

Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires pour l'eau et l'assainissement

Introduction

Les Directives environnementales, sanitaires et sécuritaires (Directives EHS) sont des documents de références techniques qui présentent des exemples de bonnes pratiques internationales¹, de portée générale ou concernant une branche d'activité particulière. Lorsqu'un ou plusieurs États membres participent à un projet du Groupe de la Banque mondiale, les Directives EHS doivent être suivies conformément aux politiques et normes de ces pays. Les directives EHS établies pour les différentes branches d'activité sont conçues pour être utilisées conjointement avec les **Directives EHS générales**, qui présentent des principes directeurs environnementaux, sanitaires et sécuritaires applicables dans tous les domaines. Les projets complexes peuvent exiger l'application de plusieurs directives couvrant des des branches d'activité différentes. La liste complète de ces directives figure à l'adresse suivante:

<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

Les Directives EHS indiquent les mesures et les niveaux de

¹ C'est-à-dire les pratiques que l'on peut raisonnablement attendre de professionnels qualifiés et chevronnés faisant preuve de compétence professionnelle, de diligence, de prudence et de prévoyance dans le cadre de la poursuite d'activités du même type dans des circonstances identiques ou similaires partout dans le monde. Les circonstances que des professionnels qualifiés et chevronnés peuvent rencontrer lorsqu'ils évaluent toute la gamme des techniques de prévention de la pollution et de dépollution applicables dans le cadre d'un projet peuvent inclure, sans toutefois s'y limiter, divers degrés de dégradation environnementale et de capacité d'assimilation de l'environnement ainsi que différents niveaux de faisabilité financière et technique.

performance qui sont généralement considérés réalisables dans de nouvelles installations avec les technologies existantes à un coût raisonnable. L'application des Directives EHS dans des installations existantes peut nécessiter la définition d'objectifs spécifiques à chaque site et l'établissement d'un calendrier adapté pour atteindre ces objectifs.

Le champ d'application des Directives EHS doit être fonction des aléas et des risques identifiés pour chaque projet sur la base des résultats d'une évaluation environnementale qui prend en compte des éléments spécifiques au projet, comme les conditions en vigueur dans le pays dans lequel le projet est réalisé, la capacité d'assimilation de l'environnement, et d'autres facteurs propres au projet. La mise en oeuvre de recommandations techniques particulières doit être établie sur la base de l'opinion professionnelle des personnes ayant les qualifications et l'expérience nécessaires. Si les seuils et normes stipulés dans les réglementations du pays d'accueil diffèrent de ceux indiqués dans les Directives EHS, les normes les plus rigoureuses seront retenues pour les projets menés dans ce pays. Si des niveaux moins contraignants que ceux des Directives EHS peuvent être retenus pour des raisons particulières dans le contexte du projet, une justification détaillée pour chacune de ces alternatives doit être présentée dans le cadre de l'évaluation environnementale du site considéré. Cette justification devra montrer que les niveaux de performance proposés permettent de protéger la santé de la population humaine et l'environnement.

Champ d'application

Les Directives EHS pour l'eau et l'assainissement présentent des informations pour l'exploitation et l'entretien : i) des systèmes de traitement et de distribution d'eau potable, et ii) des systèmes de collecte des eaux usées centralisés (réseaux d'égout) ou décentralisés (fosses septiques vidangées au moyen de camions de pompage), et iii) des établissements centralisés² qui procèdent au traitement des eaux usées collectées.

Ce document se compose des sections ci-après :

Section 1.0 — Description et gestion des impacts propres aux activités considérées

Section 2.0 — Indicateurs de performance et suivi des résultats

Section 3.0 — Bibliographie et sources d'information supplémentaires

Annexe A — Description générale des activités

1.0 Description et gestion des impacts propres aux activités considérées

1.1 Environnement

Les problèmes environnementaux qui peuvent être associés aux projets d'eau et d'assainissement se posent principalement durant les phases de construction et d'exploitation, et sont fonction des caractéristiques et des composantes de chaque projet. Les mesures recommandées pour gérer les questions EHS associées aux activités de construction qui sont généralement applicables à la construction de travaux de génie civils figurent dans les **Directives EHS générales**.

² Les latrines à fosse et les autres systèmes décentralisés pour lesquels il n'est pas nécessaire d'avoir recours à des services d'entretien et dont les contenus n'ont pas à être envoyés dans des établissements de traitement centralisés ne rentrent pas dans le champ d'application du présent document.

1.1.1 Eau potable

Prélèvement d'eau

Les sources traditionnelles d'eau potable sont les eaux de surface des lacs, des cours d'eau, des rivières, etc. et les eaux souterraines. En l'absence d'eaux de surface ou d'eaux souterraines de qualité suffisante, d'autres sources d'eau dont l'eau de mer, l'eau saumâtre, etc. peuvent être utilisées pour produire de l'eau potable. L'exploitation des ressources en eau nécessite souvent d'effectuer un arbitrage entre la satisfaction des besoins quantitatifs et qualitatifs en eau de la population humaine et ceux du reste de l'environnement. Ce problème est particulièrement difficile à résoudre lorsque les droits sur l'eau ne sont pas clairement alloués, et il doit être réglé avec les parties concernées avant la conception et l'exécution du projet.

