–28 February 1997, San Diego, California*. Denver, CO, American Water Works Association, pp. 291–305.
- Rowan WB (1964). Sewage treatment and schistosome eggs. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 13: 572–576.
- Roy S (2000). Ecology sustainability and metropolitan development – the Calcutta experience. In: Jana BB et al., eds. *Waste recycling and resource management in the developing world: ecological engineering approach*. Kalyani, University of Kalyani, and Wolhusen, International Ecological Engineering Society, pp. 293–302.

- Sagik BP, Moor BE, Sorber CA (1978). Infectious disease potential of land application of wastewater. In: *State of knowledge in land treatment of wastewater. Vol. 1. Proceedings of an international symposium*. Hanover, NH, United States Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory.
- Schwartzbrod J et al. (1989). Impact of wastewater treatment on helminth eggs. *Water Science and Technology*, 21(3): 295–297.
- Shereif MM, Mancy KH (1995). Organochlorine pesticides and heavy metals in fish reared in treated sewage effluents and fish grown in farms using polluted surface waters in Egypt. *Water Science and Technology*, 32(11): 153–161.
- Sin AW (1987). The culture of silver carp, bighead, grass carp and common carp in secondary effluents of a pilot sewage treatment plant. *Resources and Conservation*, 13: 231–246.
- Skillicorn P, Journey W, Spira W (1993). *Duckweed aquaculture: a new aquatic farming system for developing countries*. Washington, DC, The World Bank.
- Slabbert JL, Morgan WSG, Wood A (1989). Microbiological aspects of fish cultured in wastewaters – the South African experience. *Water Science and Technology*, 21: 307–310.
- Sobsey M (1989). Inactivation of health related microorganisms in water by disinfection processes. *Water Science and Technology*, 21(3): 179–195.
- Son TQ et al. (1995). *Application of hazard analysis critical control point (HACCP) as a possible control measure against Clonorchis sinensis in cultured silver carp Hypophthalmichthys molitrix*. Paper presented at the 2nd seminar on foodborne zoonoses: Current problems, epidemiology and food safety, 6–9 December 1995, Khon Kaen, Thailand [cited in Garrett, Lima dos Santos & Jahncke, 1997].
- Sornmani S (1988). *Improvement of community health through the control of liver fluke infection by means of primary health care approach in Thailand*. Bangkok, Mahidol University, Faculty of Tropical Medicine.
- Squire L, Van Der Tak HG (1975). *Economic analysis of projects*. Baltimore, MD, Johns Hopkins University Press.
- Steffens W, Wirth M (1997). Cyprinids as a valuable source of essential fatty acids for human health: a review. *Asian Fisheries Science*, 10: 83–90.
- Strauss M (1985). Health aspects of nightsoil and sludge use in agriculture and aquaculture – Part II: Survival of excreted pathogens in excreta and faecal sludges. *IRCWD News*, 23: 4–9. Duebendorf, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG) / Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC).
- Strauss M (1996). Health (pathogen) considerations regarding the use of human waste in aquaculture. *Environmental Research Forum*, 5–6: 83–98.
- Strauss M, Blumenthal UJ (1990). *Human waste use in agriculture and aquaculture – utilization practices and health perspectives*. Duebendorf, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG) / Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC) (IRWCD Report No. 05/90).
- TDR (2004). *TDR diseases*. Genève, Organisation mondiale de la Santé. Programme spécial de recherche de développement et de formation à la recherche en reproduction humaine (TDR). <http://apps.who.int/tdr/>
- Thilsted SH, Roos N, Hassan N (1997). The role of small indigenous fish species in food and nutrition security in Bangladesh. *Naga, The ICLARM Quarterly*, 20(3/4): 82–84.

- UNEP (2002). *Environmentally sound technologies for wastewater and stormwater management, an international source book*. London, IWA Publishing on behalf of the United Nations Environment Programme.
- United Nations (1993). *Agenda 21. The United Nations Programme of Actions for Sustainable Development*. New York.
- United Nations General Assembly (2000). *United Nations Millennium Declaration*. Resolution A/RES/55/2. New York, NY, United Nations. <http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.pdf>
- USEPA (1992). *Technical support document for land application of sewage sludge*. Prepared for Office of Water, United States Environmental Protection Agency, by Eastern Research Group, Lexington, MA.
- USFDA (1998). *Fish and fishery products hazard and control guide*, 2nd ed. Washington, DC, United States Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, Office of Seafood.
- van der Hoek W et al. (2005). Skin diseases among people using urban wastewater in Phnom Penh. *Urban Agriculture Magazine*, 14: 30–31.
- Venugopalan V (1984). Foreword. In: Roy AK et al., eds. *Manual on the design, construction and maintenance of low-cost waterseal latrines in India*. Washington, DC, The World Bank, Technical Advisory Group (TAG Technical Note No. 10).
- Vo QH (1996). *Wastewater reuse through aquaculture in Hanoi: status and prospects* [Master's Thesis]. Bangkok, Asian Institute of Technology (AE-96-26).
- von Sperling M, Bastos RKX, Kato MT (2004). *Removal of E. coli and helminth eggs in UASB-polishing pond systems*. Paper presented at the 6th International Water Association international conference on waste stabilization ponds, Avignon, 27 September-1 October.
- von Sperling M et al. (2003). Evaluation and modelling of helminth egg removal in baffled and unbaffled ponds treating anaerobic effluent. *Water Science and Technology*, 48(2): 113–120.
- Warnes S, Keevil CW (2003). *Survival of Cryptosporidium parvum in faecal wastes and salad crops*. Carlow, Teagasc Irish Agriculture and Food Development Authority. <http://www.teagasc.ie/publications/2003/conferences/cryptosporidiumparvum>
- Wei DX (1984). [*Clonorchis sinensis* and clonorchiasis.] In: Wu ZJ, Mao SP, Wang JW, eds. [*Chinese medical encyclopaedia, parasitology and parasitic diseases.*] Shanghai, Shanghai Publishing House for Sciences and Technology, pp. 63–65 (in Chinese).
- WHO (1973). *Reuse of effluents: Methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO Meeting of Experts*. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517).
- WHO (1988a). *Environmental management for vector control*. Geneva, World Health Organization.
- WHO (1988b). *Health education in food safety*. Geneva, World Health Organization (unpublished document WHO/EHE/FOS/88.7).
- WHO (1989). *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. Geneva, World Health Organization (WHO Technical Report Series No. 776).
- WHO (2000). *Human health and dams, the World Health Organization's submission to the World Commission on Dams (WCD)*. Geneva, World Health Organization (Document WHO/SDE/WSH/00.01).

- WHO (2003a). *Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1. Coastal and fresh waters*. Geneva, World Health Organization.
- WHO (2005a). *Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 2. Swimming pools and similar recreational water environments*. Geneva, World Health Organization.
- Yates MV, Gerba CP (1998). Microbial considerations in wastewater reclamation and reuse. In: Asano T, ed. *Wastewater reclamation and reuse*. Lancaster, PA, Technomic Publishing Company, pp. 437–488.
- Zhou HY, Cheung RYH, Wong MH (1999). Bioaccumulation of organochlorines in freshwater fish with different feeding modes cultured in treated wastewater. *Water Research*, 33(12): 2747–2756.

Annexe 1

Dimensionnement des bassins piscicoles alimentés par des rejets

La procédure de dimensionnement indiquée ci-après pour les bassins piscicoles alimentés par des rejets repose sur le principe d'un traitement *minimal* des eaux usées dans des bassins de stabilisation en vue de produire une quantité *maximale* de poissons sains sur le plan microbien (Mara et al., 1993 ; Mara, 1997).

Bassins de stabilisation

Les bassins de stabilisation constituent une option peu onéreuse (et habituellement la moins chère) de traitement des eaux usées. Ils se composent d'une série de bassins anaérobies et facultatifs, suivis parfois par un ou deux bassins de maturation. Néanmoins, dans les cas où un prétraitement minimal est réalisé avant les bassins piscicoles, les bassins de maturation sont normalement inutiles. Les bassins anaérobies, comme les bassins facultatifs, sont de simples retenues d'eau en terre, dans lesquelles les eaux usées sont traitées par des procédés naturels ne nécessitant pas d'énergie électrique.

Dans les bassins anaérobies, le traitement des eaux usées s'effectue par une combinaison d'étapes de sédimentation et de digestion anaérobie. La plupart des œufs de trématodes se déposent dans ces bassins (le peu qu'il en reste est éliminé dans le bassin facultatif récepteur).

Le traitement des eaux usées qui s'opère dans les bassins facultatifs est un « traitement vert » résultant de la croissance symbiotique d'algues microscopiques et de bactéries hétérotrophes (la prolifération abondante et totalement naturelle de ces algues donne aux bassins leur couleur verte intense caractéristique, d'où le terme « traitement vert »). À partir de l'eau, les algues produisent de l'oxygène en tant que sous-produit de la photosynthèse. Cet oxygène est utilisé par les bactéries lorsqu'elles réalisent la biooxydation aérobie des composés organiques présents dans les eaux usées. L'un des produits finaux de cette biooxydation est le dioxyde de carbone, qui est fixé sous forme de carbone cellulaire par les algues au cours de la photosynthèse (Figure A1.1). La charge en eaux usées admissible dans les bassins anaérobies et facultatifs dépend de la température : plus celle-ci est élevée, plus il est possible de tolérer une charge importante. Les temps de séjour, qui sont fonction à la fois du débit et de la charge d'eaux usées, sont relativement longs : 1 à 3 jours dans les bassins anaérobies et 4 à 10 jours dans les bassins facultatifs, et ne doivent pas être inférieurs à 1 et 4 jours respectivement.

Le lecteur trouvera en ligne une introduction aux bassins de stabilisation à l'intention des non-spécialistes, document descriptif et complet rédigé par Peña Varón & Mara (2004).

Procédure de dimensionnement

Le dimensionnement s'effectue selon les étapes :

- 1) Dimensionnement d'un système de bassins de stabilisation comprenant un bassin anaérobie et un bassin facultatif secondaire.
- 2) Détermination de la concentration d'azote total dans les effluents du bassin facultatif.
- 3) Dimensionnement du bassin piscicole alimenté par des rejets, qui reçoit les effluents du bassin facultatif, en tablant sur une charge superficielle d'azote total de 4 kg/ha et par jour (trop peu d'azote donne une biomasse algale insuffisante dans le bassin piscicole et donc de faibles rendements en poissons ; à l'inverse, trop d'azote accroît exagérément les concentrations d'algues, d'où un risque important d'épuisement de l'oxygène dissous pendant la nuit et de mort des poissons).

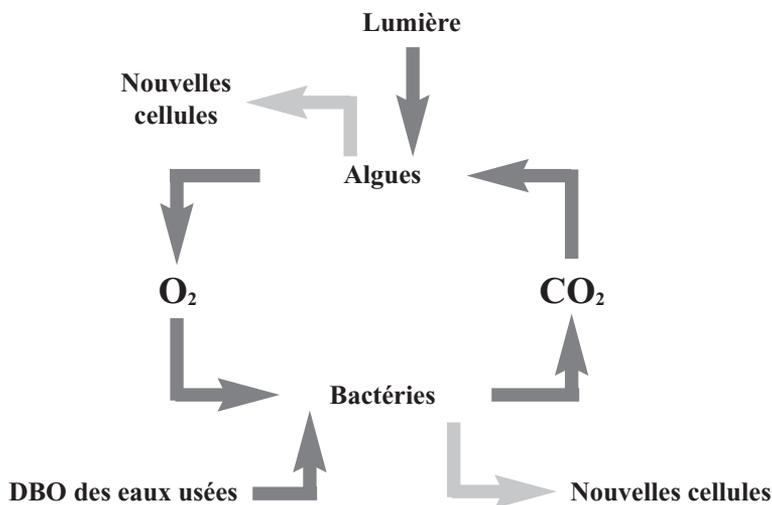


Figure A1.1
Symbiose algue-bactérie dans les bassins de stabilisation facultatifs

- 4) Calcul du nombre d'*E. coli* pour 100 ml d'eau du bassin piscicole (ce chiffre doit être ≤ 1000 ou $\leq 10^4$ pour 100 ml, comme indiqué dans le Tableau 4.1).
- 5) Détermination de la concentration d'ammoniac libre (c'est-à-dire de gaz NH₃ dissous) dans le bassin piscicole (ce chiffre doit être $< 0,5$ mg N/l afin d'éviter une toxicité aiguë pour les poissons).

Un exemple de dimensionnement est présenté dans l'Encadré A1.1.

Encadré A1.1 Bassins piscicoles alimentés par des eaux usées: exemple de dimensionnement

Dimensionnement d'un bassin piscicole destiné à recevoir les effluents d'un bassin de stabilisation facultatif secondaire. Les eaux usées non traitées sont introduites à un débit de 1000 m³/jour et présentent une DBO de 200 mg/l, une concentration d'azote total de 40 mg N/l et une concentration d'*E. coli* de 1×10^7 pour 100 ml. La température de dimensionnement est de 25°C et la vitesse d'évaporation nette est de 5 mm/jour. [Notes : a) la «DBO» désigne la «demande biochimique en oxygène», façon courante d'exprimer la concentration de matières organiques biodégradables dans les eaux usées; une DBO de \times mg/l signifie que la concentration de matières organiques biodégradables dans les eaux usées est telle que les bactéries qui feraient subir à ces matières une oxydation biologique dans une installation de traitement des eaux usées auraient besoin de \times mg de O₂ par litre d'eaux usées oxydées biologiquement; b) évaporation nette = évaporation – pluviométrie.]

Le lecteur trouvera les détails complets du dimensionnement dans Mara (2004).

A. Dimensionnement du bassin anaérobie

Le volume du bassin anaérobie (V_a , m³) est donné par la formule :

$$V_a = Q\theta_a$$

Encadré A1.1 (suite)

où Q = débit d'eaux usées (m^3/jour) [ici $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{jour}$]; et θ_a = temps de séjour dans le bassin anaérobie (jours) [ici considéré comme valant 1 jour, ce qui correspond au temps de séjour minimum admissible dans un bassin anaérobie]. Par conséquent :

$$V_a = (1000 \times 1) = 1000 \text{ m}^3$$

Ce qui correspond, pour une profondeur de 3 m, à une surface de 333 m^2 .

L'élimination de la DBO dans un bassin anaérobie à 25°C est de 70%, de sorte que la DBO des effluents de ce bassin (qui alimentent le bassin facultatif secondaire) est de $(0,3 \times 200) = 60 \text{ mg/l}$.