Les mesures recommandées pour empêcher, réduire le plus possible et maîtriser les impacts environnementaux associés aux prélèvements en eau, et pour préserver la qualité de l'eau consistant, notamment, à :

- évaluer les effets adverses que des prélèvements au niveau des eaux de surface peuvent avoir sur les écosystèmes en aval, et utiliser des calculs de débit économique pertinents³ pour déterminer les taux de prélèvement acceptables ;
- concevoir les structures relatives aux prélèvements d'eaux de surface, y compris les barrages et les installations de prise d'eau de manière à réduire le plus possible leurs impacts sur les organismes aquatiques. Par exemple :
 - limiter la vitesse maximale de passage de l'eau par les filtres au stade des prélèvements pour éviter d'entraîner des organismes aquatiques
 - éviter de construire des installations de prélèvement

³ Banque mondiale, Water Resources and Environment Technical Note C.1 - Environmental Flow Assessment: Concepts and Materials.

d'eau dans les écosystèmes fragiles. S'il existe des espèces en danger, des espèces menacées d'extinction, ou d'autres espèces protégées dans les limites de la zone d'influence des prélèvements d'eau de surface, veiller à ce que les poissons et les coquillages soient le moins possible perturbés et déplacés en installant des dispositifs tels que des filets faisant office de barrière (sur une base saisonnière ou annuelle), des grilles, et des filtres aquatiques de barrage

- concevoir les structures de confinement et de dérivation de l'eau de manière à ne pas entraver la circulation des poissons et des autres organismes aquatiques et à prévenir tout impact négatif sur la qualité de l'eau
- concevoir les vannes de décharge des barrages de manière à ce qu'elles permettent d'assurer les débits écologiques nécessaires
- éviter de construire des puits et des structures de prélèvement d'eau dans les écosystèmes fragiles ;
- évaluer les effets adverses que le prélèvement d'eaux souterraines peut avoir, notamment en établissant des modèles des variations du niveau des eaux souterraines et leur impact sur le débit des eaux de surface, la possibilité d'affaissements de terrains, la mobilisation de contaminants et l'intrusion d'eau salée. Modifier les taux et les sites des prélèvements lorsque cela s'avère nécessaire pour prévenir tout impact inacceptable dans l'immédiat et à l'avenir compte tenu d'hypothèses réalistes sur l'augmentation future de la demande.

Traitement de l'eau

Les questions environnementales associées au traitement de l'eau relèvent des catégories suivantes :

- Déchets solides
- Eaux usées
- Produits chimiques dangereux
- Émissions atmosphériques
- Impacts écologiques

Déchets solides

Les déchets solides résiduels générés par le traitement de l'eau comprennent les résidus générés par le processus, les membranes de filtration usées, les milieux épuisés et divers déchets. Les résidus des processus de traitement proviennent principalement de la sédimentation des solides en suspension initialement dans l'eau et des produits chimiques qui y sont ajoutés durant son traitement, comme la chaux et les coagulants. La présédimentation, la coagulation (par ex., avec de l'hydroxyde d'aluminium [alum] ou de l'hydroxyde ferrique), l'adoucissement à la chaux, l'enlèvement du fer et du manganèse, et le processus de filtration lente sur sables et sur terre diatomée sont autant d'opérations qui produisent des boues. La composition de ces dernières dépend de la méthode de traitement et des caractéristiques initiales de l'eau ; elle peut inclure de l'arsenic et d'autres métaux, des radionucléides, de la chaux, des polymères et d'autres composés organiques, des microorganismes, etc. Les systèmes utilisés pour dessaler l'eau produisent généralement des membranes endommagées ou épuisées. Les milieux épuisés peuvent comprendre les milieux filtrants (y compris les sables, le charbon ou les terres diatomées des usines de filtration), les résines échangeuses d'ions, du charbon actif en granulé [CAG], etc.

Les mesures recommandées pour gérer les déchets solides produits par le traitement de l'eau consistent, notamment, à :

- réduire le plus possible la quantité de solides générés par le traitement de l'eau en optimisant les processus de coagulation ;

- éliminer les boues résiduelles de chaux en procédant à leur épandage, si cette pratique est autorisée, en limitant les taux d'application à environ 20 tonnes sèches l'hectare pour réduire le plus possible le risque de mobilisation de métaux dans les tissus végétaux et les eaux souterraines⁴ ;
- éliminer les boues qui contiennent du fer et de l'aluminium en procédant à leur épandage, si cette pratique est autorisée et s'il a pu être établi, par l'application de modèles et de sondages, que cette opération n'aura pas d'impact défavorable sur les eaux souterraines ou les eaux de surface (par suite, notamment, du ruissellement de nutriments). Employer les boues contenant des particules de fer et celles qui contiennent des particules d'aluminium de manière équilibrée pour lier le phosphore (contenu, par exemple, dans le fumier provenant des élevages) pour éviter que l'aluminium ne soit source de phytotoxicité, que les niveaux de fer soient supérieurs à ceux qui définissent une contamination des engrais par les métaux dans les fertilisants, ou que les niveaux de phosphore disponibles soient trop bas ;
- évaluer l'impact que peut avoir l'utilisation de terrains dans le cadre de systèmes de traitement des déchets ou des eaux usées sur la préservation, la conservation et la viabilité à long terme des ressources en eau et en terres ;
- prévoir un processus d'élimination spéciale si l'eau avant traitement contient des niveaux élevés de métaux toxiques comme de l'arsenic, des radionucléides, etc. ;
- régénérer le charbon actif (par ex., en renvoyant le charbon épuisé au fournisseur).