B. Dimensionnement du bassin facultatif

Le volume du bassin facultatif (V_f , m^3) est donné par la formule :

$$V_f = Q\theta_f$$

où Q = débit d'eaux usées (m^3/jour) [ici $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{jour}$]; et θ_f = temps de séjour dans le bassin facultatif (jours) [ici considéré comme valant 4 jours, ce qui correspond au temps de séjour minimum admissible dans un bassin anaérobie]. Par conséquent :

$$V_f = (1000 \times 4) = 4000 \text{ m}^3$$

Ce qui correspond, pour une profondeur de 1,5 m, à une surface de 2667 m^2 .

On fait appel à l'équation de Reed pour déterminer la concentration d'azote total des effluents du bassin facultatif (C_{Ne} , en mg N/l) comme suit, en supposant que l'azote n'est pas totalement éliminé dans le bassin anaérobie :

$$C_{Ne} = C_{Ni} \exp \{- [0,0064(1,039)^{T-20}] \times [\theta_f + 60,6(\text{pH} - 6,6)]\}$$

où C_{Ni} = concentration d'azote total dans les eaux usées brutes (mg N/l) (ici $C_{Ni} = 50 \text{ mg N/l}$); T = température de dimensionnement ($^\circ\text{C}$) [ici $T = 25^\circ\text{C}$]; et on peut prendre le pH comme égal à 8. Par conséquent :

$$C_{Ne} = 50 \times \exp \{- [0,0064(1,039)^{25-20}] \times [4 + 60,6(8 - 6,6)]\} = 25 \text{ mg N/l}$$

C. Dimensionnement du bassin piscicole

On calcule la surface du bassin piscicole (A_{fp}) pour une charge superficielle d'azote total ($\lambda_{s(N)}$) de dimensionnement de 4 kg/ha et par jour, comme suit :

$$A_{fp} = 10C_{Ni} Q / \lambda_{s(N)}$$

où C_{Ni} = concentration d'azote total dans les effluents alimentant le bassin piscicole (mg N/l) (c'est-à-dire dans les effluents du bassin facultatif) (mg N/l) [ici $C_{Ni} = 25 \text{ mg N/l}$]. Par conséquent :

$$A_{fp} = (10 \times 25 \times 1000) / 4 = 62500 \text{ m}^2 \text{ (6,25 ha)}$$

On calcule le temps de séjour dans le bassin piscicole (θ_{fp}) en tenant compte de l'évaporation nette, comme suit :

$$\theta_{fp} = 2A_{fp} D_{fp} / (2Q - 0,001eA_{fp})$$

où D_{fp} est la profondeur de liquide dans le bassin piscicole (m) [ici on prend $D_{fp} = 1 \text{ m}$]; et e désigne l'évaporation nette (mm/jour) [ici $e = 5 \text{ mm/jour}$]. Par conséquent :

Encadré A1.1 (suite)

$$\theta_{fp} = [2 \times 62\,500 \times 1] / [(2 \times 1000) - (0,001 \times 5 \times 62\,500)] = 74 \text{ jours}$$

D. Contrôle du nombre d'E. coli dans le bassin piscicole

On calcule le nombre d'E. coli dans le bassin piscicole (N_{fp} , pour 100 ml) à partir de l'équation suivante (qui prend en compte les réductions de la concentration de cette bactérie réalisées dans les bassins anaérobies et facultatifs) ;

$$N_{fp} = N_i / [(1 + k_T \theta_a) (1 + k_T \theta_i) (1 + k_T \theta_{fp})]$$

où N_i = le nombre d'E. coli pour 100 ml dans les eaux usées non traitées [ici $N_i = 1 \times 10^7$ pour 100 ml] ; et

k_T = constante de vitesse du premier ordre pour l'élimination des E. coli dans les bassins à T°C. La valeur de cette constante est donnée par :

$$k_T = 2,6(1,19)^{T-20} = 6,2/\text{jour pour } T = 25^\circ\text{C}$$

Par conséquent :

$$N_{fp} = (1 \times 10^7) / \{ [1 + (6,2 \times 1)] [1 + (6,2 \times 4)] [1 + (6,2 \times 74)] \} = 120 \text{ pour 100 ml}$$

Ce résultat est <1000 pour 100 ml et donc satisfaisant.

E. Contrôle de la concentration d'ammoniac libre dans le bassin piscicole

La concentration totale d'ammoniac correspond à la concentration de gaz ammonium dissous (NH_3) plus la concentration d'ions ammonium dissociés. Le pourcentage (p) d'ammoniac libre dans la solution aqueuse dépend du pH dans le bassin piscicole et de la température absolue (T , K) selon la relation suivante :

$$p = 100 / [10^{(\text{pK}_a - \text{pH})} + 1]$$

où pK_a est donné par :

$$\text{pK}_a = 0,09018 + (2729,92/T)$$

et où T est la température absolue en degrés Kelvin ($K = ^\circ\text{C} + 273$).

Le pH des bassins piscicoles alimentés par des eaux usées est ~7,5. Par conséquent, pour cette valeur du pH et à une température de 298 K (= 25°C), les deux équations précédentes donnent :

$$\text{pK}_a = 0,09018 + (2729,92/298) = 9,25$$

$$p = 100 / [10^{(9,25-7,5)} + 1] = 1,75 \%$$

Ainsi, la concentration d'ammoniac libre (pour cette valeur du pH et cette température) représente 1,75% de la concentration d'ammoniac totale. La concentration d'azote totale dans les effluents entrant dans le bassin piscicole est de 25 mgN/l. Dans le bassin piscicole lui-même, la concentration d'azote est moindre et la concentration d'ammoniac totale est inférieure à la concentration d'azote totale. Comme 1,75% de 25 mgN/l donne 0,44 mgN/l, la concentration d'ammoniac libre dans le bassin piscicole est encore inférieure à cette valeur et donc également plus faible que le seuil de toxicité de 0,5 mgN/l.

Note : la surface totale des bassins est de 6,55 ha, dont 0,3 ha pour les bassins anaérobies et facultatifs et 6,25 ha pour le bassin piscicole. Les bassins de prétraitement des eaux usées n'occupent donc que 5% de la surface totale des bassins. Par conséquent, les personnes qui pratiquent une aquaculture de subsistance, comme les aquaculteurs industriels, doivent toujours être encouragés à prétraiter les eaux usées avant de les utiliser pour fertiliser leurs bassins piscicoles.

Rendements en poissons

On parvient à une bonne gestion des bassins piscicoles en utilisant des petits bassins, dont la superficie ne dépasse pas ≤ 1 ha de préférence, que l'on peut remplir de juvéniles à raison de $3/m^2$, et fertiliser avec les effluents d'un bassin facultatif en vue de récolter les poissons trois ou quatre mois après l'introduction des juvéniles. Pendant cette période, les juvéniles auront grossi d'environ 20 g à environ 200 g. Un drainage partiel des bassins permet de s'assurer que tous les poissons pratiquement sont récoltés. Ce cycle peut être répété 2 ou 3 fois par an (en prévoyant des périodes d'entretien des bassins). En supposant une perte de poissons de 30% pour tenir compte de la mortalité et des captures par les oiseaux pêcheurs ainsi qu'une exploitation et un entretien corrects des bassins (y compris les bassins anaérobies et facultatifs), le rendement annuel pourrait atteindre 8–12 tonnes de poissons par hectare et par an, bien que des rendements de l'ordre de 4–8 tonnes par hectare et par an soient plus probables.

Références

- Mara D (1997). *Design manual for waste stabilization ponds in India*. Leeds, Lagoon Technology International Ltd.
- Mara DD et al. (1993). A rational approach to the design of wastewater-fed fishponds. *Water Research*, 27(12): 1797–1799.
- Peña Varón MR, Mara DD (2004). *Waste stabilization ponds: thematic overview paper*. Delft, IRC International Water and Sanitation Centre (<http://www.irc.nl/page/14622>).

Annexe 2

Code de conduite FAO pour une pêche responsable: aquaculture et impact environnemental

Parties de l'article 9, Développement de l'aquaculture, du Code de conduite FAO pour une pêche responsable, intéressant l'environnement

- 9.1 Développement responsable de l'aquaculture, y compris de la pêche fondée sur l'élevage dans les zones relevant de la juridiction nationale

9.1.1 Les États devraient établir, faire fonctionner et développer un cadre juridique et administratif approprié qui favorise le développement de l'aquaculture responsable.

9.1.2 Les États devraient promouvoir le développement et la gestion responsables de l'aquaculture, y compris des évaluations préalables des effets du développement de l'aquaculture sur la diversité génétique et l'intégrité des écosystèmes fondées sur l'information scientifique la plus fiable disponible.

9.1.3 Les États devraient élaborer et mettre régulièrement à jour des stratégies et plans, ainsi que de besoin, afin d'assurer que le développement de l'aquaculture soit écologiquement durable et permettre l'utilisation rationnelle des ressources partagées entre l'aquaculture et d'autres activités.

9.1.4 Les États devraient veiller à ce que le développement de l'aquaculture n'ait pas d'effets négatifs sur les moyens d'existence des communautés locales et leur accès aux zones de pêche.

9.1.5 Les États devraient instituer des procédures efficaces, particulières à l'aquaculture, pour entreprendre des activités appropriées d'évaluation et de suivi de l'environnement dans le but de réduire au minimum les effets écologiques nuisibles et leurs conséquences économiques et sociales résultant de l'extraction d'eau, de l'utilisation des terres, de l'évacuation d'effluents, de l'utilisation de produits pharmaceutiques et chimiques et d'autres activités liées à l'aquaculture.

- 9.2 Développement responsable de l'aquaculture, y compris de la pêche fondée sur l'élevage, dans les écosystèmes aquatiques transfrontières

9.2.1 Les États devraient protéger les écosystèmes aquatiques transfrontières en favorisant des pratiques d'aquaculture responsables à l'intérieur de leurs zones de juridiction nationale et en coopérant pour promouvoir des pratiques d'aquaculture durables.

9.2.2 Les États devraient, avec le respect voulu pour les États voisins et conformément au droit international, assurer un choix responsable des espèces et une localisation et une gestion responsables des activités d'aquaculture susceptibles d'avoir des effets sur des écosystèmes aquatiques transfrontières.

9.2.3 Les États devraient consulter les États voisins, lorsqu'il y a lieu, avant d'introduire des espèces non indigènes dans des écosystèmes aquatiques transfrontières.

9.2.4 Les États devraient établir des mécanismes appropriés, tels que des bases de données et des réseaux d'information, pour recueillir, mettre en commun et diffuser des données sur leurs activités aquacoles en vue de faciliter la coopération dans le domaine de la planification du développement de l'aquaculture aux niveaux national, sous-régional, régional et mondial.

9.2.5 Les États devraient coopérer pour mettre au point, le cas échéant, des mécanismes appropriés pour surveiller en permanence l'impact des intrants utilisés en aquaculture.

■ 9.3 Utilisation de ressources génétiques aquatiques aux fins de l'aquaculture, y compris de la pêche fondée sur l'élevage

9.3.1 Les États devraient conserver la diversité génétique et maintenir l'intégrité des communautés et écosystèmes aquatiques grâce à un aménagement approprié. Ils devraient notamment s'efforcer de réduire au minimum les effets nuisibles de l'introduction dans les eaux d'espèces non indigènes ou de stocks génétiquement modifiés utilisés en aquaculture, y compris la pêche fondée sur l'élevage, spécialement lorsqu'il existe une forte probabilité que ces espèces non indigènes ou ces stocks génétiquement modifiés se propagent dans les eaux appartenant à la fois à la juridiction de l'État d'origine et celle d'autres États. Les États devraient, chaque fois que possible, favoriser la prise de mesures qui réduisent au minimum les effets négatifs génétiques, sanitaires et autres que peuvent faire courir aux stocks naturels les poissons d'élevage au cas où ceux-ci s'échapperaient.

9.3.2 Les États devraient coopérer à l'élaboration, à l'adoption et à la mise en application de codes internationaux de pratiques et de procédures en ce qui concerne les introductions et les transferts d'organismes aquatiques.

9.3.3 Les États devraient, afin de réduire au minimum les risques de transmission de maladies ainsi que d'autres effets nuisibles aux stocks naturels et à ceux des élevages, encourager l'adoption de pratiques appropriées pour l'amélioration génétique des stocks de reproducteurs et l'introduction d'espèces non indigènes, et pour la production, la vente et le transport des œufs, des larves ou du fretin, des reproducteurs ou autre matériel vivant. Ils devraient faciliter à cet effet l'établissement et la mise en œuvre de procédures et codes de pratique nationaux appropriés.

9.3.4 Les États devraient promouvoir l'utilisation de procédures appropriées pour sélectionner les reproducteurs et produire des œufs, des larves et du fretin.

9.3.5 Les États devraient, lorsqu'il y a lieu, promouvoir la recherche et, lorsque c'est possible, la mise au point de techniques d'aquaculture pour protéger, régénérer et accroître les stocks d'espèces menacées d'extinction, en tenant compte de la nécessité impérieuse de conserver la diversité génétique des espèces menacées d'extinction.

■ 9.4 Aquaculture responsable au niveau de la production

9.4.1 Les États devraient promouvoir des pratiques responsables en matière d'aquaculture à l'appui des communautés rurales, des organisations de producteurs et des aquaculteurs.

9.4.2 Les États devraient promouvoir la participation active des aquaculteurs et de leurs communautés à la mise au point de pratiques de gestion responsables en matière d'aquaculture.

9.4.3 Les États devraient encourager les efforts visant à améliorer la sélection et l'utilisation d'aliments, d'additifs alimentaires et d'engrais, y compris de fumiers, appropriés.

9.4.4 Les États devraient encourager des pratiques efficaces de gestion en matière d'élevage et de santé des poissons privilégiant la prise de mesures d'hygiène et de vaccination. L'utilisation sûre, efficace et minimale d'agents thérapeutiques, de vaccins, d'hormones et de médicaments, antibiotiques et autres produits chimiques utilisés pour combattre les maladies, devrait être assurée.

9.4.5 Les États devraient réglementer l'utilisation en aquaculture des produits chimiques qui peuvent être dangereux pour la santé humaine et l'environnement.

9.4.6 Les États devraient exiger que l'évacuation des déchets tels que rebuts, boues, poissons morts ou malades, excédents de préparations vétérinaires et autres produits chimiques dangereux ne constitue pas un danger pour la santé humaine et pour l'environnement.

9.4.7 Les États devraient assurer la salubrité des produits d'aquaculture et encourager les efforts visant à maintenir la qualité des produits et à accroître leur valeur en exerçant un soin particulier avant et pendant la récolte et lors de la transformation sur place, ainsi qu'au cours de l'entreposage.

Source: FAO (1995). *Code de conduite pour une pêche responsable*. Rome. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/005/v9878e/v9878e00.htm).