Eaux usées

Les eaux usées produites par les projets de traitement de l'eau englobent les eaux de lavage des filtres à contre-courant, les

rejets des processus de filtration sur membrane, et les flux de saumure générés par les processus d'échanges d'ions ou de déminéralisation. Ces déchets peuvent contenir des particules solides en suspension et des substances organiques provenant de l'eau brute, avoir une teneur élevée en solides dissous, un pH élevé ou faible, contenir des métaux lourds, etc.

Les mesures recommandées pour gérer les déchets solides des eaux usées consistent, notamment, à :

- épandre les déchets qui contiennent des concentrations élevées de solides dissous plutôt que rejeter ces déchets dans les eaux de surface, sous réserve des conclusions d'une évaluation de l'impact que pourrait avoir un tel épandage sur les sols, les eaux souterraines et les eaux de surface ;
- recycler les eaux de lavage à contre-courant en les réintégrant dans le processus, si possible ;
- traiter et éliminer les rejets, y compris la saumure, conformément aux normes nationales et locales. Les options qui peuvent être retenues consistent à rejeter les effluents dans les eaux d'origine (par ex., la mer, la source d'eau saumâtre, etc.) ou dans un réseau d'égout municipal, à leur faire subir un processus d'évaporation ou à les injecter en sous-sol.

Produits chimiques dangereux

Le processus de traitement de l'eau peut impliquer l'utilisation de produits chimiques à des fins de coagulation, de désinfection et de conditionnement de l'eau. En règle générale, les effets que peuvent avoir le stockage et l'utilisation des produits chimiques, et les mesures d'atténuation connexes, sont semblables à ceux d'autres projets industriels et sont traités dans les **Directives EHS générales**.

Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus

⁴ Management of Water Treatment Plant Residuals, Technology Transfer Handbook, EPA/625/R-95/008, avril 1996

possible, minimiser et maîtriser les impacts que le stockage, la manipulation et l'utilisation de produits chimiques à des fins de désinfection dans les stations d'épuration des eaux usées sont indiquée ci-après^{5,6,7} :

- Pour les systèmes à chloration gazeuse :
 - installer des systèmes d'alarme et de sécurité, y compris des clapets de fermeture automatique, qui se déclenchent automatiquement lorsqu'une émanation de chlore est détectée
 - mettre en place des systèmes de confinement et d'épuration pour piéger et neutraliser le chlore en cas de fuite
 - utiliser des canalisations, des valves, des doseurs et autres matériels en contact avec du chlore gazeux ou liquide, fabriqués à partir de matériaux résistant à la corrosion et veiller à éviter tout contact avec des contaminants, y compris huiles et graisses
 - entreposer le chlore à l'écart de toute source de produits chimiques organiques et le conserver à l'abri de la lumière, de l'humidité et de températures élevées
- conserver l'hypochlorite de sodium dans un endroit frais, sec et sombre, pas plus d'un mois, et utiliser des matériels fabriqués à partir de matériaux résistant à la corrosion ;
- entreposer l'hypochlorite de calcium à l'écart de toute substance organique et le protéger de l'humidité ; vider entièrement ou refermer hermétiquement les conteneurs d'expédition pour enlever toute trace d'humidité.
L'hypochlorite de calcium peut être conservé au maximum un an ;

- placer les aires de stockage d'ammoniac et les dispositifs d'alimentation en ammoniac à l'écart des aires de stockage de chlore et d'hypochlorite et des dispositifs d'alimentation en chlore et en hypochlorite ;
- réduire le plus possible la quantité de produits chimiques utilisés à des fins de chloration stockée sur le site, en veillant toutefois à disposer de stocks suffisants pour faire face à des ruptures d'approvisionnement éventuelles ;
- élaborer et mettre en œuvre un programme de prévention couvrant l'identification des risques, des procédures opérationnelles écrites, des programmes de formation, des activités de maintenance, et des procédures d'enquête en cas d'accident ;
- mettre au point et en application un plan d'intervention en cas de rejet accidentel.

Émissions atmosphériques

Les substances qui peuvent être émises dans l'air dans le cadre des activités de traitement de l'eau sont, notamment, l'ozone (en cas de désinfection à l'ozone) et les substances chimiques, sous forme gazeuse ou volatils, utilisées dans le processus de désinfection (par ex., le chlore et l'ammoniac). Les mesures indiquées précédemment pour les produits chimiques dangereux atténuent les risques de rejet de chlore et d'ammoniac. Par ailleurs, il est aussi recommandé de manière spécifique, pour gérer les émissions atmosphériques, d'installer un dispositif de destruction de l'ozone au niveau des événements du réacteur (fonctionnant, par exemple, par oxydation catalytique, par oxydation thermique ou au moyen de charbon actif en granulés (CAG)).

Distribution d'eau

Les aspects des réseaux de distribution d'eau les plus fondamentaux pour l'hygiène du milieu sont le maintien d'une pression adéquate pour protéger la qualité de l'eau dans le

⁵ WorkSafeBC, Chlorine Safe Work Practices
http://www.worksafebc.com/publications/health_and_safety/by_topic/assets/pdf/chlorine.pdf.

⁶ National Drinking Water Clearinghouse Tech Brief: Disinfection,
http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/pdf/OT/TB/TB1_Disinfection.pdf.