Annexe 3

Évaluation de l'impact sanitaire

L'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) est un instrument destiné à préserver la santé des communautés vulnérables dans le contexte de l'évolution accélérée des déterminants environnementaux et/ou sociaux de la santé résultant du développement. L'OMS/ECHP (1999) a défini l'EIS comme «une combinaison de procédures, de méthodes et d'outils par lesquels une politique, un programme ou un projet peut être jugé selon ses effets potentiels sur la santé de la population et la distribution de ces effets au sein de la population». On appelle impact sanitaire l'évolution d'un risque sanitaire raisonnablement attribuable à un projet, un programme ou une politique. Un risque sanitaire désigne la probabilité d'apparition d'un danger sanitaire pour une communauté particulière à un instant donné. En règle générale, ces évaluations sont prospectives, mais elles peuvent être rétrospectives. Les évaluations rétrospectives mesurent et enregistrent les événements passés, tandis que les évaluations prospectives facilitent la planification du développement et aident à prédire les conséquences d'un futur projet sur la base des éléments disponibles (OMS, 2000).

Procédures et méthodes

La Figure A3.1 présente la séquence des procédures essentielles de l'EIS, en indiquant à quel moment chaque méthode est appliquée. La réalisation efficace d'une EIS suppose la définition et la surveillance des dangers, des risques et des déterminants sanitaires ainsi que des impacts potentiels sur la santé (OMS, 2001). Ces procédures doivent être mises en œuvre en impliquant toutes les parties prenantes intéressées – et en particulier les communautés locales concernées par l'impact.

Une fois la ligne de conduite et les procédures établies, l'évaluation véritable peut commencer. Elle consiste à inférer les évolutions des déterminants sanitaires raisonnablement attribuables au projet et susceptibles d'affecter chacune des communautés de parties prenantes pour chaque stade du projet. Ces évolutions produisent collectivement des événements sanitaires ou des évolutions de l'état de santé, qui se classent selon trois catégories au minimum : absence de changement, aggravation d'un risque sanitaire, et renforcement d'une amélioration sur le plan sanitaire. La quantification est généralement difficile en raison du manque de données ou de l'absence de relation fonctionnelle connue entre cause et effet. Des recherches sont nécessaires pour améliorer les modèles prédictifs d'autres problématiques sanitaires.

La meilleure prévision des événements à venir est fournie par l'historique des événements survenus antérieurement dans l'exercice d'activités aquacoles utilisant des rejets similaires, dans des régions comparables (OMS, 2000).

L'évaluation débute par la collecte de données de référence sur l'utilisation d'eaux usées ou d'excreta en aquaculture et sur les risques sanitaires que comporte cette utilisation sur une période d'au moins deux ans avant l'accord final sur la conception du projet. Cette opération fournit un profil des communautés existantes, de leur environnement, des variations saisonnières des risques sanitaires et des capacités de leurs institutions. Cette collecte de données sera réitérée après le passage du projet au stade opérationnel et les différences entre les jeux de données fourniront un enregistrement de l'impact sanitaire et de ses causes probables. Cet enregistrement s'ajoutera à la base de connaissances disponible et permettra de mieux évaluer les projets à venir.

L'objectif de l'EIS est de présenter des éléments, d'inférer des changements et de recommander des mesures pour préserver et améliorer la santé humaine et atténuer les effets négatifs qui pourraient s'exercer sur elles. Les inférences peuvent reposer parfois sur des données incomplètes, mais doivent être convaincantes (OMS, 2000). Cette

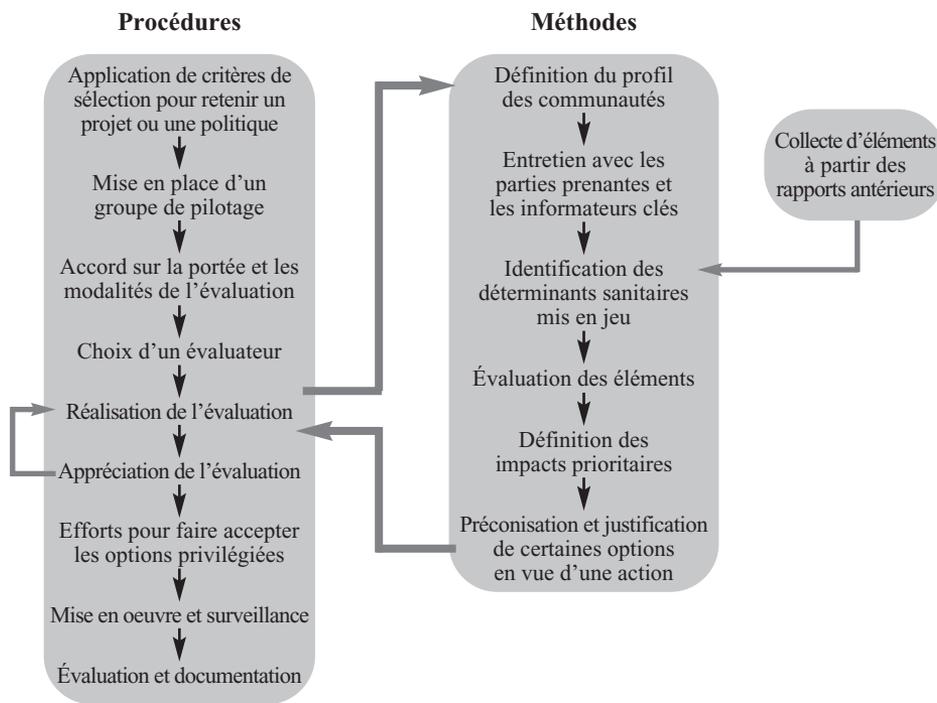


Figure A3.1
Procédures et méthodes de l'EIS (OMS, 2000)

évaluation doit déboucher sur un plan d'action final en faveur de la santé publique devant être mis en œuvre par les partisans du projet, en collaboration étroite avec les autorités sanitaires.

Gestion des risques et des améliorations sur le plan sanitaire

L'étape finale de l'évaluation consiste à préconiser et à budgétiser des mesures socialement acceptables pour préserver et promouvoir la santé humaine et atténuer les effets négatifs qui pourraient s'exercer sur elle (OMS, 2000). Pour promouvoir la santé, le plus important est de ménager un dialogue entre les partisans du projet, les professionnels de santé et les communautés parties prenantes au stade de la planification. Les recommandations techniques pour la gestion des risques sanitaires sont de natures diverses. On peut leur appliquer la classification générale suivante :

- établissement et mise en application de réglementations sanitaires appropriées ;
- modifications du plan et des activités du projet ;
- amélioration de la gestion et de la maintenance ;
- mise en place d'infrastructures d'appui (installation ou amélioration d'installations de traitement ou d'utilisation des eaux usées et des excreta, par exemple) ;
- dispensation en temps utile de soins de santé abordables, et notamment de diagnostics et de traitements ;
- opérations spéciales de lutte contre les maladies ;

- mesures de protection individuelle ;
- éducation à la santé ;
- redistribution des risques par le biais des schémas d'assurance.

Références

WHO (2000). *Human health and dams, the World Health Organization's submission to the World Commission on Dams (WCD)*. Geneva, World Health Organization (document WHO/SDE/WSH/00.01).

WHO (2001). *Health impact assessment (HIA), report of an inter-regional meeting on harmonization and mainstreaming of HIA in the World Health Organization and of a partnership meeting on the institutionalization of HIA capacity building in Africa, Arusha, 31 October-3 November 2000*. Geneva, World Health Organization.