⁷ Chlorine Institute, <http://www.chlorineinstitute.org/Bookstore/SearchBrowse.cfm>

système, l'étendue du système et l'entretien requis pour assurer une distribution fiable d'eau de qualité adéquate. Les problèmes environnementaux les plus significatifs posés par l'exploitation des systèmes de distribution d'eau comprennent :

- Les fuites et les pertes de charge du réseau d'approvisionnement en eau
- La décharge d'eau

Fuites et pertes de charge du réseau

Des fuites peuvent réduire la pression dans le réseau et, ce faisant, compromettre l'intégrité de celui-ci et sa capacité à maintenir la qualité de l'eau (en permettant des infiltrations d'eau contaminée) ; elles peuvent aussi accroître la demande d'eau prétraitée et la quantité de produits chimiques et d'énergie utilisée pour le pompage et le traitement. Les fuites qui surviennent dans les réseaux de distribution d'eau peuvent provenir d'une installation ou d'une maintenance inadéquate, d'une protection contre la corrosion insuffisante, d'un tassement des sols, des impacts de la circulation et des vibrations, des charges imposées par le gel, de surcharges, et d'autres facteurs. Les mesures recommandées pour prévenir et réduire le plus possible les pertes d'eau provenant des réseaux de distribution d'eau consistent, notamment, à :

- veiller à ce que les travaux et les ouvrages soient conformes aux normes applicables et aux pratiques établies dans cette branche d'activité particulière⁸ ;
- inspecter et entretenir régulièrement les réseaux ;
- mettre en œuvre un programme de détection et de réparation des fuites (donnant par ailleurs lieu à l'enregistrement des fuites et des déperditions d'eau antérieures pour identifier les zones qui peuvent poser

problème) ;

- envisager de remplacer les conduites d'adduction connues pour être le site de fuites ou exposées à de plus grands risques de fuite en raison de leur emplacement, des charges imposées, et d'autres facteurs.

Décharge d'eau

Il est possible de procéder périodiquement au nettoyage des canalisations par chasse d'eau pour enlever les sédiments et autres impuretés qui ont pu s'y accumuler. Le nettoyage par chasse d'eau s'effectue par section ; lorsqu'une section est coupée du système de distribution, les valves de chasse d'eau ou, plus couramment, les bouches d'incendies sont ouvertes pour qu'une grande quantité d'eau puisse circuler avec une vitesse d'écoulement élevé et entraîner les sédiments accumulés. Le principal problème environnemental posé par le système de nettoyage par chasse d'eau est le rejet de l'eau de chasse, qui peut avoir une teneur élevée en particules solides en suspension, en chlore résiduaire, et autres contaminants qui peuvent endommager les masses d'eaux de surface. Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les impacts du nettoyage par chasse des canalisations d'eau, consistent, notamment, à :

- rejeter l'eau de chasse dans un réseau d'égout municipal d'une capacité adéquate ;
- évacuer l'eau de chasse dans un collecteur pluvial conçu pour que l'eau fasse l'objet des mesures de gestion utilisées pour les eaux de pluie, comme le passage par un bassin de retenue qui permet de décanter les matières solides et d'éliminer le chlore résiduaire avant que l'eau ne soit rejetée ;
- réduire le plus possible l'érosion pouvant être causée par le nettoyage par chasse d'eau, par exemple en évitant de procéder à des rejets dans des zones sujettes à l'érosion et en dispersant l'écoulement pour en réduire la vitesse.

⁸ Voir, par exemple, le Guide national pour des infrastructures municipales durables (InfraGuide) canadien ; et les normes de American Water Works Association.

1.1.2 Assainissement

L'expression système d'assainissement concernent les installations et services utilisés par les ménages et les communautés pour gérer les excréments humains dans de bonnes conditions de sécurité⁹. Un système d'assainissement collecte les excréments et crée une barrière efficace pour empêcher tout contact avec la personne humaine ; les transporte vers un site approprié ; les stocke et/ou les traite ; et les réutilise ou les rejette dans le milieu naturel. Les systèmes d'assainissement peuvent transporter, outre les excréments, les eaux usées ménagères et les eaux de pluie¹⁰. Les installations de transport, de stockage et d'élimination peuvent aussi gérer les déchets provenant de bâtiments d'entreprises, d'établissements commerciaux et d'institutions.

Collecte des boues fécales et des effluents de fosses septiques / d'eaux résiduaires

Dans les communautés qui ne sont pas raccordées à des réseaux d'égout, l'assainissement peut être assuré par des systèmes non collectifs tels que latrines à fosse, latrines à seau ou toilettes à chasse d'eau reliées à des fosses septiques. Comme pour les latrines à fosse et à seau qui doivent être vidées fréquemment (généralement chaque jour ou chaque semaine), il faut enlever des systèmes de fosses septiques les matières solides qui s'y accumulent (effluents de fosses septiques / d'eaux résiduaires) périodiquement, en principe tous les 2 à 5 ans selon la conception de la fosse et l'usage qui en est fait, pour assurer leur bon fonctionnement et prévenir l'engorgement et les débordements qui se traduisent par un rejet de leur contenu. Lorsqu'il n'y a pas d'installation adéquate de stockage, de manutention et d'épuration des boues fécales, celles-ci risquent d'être jetées indifféremment dans l'environnement ou utilisées de manière non hygiénique à des

⁹ Excréments et urine

¹⁰ Le surplus d'eau de pluie qui ne percole pas naturellement dans le sol.

fins agricoles.

Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les rejets d'effluents de fosses septiques / d'eaux résiduaires et autres boues fécales, consistent, notamment, à :

- promouvoir et faciliter une bonne conception des fosses septiques ainsi que l'amélioration de leur entretien. La conception de la fosse septique doit concilier l'obtention d'effluents de bonne qualité et les besoins d'entretien¹¹ ;
- examiner la possibilité de prendre des dispositions pour assurer une collecte systématique et régulière des boues fécales et des déchets septiques ;
- utiliser des véhicules de collecte appropriés. Il peut être nécessaire de combiner l'utilisation de camions-citernes à pression et des remorques à pression de plus petite taille et non motorisées pour assurer un service d'entretien à tous les ménages ;
- faciliter le rejet des boues fécales et des effluents de fosses septiques / d'eaux résiduaires dans les installations de stockage et de traitement pour éviter que des effluents de fosses septiques/d'eaux résiduaires non traités ne soient rejetés dans l'environnement.

Réseau d'égout

Lorsque des facteurs comme la densité de la population ou les conditions locales ne permettent pas de recourir à des systèmes d'assainissement non collectifs (comme les fosses septiques et les champs d'épuration) de manière efficace, les eaux usées sont généralement évacuées par un système de conduites, de pompes et autres ouvrages connexes (réseau d'égout) vers une

¹¹ Des exemples des aspects fondamentaux devant être pris en compte au stade de la conception de systèmes septiques sont donnés dans les **Directives EHS générale**. Des structures plus complexes (fosses à trois compartiments, dotés de filtres à sable, etc.) peuvent améliorer la qualité de l'effluent mais, les fosses de ce type risquent davantage de se boucher et de poser d'autres problèmes, en particulier si elles ne sont pas entretenues régulièrement.

installation centrale de stockage et/ou de traitement. Les solides et les liquides peuvent être amenés à un site central, ou les matières solides contenues dans les eaux usées peuvent être récupérées dans des collecteurs d'interception locaux et périodiquement enlevées de ces collecteurs (se reporter à la section ci-dessus intitulée Collecte des boues fécales et des effluents de fosses septiques / d'eaux résiduelles) tandis que les effluents liquides sont amenés dans un site central où ils sont stockés, traités ou éliminés. Les utilisateurs des réseaux d'égout sont aussi bien les entreprises que les institutions et les ménages.

Les eaux ménagères (utilisées pour la lessive, la cuisine, la toilette et autres activités domestiques qui ne génèrent en principe pas d'excréments) sont parfois collectées et gérées séparément des eaux usées. Bien que les eaux ménagères soient en principe moins polluées que les eaux usées domestiques ou industrielles, elles risquent d'avoir des niveaux élevés de microorganismes pathogènes, de solides en suspension, et de substances telles que huiles et graisses, savons, détergents et autres produits chimiques ménagers, et avoir des impacts négatifs sur la santé humaine et sur la qualité des sols et des eaux souterraines.

Les impacts environnementaux les plus graves provenant de la collecte des eaux usées tiennent aux :

- Rejets d'eaux usées domestiques
- Rejets d'eaux usées industrielles
- Fuites et débordements

Rejets d'eaux usées domestiques

Le rejet incontrôlé d'eaux usées domestiques, y compris les eaux d'égout et les eaux ménagères, dans les systèmes aquatiques peuvent conduire, entre autres, à la contamination microbienne et chimique des eaux réceptrices, à leur

appauvrissement en oxygène, à l'accroissement de la turbidité, et à l'eutrophisation. Le rejet des eaux usées dans les rues ou à même la terre peut contribuer à la propagation des maladies et des odeurs, à la contamination des puits, à la dégradation des rues, etc. Les mesures destinées à protéger l'environnement et la santé publique consistent, notamment, à :

- mettre en place des systèmes (distincts ou communs) permettant de collecter et de gérer efficacement les eaux d'égout et les eaux ménagères ;
- lorsque les eaux ménagères sont gérées séparément des eaux d'égout, appliquer des mesures de contrôle à la source des eaux ménagères pour éviter l'utilisation et le rejet de substances problématiques telles que huiles et graisses, grosses particules ou produits chimiques.

Rejets d'eaux usées industrielles

Les utilisateurs industriels d'un système d'évacuation des eaux usées peuvent rejeter les eaux usées industrielles dans le réseau d'égout. Certains déchets industriels peuvent causer des incendies et des explosions dans le réseau d'égout et les stations d'épuration, perturber les processus de traitement biologiques et autres ou compromettre la santé et la sécurité des travailleurs. Il est également possible que certaines composantes de ces déchets ne soient pas traitées de manière adéquate et qu'elles soient relâchées dans l'atmosphère, rejetées avec les effluents traités, ou inclus dans les résidus de la station de traitement qui peuvent ainsi devenir dangereux.

Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus possible, et maîtriser les rejets industriels dans le système d'égout consistent, notamment, à :

- dans l'idéal, effectuer un traitement ou un prétraitement

pour neutraliser ou éliminer les substances chimiques toxiques au niveau même de l'usine, avant de déverser les effluents dans le système d'égout ou une masse d'eau.