WHO/ECHP (1999). *Gothenburg consensus paper, 1999 – Health impact assessment: main concepts and suggested approach*. Brussels, European Centre for Health Policy, World Health Organization Regional Office for Europe (<http://www.phel.gov.uk/hiadocs/Gothenburgpaper.pdf>).

Annexe 4

Glossaire des termes utilisés dans les Directives¹

Ce glossaire ne vise pas à fournir des définitions précises de termes techniques ou scientifiques mais plutôt à expliquer en langage simple la signification des termes fréquemment employés dans ces Directives.

Abattoir – Établissement dans lequel les animaux sont tués et transformés en aliments et autres produits.

Agent pathogène – Organisme à l'origine d'une maladie (bactérie, helminthe, protozoaire ou virus, par exemple).

Analyse coût-bénéfice – Analyse de tous les coûts d'un projet et de tous ses bénéfices. Les projets apportant le plus de bénéfices au moindre coût sont les plus souhaitables.

Années de vie ajustées sur l'incapacité (DALY) – Mesure de la perte d'années de vie dans une population du fait de la morbidité et de la mortalité.

Aquaculture – Élevage d'animaux et de plantes dans l'eau (aquaculture).

Aquaculture alimentée par des rejets – Utilisation d'eaux usées, d'excreta et/ou d'eaux ménagères comme intrants de systèmes aquacoles.

Aquifère – Zone géologique fournissant une quantité d'eau en provenance de roches perméables.

Assainissement hors site – Système d'assainissement qui comprend l'évacuation des excreta du terrain occupé par l'habitation et de son environnement immédiat.

Assainissement sur site – Système d'assainissement dont les moyens de stockage sont situés sur le terrain occupé par l'habitation ou dans son environnement immédiat. Pour certains systèmes (latrines à fosse double ou simple, par exemple), le traitement des matières fécales s'effectue également sur le site, par compostage poussé et stockage dans une des fosses. Pour d'autres systèmes (fosses septiques, installations à fosse simple, par exemple), les boues (aussi appelées boues fécales) doivent être collectées et traitées hors site.

Barrières multiples – Utilisation d'une ou plusieurs mesures préventives pour constituer une barrière contre les dangers.

Bassin anaérobie – Bassin de traitement dans lequel s'effectuent la digestion et la sédimentation des déchets organiques, habituellement le premier type de bassin utilisé dans un système de bassins de stabilisation des déchets; nécessite une élimination périodique des boues accumulées par sédimentation.

Bassin de grossissement – Bassin utilisé pour amener les jeunes poissons à la taille adulte.

Bassin de maturation – Bassin aérobie avec une croissance algale et des niveaux élevés d'élimination des bactéries; habituellement le dernier type de bassin utilisé dans un système de bassins de stabilisation.

Bassin de stabilisation – Bassin peu profond utilisant des facteurs naturels tels que lumière du soleil, température, sédimentation, dégradation biologique, etc., pour traiter des eaux usées ou des boues fécales. Les systèmes de traitement en bassins de stabilisation comprennent habituellement des bassins anaérobies, facultatifs et de maturation, reliés en série.

Bassin facultatif – Bassin aérobie utilisé pour dégrader des matières organiques et inactiver des agents pathogènes, habituellement le deuxième type de bassin dans un système de bassins de stabilisation.

¹ Sources: APHA et al. (1981); Pettygrove & Asano (1985); Asano & Levine (1998); Mara (1998); Montanero & Strauss (2002).

- Boue** – Mélange de matières solides et d'eau qui se dépose sur le fond des latrines, des fosses septiques ou des bassins ou qui se forme comme sous-produit du traitement des eaux usées (les boues produites par le traitement des eaux usées municipales ou industrielles ne sont pas considérées dans le Volume III).
- Boues de vidange** – Boues vidangées à partir des fosses septiques.
- Boues fécales** – Boues de consistance variable collectées dans les systèmes d'assainissement sur site tels que : latrines, toilettes publiques non reliées à un réseau d'égout, fosses septiques et fosses à niveau constant. Les boues fécales provenant des fosses septiques sont incluses dans ce terme (voir aussi excréta et matières de vidange).
- Charriage des déjections** – Opération de transport manuel des matières fécales hors du site en vue de leur élimination ou de leur traitement.
- Coagulation** – Prise en masse des particules augmentant la vitesse de sédimentation. Habituellement déclenchée par l'addition de certains produits chimiques (chaux, sulfate d'ammonium, chlorure de fer, par exemple).
- Coliformes thermotolérants** – Groupe de bactéries dont la présence dans l'environnement indique une contamination fécale; autrefois appelés coliformes fécaux.
- Cultures de faible hauteur** – Cultures qui se développent au-dessous, au niveau ou à proximité de la surface du sol (carottes, laitues, par exemple).
- Cultures de grande hauteur** – Cultures qui se développent au-dessus du sol et ne le touchent normalement pas (arbres fruitiers, par exemple).
- Cysticercose** – Infestation par *Taenia solium* (ténia du porc) donnant parfois des *cysticerci* (stade parasitique infectieux) qui s'enkystent dans le cerveau des êtres humains, ce qui provoque des symptômes neurologiques comme l'épilepsie.
- Danger** – Agent biologique, chimique, physique ou radiologique ayant un pouvoir nocif.
- Demande biochimique en oxygène (DBO)** – Quantité d'oxygène nécessaire pour convertir les matières organiques en substances inertes; c'est une mesure indirecte de la quantité de matières organiques biodégradables présentes dans l'eau ou les eaux usées.
- Dépuration** – Transfert des poissons dans de l'eau propre avant leur consommation dans l'espoir de purger leur organisme de la contamination pouvant inclure certains micro-organismes pathogènes.
- Désinfection** – Inactivation des organismes pathogènes par des produits chimiques, des rayonnements, de la chaleur ou un processus de séparation physique (membrane, par exemple).
- Diarrhée** – Mouvements intestinaux aqueux et incontrôlés, souvent associés à une infection.
- Dose journalière admissible (DJA)** – Quantité de substance toxique pouvant être ingérée quotidiennement sur la durée d'une vie sans dépasser un certain niveau de risque.
- Drain** – Conduite ou canal construit pour évacuer les eaux d'orage et de ruissellement, les eaux usées ou autres types d'eau en excès. Les drains peuvent être des fossés ouverts ou des tuyaux pourvus ou non d'un revêtement et éventuellement enterrés.
- Eaux de surface** – Toutes les eaux naturellement à l'air libre (rivières, cours d'eau, lacs, réservoirs, par exemple).
- Eaux ménagères** – Eaux provenant de la cuisine, des bains et/ou de la lessive, ne contenant en général pas d'excréta en concentrations notables.