Examiner la possibilité de collaborer avec les autorités publiques pour mettre en œuvre un programme de contrôle initial au niveau des usagers industriels et commerciaux, dans le but de garantir que toutes les eaux usées rejetées dans le réseau d'égout sont traitées de manière efficace¹².

Les substances dont le rejet pose problème sont, par exemple : les substances inflammables, réactives, explosives, corrosives ou radioactives ; les matériaux toxiques ou malodorants ; les déchets médicaux ou à risque infectieux ; les matières solides ou visqueuses qui peuvent faire obstruction à l'écoulement des effluents ou aux opérations des stations d'épuration ; les substances toxiques ; les huiles non biodégradables ; et les polluants pouvant générer des émissions de gaz dangereux ;

- collaborer avec les autorités publiques en vue de l'inspection régulière des installations des entreprises industrielles, et prélever des échantillons des eaux usées déversées dans le réseau d'égout pour assurer le respect des mesures dictées par le programme de contrôle initial ;
- surveiller de manière systématique l'entretien du réseau d'égout et les influents qui arrivent à la station d'épuration ;
- rechercher les sources de polluants en amont qui causent des perturbations ou des interférences dans le fonctionnement de la station d'épuration ;
- faciliter la déclaration publique des déversements et des branchements illicites.

Fuites et débordements

¹² Voir, par exemple, Water Environment Federation, *Developing Source Control Programs for Commercial and Industrial Wastewater*, 1996 ; Fédération canadienne des municipalités, *Contrôle à la source des eaux usées : Synthèse des meilleures pratiques du Guide nationale pour des infrastructures municipales durables*, mars 2003 ; et U.S. EPA Model Pretreatment Ordinance EPA 833-B-06-002.

Les fuites et les débordements des réseaux d'égout peuvent contaminer les sols, les eaux souterraines et les eaux de surface. Selon la profondeur à laquelle se trouvent les eaux souterraines, les fuites dans les canalisations à écoulement libre peuvent aussi permettre aux eaux souterraines de s'infiltrer dans le réseau d'égout, ce qui a pour effet d'accroître le volume d'eaux usées à traiter, risque de causer des inondations et donc des écoulements d'eaux usées non traitées. Il se produit des débordements lorsque le réseau de collecte ne peut pas absorber la totalité des eaux usées, par exemple à la suite de fortes pluies ou d'une panne de courant, de défaillances des matériels, ou d'obturation des ouvrages. Les écoulements excédentaires peuvent contenir des eaux usées brutes, des eaux usées industrielles, et des eaux de ruissellement polluées.

Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les fuites et les débordements consistent, notamment, à :

- examiner la possibilité d'installer des réseaux d'égout séparatifs qui utilisent des collecteurs distincts pour les eaux usées domestiques et pour les eaux pluviales dans le cadre des travaux de planification et de conception de nouveaux réseaux d'égout ;
- lorsque les systèmes d'assainissement non collectifs (individuels ou autonomes) dans lesquels les excréments sont mélangés à de l'eau prédominant, envisager d'utiliser un réseau de canalisations de collecte de petit diamètre pour collecter les effluents liquides des systèmes septiques ou des réservoirs intercepteurs ;
- limiter la profondeur à laquelle se trouvent les égouts, dans la mesure du possible (par exemple, en évitant de placer les conduites sous les rues très fréquentées). Lorsque les réseaux de collecte sont peu profonds, il est possible d'installer de petites chambres de tirage au lieu de plaques d'égouts ;

- utiliser des matériaux locaux adéquats pour la construction des égouts. Il peut être approprié, dans certains cas, d'installer des canalisations en béton centrifugé, mais celles-ci peuvent souffrir de l'action corrosive du sulfure d'hydrogène s'il se produit des obstructions et/ou si la pente des conduites est insuffisante ;
- assurer une capacité hydraulique suffisante pour pouvoir absorber les débits de pointe ainsi qu'une pente adéquate pour les conduites à écoulement libre afin d'empêcher l'accumulation de solides et la génération de sulfure d'hydrogène ;
- concevoir les plaques d'égout de manière à ce qu'elles puissent supporter les charges anticipées, et veiller à ce qu'elles puissent être facilement remplacées si elles se cassent pour éviter dans toute la mesure du possible que des ordures et de boues ne pénètrent dans le système ;
- équiper les stations de pompage d'un système d'alimentation en électricité de secours, un générateur diesel, par exemple, pour assurer la poursuite ininterrompue des opérations durant les pannes de courant, et assurer un entretien régulier pour réduire le plus possible les interruptions de service. Envisager d'installer une capacité de pompage redondante/excédentaire dans les zones cruciales ;
- mettre en place un programme d'entretien régulier qui couvre :
 - l'inventaire de tous les composants du système, indiquant la date de fabrication, les matériaux de construction, les aires de captage, l'élévation, etc.
 - le nettoyage régulier des bassins de dessablement et des conduites d'égout pour enlever la graisse, les sables et autres débris qui peuvent causer des refoulements. Les opérations de nettoyage doivent être plus fréquentes dans les zones qui posent problème. Elles peuvent donner lieu à l'enlèvement de racines d'arbres et autres causes de blocage identifiées.
- l'inspection des ouvrages de collecte des eaux usées et l'identification des endroits auxquels il est nécessaire de procéder à des travaux de réparation ou d'entretien en raison, par exemple, de conduites qui se fissurent/ se dégradent ; de joints d'étanchéité des plaques d'égout qui fuient ; de blocages fréquents des conduites ; de canalisations opérant généralement à pleine ou quasi-pleine capacité ; et de signes d'infiltrations ou de fuites
- le suivi du débit de l'égout pour identifier d'éventuelles entrées ou sorties
- effectuer les réparations selon un ordre de priorité basé sur la nature et la gravité des problèmes. Il importe de procéder immédiatement à des travaux de réparation ou le débouchage lorsque les égouts sont en train de déborder ou lorsque des problèmes urgents se posent, qui peuvent se traduire par un débordement imminent (par ex., une défaillance de la station de pompage, la rupture ou le blocage d'une conduite d'égout) ;
- examiner les rapports antérieurs d'entretien du réseau d'égout pour mieux identifier les « points chauds » ou les endroits qui nécessitent souvent des travaux d'entretien et les sites de défaillance possible du système, et procéder à une maintenance préventive, à la remise en état, ou au remplacement des conduites, lorsque cela s'avère nécessaire ;
- en cas de déversement, de fuite et/ou de débordement, empêcher les eaux d'égout d'entrer dans le réseau de collecte des eaux pluviales en couvrant ou en bloquant les puits d'entrée des eaux pluviales, ou en confinant les eaux d'égout pour les empêcher de pénétrer dans des canaux d'écoulement à surface libre et autres ouvrages du réseau d'évacuation des eaux pluviales (au moyen de sacs