- Eaux souterraines** – Eaux contenues dans les roches et le sous-sol (aquifères).
- Eaux usées** – Déchets liquides évacués des habitations, des locaux commerciaux et de sources similaires vers les réseaux d'élimination individuels ou les canalisations d'égout municipales et contenant principalement des excréta humains et de l'eau ayant servi. Lorsqu'elles sont produites essentiellement par des activités ménagères ou commerciales, elles sont appelées eaux usées domestiques ou municipales. Dans ce contexte, les eaux usées domestiques ne contiennent pas d'effluents industriels en des quantités qui puissent menacer le fonctionnement du réseau d'égout, l'installation de traitement, la santé publique ou l'environnement.
- Eaux-vannes** – Mélange d'excréta humains et d'eau utilisé pour évacuer les excréta des toilettes et des canalisations; peut aussi contenir de l'eau servant à des fins domestiques.
- Effluent** – Liquide (eaux usées traitées ou non traitées, par exemple) sortant d'un procédé ou d'un espace confiné.
- Égout** – Canalisation ou conduite véhiculant des eaux usées ou des eaux de drainage.
- Enkystement** – Développement d'un kyste protecteur pour les stades infectieux de différents parasites (helminthes tels que les trématodes et les ténias transmis par les aliments, et certains protozoaires comme *Giardia*).
- Épidémiologie** – Étude de la distribution et des déterminants d'états ou d'événements liés à la santé dans des populations spécifiques et application de cette étude à la lutte contre des problèmes sanitaires.
- Escherichia coli* (*E. coli*)** – Bactérie que l'on trouve dans l'intestin, utilisée comme indicateur de la contamination fécale de l'eau.
- Évaluation de l'exposition** – Estimation (qualitative ou quantitative) de l'intensité, de la fréquence, de la durée, de la voie et de l'ampleur d'une exposition à un ou plusieurs milieux contaminés.
- Évaluation de l'impact sanitaire** – Combinaison de procédures, de méthodes et d'outils permettant de juger une politique, un programme ou un projet sous l'angle de ses effets potentiels sur la santé d'une population et de la distribution de ces effets dans cette population.
- Évaluation des risques** – Processus global consistant à utiliser les informations disponibles pour prédire dans quelles conditions des dangers ou des événements spécifiques peuvent se produire (probabilité) et l'ampleur de leurs conséquences.
- Évaluation quantitative des risques microbiens (QMRA)** – Méthode d'évaluation des risques résultant de dangers spécifiques et de différentes voies d'exposition. La QMRA comprend quatre composantes : l'identification des dangers ; l'évaluation des expositions ; l'évaluation de la relation dose-réponse ; et la caractérisation des risques.
- Excréta** – Fèces et urine (voir aussi boues fécales, boues de fosse septique et matières de vidange).
- Exposition** – Contact d'un produit chimique ou d'un agent physique ou biologique avec la frontière externe d'un organisme (par inhalation, ingestion ou contact cutané, par exemple).
- Filtration sur membrane** – Technique de filtration reposant sur une barrière physique (une membrane), présentant une taille de pore spécifique, qui piège à sa surface les contaminants dont la taille est supérieure à celle des pores. Les contaminants plus petits que la dimension spécifiée pour les pores peuvent traverser la membrane ou être capturés à l'intérieur de celle-ci par d'autres mécanismes.

- Filtration sur milieu filtrant double** – Technique de filtration utilisant deux types de milieu filtrant pour éliminer les matières particulaires présentant différentes propriétés chimiques et physiques (sable, anthracite, terre à diatomées, par exemple).
- Floculation** – Agglomération de matières en suspension colloïdales ou finement divisées, après coagulation par agitation douce avec un dispositif mécanique ou hydraulique.
- Fosse septique** – Cuve souterraine qui traite les eaux usées en associant sédimentation et digestion anaérobie. Leurs effluents peuvent être déchargés dans des puits filtrants ou dans des égouts de petit calibre.
- Gestion des risques** – Évaluation systématique du système d'utilisation des eaux usées, des excreta ou des eaux ménagères, identification de dangers ou d'événements dangereux particuliers, évaluation des risques, développement et mise en œuvre de stratégies préventives pour gérer les risques.
- Hôte intermédiaire** – Hôte abritant des stades juvéniles d'un parasite avant l'hôte définitif et dans lequel une reproduction asexuée s'effectue souvent (pour les trématodes ou les schistosomes transmis par les aliments, par exemple, les hôtes intermédiaires sont des espèces particulières d'escargot).
- Hypochlorite** – Produit chimique fréquemment utilisé pour la désinfection (hypochlorite de sodium ou de calcium).
- Infection** – Pénétration et développement ou multiplication d'un agent infectieux chez un hôte. L'infection peut ou non déclencher des symptômes pathologiques (diarrhée, par exemple). Elle peut être mesurée par détection des agents infectieux dans les excreta ou dans les zones colonisées ou par dosage d'une réponse immunitaire de l'hôte (présence d'anticorps contre l'agent infectieux, par exemple).
- Irrigation localisée** – Techniques d'irrigation appliquant l'eau directement sur les cultures, soit par goutte-à-goutte, soit par ajutage. Ces techniques utilisent généralement moins d'eau, entraînent moins de contamination croisée et limitent les contacts entre humains et eaux usées.
- Irrigation par goutte-à-goutte** – Système d'irrigation délivrant des gouttes d'eau directement sur les végétaux par des tuyaux. Des petits trous ou des émetteurs contrôlent la quantité d'eau libérée en direction des végétaux. Ce mode d'irrigation ne contamine pas les surfaces végétales situées au-dessus du sol.
- Irrigation restreinte** – Utilisation d'eaux usées pour cultiver des cultures qui ne seront pas consommées crues par des êtres humains.
- Irrigation sans restriction** – Utilisation d'eaux usées traitées pour faire pousser des cultures qui seront normalement consommées crues.
- Irrigation souterraine** – Irrigation au-dessous de la surface du sol; prévient la contamination des parties aériennes des cultures.
- Kyste** – Stade infectieux de la vie parasitique résistant à l'égard de l'environnement (*Giardia*, *Taenia*, par exemple).
- Latrine suspendue** – Latrine qui se vide directement dans une mare ou autre étendue d'eau.
- Législation** – Ensemble de lois votées par un organe législatif ou le fait d'élaborer ou de promulguer des lois.
- Maladie** – Symptômes d'une pathologie chez un hôte: par exemple diarrhée, fièvre, vomissements, sang dans les urines, etc.
- Maladie à transmission vectorielle** – Maladie pouvant être transmise d'homme à homme par le biais d'insectes (paludisme, par exemple).

- Marais artificiel** – Unité du type bassin artificiel ou cuve, destinée au traitement des boues fécales ou des eaux usées, constituée principalement d'une masse filtrante plantée de végétaux aquatiques émergents.
- Matières de vidange** – Excreta non traités transportés sans eau, par exemple avec des conteneurs ou des seaux; terme souvent utilisé de manière non spécifique pour désigner des matières fécales d'origine quelconque. L'usage technique de ce terme n'est donc pas recommandé.
- Médiane** – Valeur moyenne d'une série d'échantillons (50% des valeurs des échantillons sont inférieures et 50% sont supérieures à la médiane).
- Métacercaires (infectieuses)** – Stade du cycle de vie des parasites trématodes infectieux pour les hommes. Les métacercaires peuvent former des kystes dans le tissu musculaire du poisson ou à la surface des végétaux, selon l'espèce de trématode.
- Moyenne arithmétique** – Somme des valeurs de tous les échantillons, divisée par le nombre d'échantillons; fournit la valeur moyenne par échantillon.
- Moyenne géométrique** – Mesure une tendance centrale comme une moyenne. Elle diffère de la moyenne traditionnelle (appelée moyenne arithmétique) par l'utilisation de la multiplication au lieu de l'addition pour résumer les valeurs des données.
- Objectif lié à la santé** – Niveau de protection sanitaire défini pour une exposition donnée. Peut reposer sur une mesure de la maladie, par exemple 10^{-6} DALY par personne et par an, ou sur l'absence d'une maladie spécifique associée à l'exposition.
- Oocyste** – Structure formée par certains protozoaires coccidiens (*Cryptosporidium*, par exemple) à l'issue de la reproduction sexuelle au cours du cycle de vie. L'oocyste est habituellement le stade infectieux et environnemental et contient des sporozoïtes. Dans le cas de protozoaires entériques, les oocystes sont excrétés dans les fèces.
- Organismes indicateurs** – Micro-organismes dont la présence indique une contamination fécale et éventuellement celle de micro-organismes plus nocifs.
- Période de retrait** – Laps de temps destiné à permettre le dépérissement des agents pathogènes entre l'application des déchets et la récolte.
- pH** – Exprime l'intensité de l'état acide ou basique d'un liquide.
- Politique** – Ensemble de procédures, de règles et de mécanismes d'affectation fournissant la base de programmes et de services. Les politiques fixent des priorités et souvent allouent des ressources pour leur mise en œuvre. Elles sont appliquées à l'aide de quatre types d'instrument: lois et réglementations; mesures économiques; programmes d'information et d'éducation; et affectation de droits et de responsabilités pour la prestation de services.
- Procédés de traitement à haut débit** – Procédés de traitement artificiels, caractérisés par des débits élevés et des temps de séjour hydraulique faibles. Ces procédés comprennent habituellement une étape de traitement primaire pour faire déposer les matières solides, suivie d'une étape de traitement secondaire pour dégrader biologiquement les substances organiques.
- Rayonnement ultraviolet (UV)** – Longueurs d'onde lumineuses plus courtes que celles de la lumière violette visible (380 à 10 nanomètres), utilisées pour inactiver les agents pathogènes (bactéries, protozoaires et virus).
- Réacteur anaérobie à flux ascendant à couverture de boue** – Unité anaérobie à haut débit servant au traitement primaire des eaux usées domestiques. Les eaux usées sont traitées au cours de leur passage à travers une couche de boue (la «couverture» de boue) composée de bactéries anaérobies. Ce procédé de traitement est conçu principalement pour l'élimination des matières organiques (demande biochimique en oxygène).

- Réduction logarithmique** – Efficacité d'élimination des organismes: 1 unité logarithmique = 90%; 2 unités logarithmiques = 99%; 3 unités logarithmiques = 99,9%; etc.
- Réglementation** – Règles établies par une agence ou une entité administrative qui interprètent le règlement définissant les objectifs et les pouvoirs de l'agence ou les circonstances dans lesquelles ce règlement s'applique.
- Réseau d'égout** – Système complet de canalisations, de pompes, de bassins, de cuves, d'unités de traitement et d'infrastructures pour recueillir, transporter, traiter et évacuer les eaux usées.
- Risque** – Probabilité d'un danger ayant des effets préjudiciables sur des populations exposées dans un laps de temps spécifié, couvrant l'ampleur de ce préjudice.
- Risque sanitaire admissible** – Niveau défini de risque sanitaire résultant d'une exposition ou d'une maladie particulière, qui est toléré par la société et utilisé pour fixer des objectifs liés à la santé.
- Séparation à la source** – Diversion des urines, des fèces, des eaux ménagères ou de la totalité, puis collecte (et traitement) séparé.
- Surveillance opérationnelle** – Le fait de mener une séquence planifiée d'observations ou de mesures des paramètres de contrôle pour évaluer si un paramètre de contrôle demeure en fonctionnement à l'intérieur des spécifications de conception (portant, pour le traitement des eaux usées par exemple, sur la turbidité). On s'intéresse plus particulièrement aux paramètres de surveillance pouvant être mesurés rapidement et facilement, et capables d'indiquer si le système fonctionne correctement. Les données de surveillance opérationnelle doivent aider les gestionnaires à prendre des mesures correctives pouvant prévenir la manifestation des dangers.
- Systèmes de traitement biologique à faible débit** – Utilise des procédés biologiques pour traiter les eaux usées dans de grands bassins, habituellement des bassins en terre. Caractérisés par des temps de séjour hydraulique longs. Comme exemples de traitements biologiques à faible débit, on peut mentionner les bassins de stabilisation, les réservoirs de stockage et de traitement des eaux usées et les marais artificiels.
- Temps de séjour** – Temps nécessaire aux eaux usées pour traverser le système.
- Traitement avancé ou tertiaire** – Étapes de traitement ajoutées au traitement secondaire pour éliminer certains constituants, tels que des nutriments, des matières solides en suspension, des matières organiques, des métaux lourds ou des matières solides dissoutes (sels, par exemple).
- Traitement primaire** – Procédé de traitement initial servant à éliminer les matières organiques et inorganiques décantables par sédimentation et les substances flottantes (écume) par écumage. Comme exemples de traitements primaires on peut mentionner la sédimentation primaire, la sédimentation primaire améliorée chimiquement et les réacteurs anaérobies à flux ascendant à couverture de boue.
- Traitement secondaire** – Étape de traitement des eaux usées succédant au traitement primaire. Comprend l'élimination des substances biodégradables dissoutes et des matières organiques colloïdales par des procédés de traitement biologique aérobie artificiels à haut débit. Comme exemples de traitements secondaires on peut mentionner les boues activées, les filtres percolateurs, les bassins de lagunage aérés et les bassins d'oxydation.
- Turbidité** – Trouble de l'eau provoqué par la présence de matières fines en suspension.
- Validation** – Test du système et de ses différents composants pour prouver qu'il est en mesure de remplir des objectifs spécifiés (objectifs de réduction microbienne, par

exemple). À effectuer lors du développement d'un nouveau système ou de l'adjonction de nouveaux procédés.

Vecteur – Insecte véhiculant la maladie d'un animal ou d'un humain à un autre (moustiques, par exemple).

Vérification/surveillance – Application de méthodes, de procédures, de tests et d'autres évaluations, en plus de celles servant à la surveillance opérationnelle, pour déterminer si les paramètres du système sont conformes aux valeurs de conception et/ou si le système remplit des exigences spécifiées (analyse de la qualité microbiologique de l'eau à la recherche d'*E. coli* ou d'œufs d'helminthes, analyse microbienne ou chimique des cultures irriguées, par exemple).

Zone tampon – Terrain séparant les zones d'utilisation des eaux usées, des excreta et/ou des eaux ménagères des zones accessibles au public ; sert à prévenir l'exposition de la population aux dangers associés aux eaux usées, aux excreta et/ou aux eaux ménagères.

Cette troisième édition des *Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères* a été complètement mise à jour pour prendre en compte les nouveaux éléments scientifiques et les approches actuelles de la gestion des risques. Ces Directives révisées reflètent l'importance accordée à la prévention des maladies et aux principes de la santé publique.

Cette nouvelle édition répond à une demande grandissante de la part des Membres de l'OMS en conseils pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères en agriculture et en aquaculture. Elle s'adresse notamment aux spécialistes de l'environnement et de la santé publique, aux chercheurs, aux ingénieurs, aux décideurs politiques et aux responsables du développement des normes et des réglementations.

Ces Directives se présentent en quatre volumes séparés. *Volume I: Aspects politiques et réglementaires*; *Volume II: Utilisation des eaux usées en agriculture*; *Volume III: Utilisation des eaux usées et des excréta en aquaculture*; et *Volume IV: Utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture*.

Le Volume III des Directives apporte des informations au lecteur sur l'évaluation des dangers microbiens et des produits chimiques toxiques et sur la gestion des risques associés dans le cadre de l'utilisation d'eaux usées et d'excréta en aquaculture. Il explique les exigences destinées à promouvoir les pratiques d'utilisation sans risque, et notamment les procédures minimales et certains objectifs liés à la santé. Il place les arbitrages entre les risques potentiels et les bénéfices nutritionnels dans le contexte plus large du développement.