de sable, de barrages gonflables, etc.). Enlever les eaux d'égout au moyen de matériels d'aspiration ou autres dispositifs pour les renvoyer dans le réseau de collecte des eaux usées.

Traitement et rejet des eaux usées et des boues

Il faut généralement traiter les eaux d'égout pour pouvoir les rejeter dans l'environnement en toute sécurité. L'ampleur et la nature du traitement des eaux usées et des boues dépendent des normes applicables, de la manière dont il est prévu d'éliminer ou d'utiliser les effluents liquides et les boues, et de la méthode d'application. Les divers processus de traitement permettent de réduire les solides en suspension (qui peuvent provoquer la sédimentation des rivières, créer des obstructions dans les canaux, et boucher les tuyaux des dispositifs d'irrigation goutte à goutte) ; les substances organiques biodégradables (qui sont consommées par les microorganismes et peuvent provoquer une réduction du taux d'oxygène des eaux réceptrices) ; les bactéries pathogènes et d'autres organismes phytopathogènes ; et les nutriments (ce qui stimule la croissance d'algues indésirables qui, lorsqu'elles meurent, viennent accroître la charge en substances organiques biodégradables).

Les options qui peuvent être retenues pour le déversement des eaux usées et leur utilisation sont, notamment, le rejet dans les masses ou cours d'eau naturels ou artificiels ; le rejet dans des bassins de traitement ou des terres humides (y compris les aires d'aquaculture) ; et l'utilisation directe en agriculture (par ex. pour l'irrigation). Dans tous les cas, Il faut tenir compte de l'usage qui est fait de la masse d'eau réceptrice (par ex., navigation, loisirs, irrigation, ou source d'eau potable) et de sa capacité d'absorption, pour déterminer le niveau de qualité que doivent avoir les eaux rejetées pour pouvoir respecter les normes applicables aux usages les plus exigeants.

Les impacts environnementaux les plus importants du traitement, du déversement, et de l'utilisation des eaux usées et des boues rentrent dans les catégories suivantes :

- effluents liquides
- déchets solides
- émissions atmosphériques et odeurs
- substances chimiques dangereuses
- impacts écologiques

Effluents liquides

Les eaux usées traitées (effluents liquides) peuvent être réutilisées, notamment pour l'irrigation, ou éliminées sous réserve de contrôles réglementaires. Si elles ne sont pas réutilisées, les eaux usées traitées peuvent être rejetées dans la mer ; les rivières ; les grandes masses d'eau de surface ; les plans d'eau stagnante de plus petite surface, les zones humides et les lagunes.

Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les effluents liquides consistent, notamment, à :

- éviter dans toute la mesure du possible de contourner le système de traitement en utilisant des systèmes séparatifs pour les eaux pluviales et pour les eaux usées, et en prévoyant une capacité suffisante pour les débits de pointe ;
- mettre en œuvre un programme de contrôle industriel à la source donnant lieu à un suivi et à une application efficace des réglementations en vigueur ;
- collaborer avec les pouvoirs publics pour sélectionner les technologies de traitement appropriées, en tenant compte de facteurs comme la qualité et la quantité d'eaux usées brutes et leur variabilité ; les superficies pouvant être utilisées pour la station d'épuration ; les ressources

disponibles pour financer les dépenses d'équipement, d'exploitation, d'entretien et de réparation ; l'accès à des opérateurs qualifiés et à des personnels d'entretien et l'existence de programmes de formation d'opérateurs, et la disponibilité des produits chimiques nécessaires à l'épuration et de pièces détachées¹³ ;

- concevoir, construire, exploiter et entretenir les établissements de traitement des eaux usées, et obtenir des eaux d'effluent dont la qualité est conforme aux exigences nationales ou aux normes acceptées au plan international¹⁴, qui cadrent avec les objectifs fixés en ce domaine compte tenu de la capacité d'absorption et l'usage final des eaux réceptrices pour lequel les critères de qualité sont les plus rigoureux^{15,16} ;
- examiner la possibilité de rejeter les eaux usées traitées dans des zones humides naturelles ou artificielles qui peuvent servir de zones tampon pour atténuer l'impact des rejets sur l'environnement aquatique, à moins que ces rejets ne compromettent ces mêmes zones humides ;
- traiter les eaux ménagères, dans la mesure où elles sont collectées séparément des eaux d'égout, pour en enlever les polluants organiques et ramener les quantités de solides en suspension, d'organismes pathogènes et d'autres substances problématiques à des niveaux acceptables conformément aux réglementations applicables au niveau national et à l'échelon local¹⁷. Les canalisations réservées aux eaux ménagères et les

équipements aux points de distribution doivent être clairement marqués afin d'éviter que ces eaux ne soient employées par inadvertance à des usages nécessitant une qualité d'eau potable ;

- sur la base d'une évaluation des risques pour la santé humaine et l'hygiène du milieu, examiner la possibilité de réutiliser les effluents traités, en particulier dans les endroits où les sources d'eau brute sont limitées. La qualité des eaux usées traitées pour l'épandage ou d'autres applications doit être conforme aux principes directeurs applicables en matière de santé publique de l'Organisation mondiale de la santé (OMS)¹⁸ et aux exigences requises à l'échelon national.

Déchets solides

Les solides qui sont retirés des systèmes de collecte et de traitement des eaux usées peuvent contenir des boues et des solides provenant des systèmes de drainage et de collecte des eaux d'égout (y compris les eaux d'infiltration), les refus de dégrillage, et les boues produites par diverses opérations des unités de traitement des eaux usées.

Les stratégies recommandées pour la gestion des déchets solides consistent, notamment, à :

- choisir des technologies de traitement des boues appropriées, en tenant compte, par exemple, de la quantité et de la provenance des boues ; les ressources disponibles pour financer les dépenses d'équipement, de formation, d'exploitation et d'entretien ; l'accès à des opérateurs qualifiés et à des personnels d'entretien, etc. ; et des méthodes d'élimination ou des utilisations finales prévues pour les matières solides traitées. Les technologies de traitement des boues sont examinées à l'annexe A ;

¹³ Voir l'annexe A pour une description rapide des technologies de traitement des eaux usées.

¹⁴ Voir, par exemple, U.S. EPA regulations at 40 CFR Part 133 regarding Secondary Treatment, et Council Directive 91/271/EEC du 21 mai 1991 Concerning Urban Waste-Water Treatment.

¹⁵ Voir Organisation mondiale de la Santé, Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff, 1993.

¹⁶ Consulter la section intitulée « Rejet dans les eaux de surface » des Directives EHS générales.

¹⁷ Peu de pays ont élaboré des réglementations spécifiques pour les eaux ménagères : quelques états d'Amérique du Nord (Arizona, Nouveau Mexique, Californie, New Jersey), l'Australie (Queensland, New South Wales) et la Chine (Beijing, Tianjin).

¹⁸ OMS : Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (2006).

- n'envisager de réutiliser les résidus des stations d'épuration, notamment pour l'épandage, que sur la base d'une évaluation des risques pour la santé humaine et l'hygiène du milieu. La qualité des résidus utilisés pour l'épandage doit être conforme aux principes directeurs applicables en matière de santé publique de l'Organisation mondiale de la santé (OMS)¹⁹ et aux exigences requises à l'échelon national ;
- traiter, éliminer et réutiliser les résidus des stations d'épuration conformément aux exigences définies à l'échelon national ou, en leur absence, les principes directeurs et les normes acceptés au plan international.²⁰
- couvrir les points d'émission (par ex., les bassins d'aération, les clarificateurs, les épaisseurs de boue, les réservoirs et les canaux), et faire transiter les émissions par des systèmes de contrôle (lits de compost, filtres biologiques, épureurs chimiques, etc.), lorsque cela s'avère nécessaire pour atténuer les odeurs et respecter toutes autres exigences applicables à l'échelon national et aux directives acceptées au plan international ;
- si nécessaire, examiner la possibilité d'adopter d'autres technologies d'aération ou de configurer différemment les processus pour réduire la volatilisation.

Émissions atmosphériques et odeurs

Les émissions atmosphériques des opérations de traitement des eaux usées peuvent contenir du sulfure d'hydrogène, du méthane, de l'ozone (dans le cas des systèmes de désinfection à l'ozone), des composés organiques volatils (tels que ceux provenant des rejets d'eaux industrielles), des produits chimiques gazeux ou volatils utilisés dans les processus de désinfection (par ex., le chlore et l'ammoniac), et des bioaérosols (examinés dans la section 1.2 ci-après). Les odeurs qui émanent des stations d'épuration peuvent également incommoder les travailleurs et les communautés avoisinantes.

Les mesures de gestion des émissions atmosphériques produites par les systèmes de traitement de l'eau de boisson, examinés précédemment valent aussi de manière générale pour le traitement des eaux usées. Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les émissions atmosphériques et les odeurs consistent, notamment, à :

¹⁹ Directives de l'OMS relatives à l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (2006).

²⁰ Voir, par exemple, U.S. EPA regulations at 40 CFR Part 503—Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge ; la Directive du Conseil 91/271/CEE du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires ; et U.S. EPA, Emerging Technologies for Biosolids Management, 832-R-06-005, septembre 2006.

Substances chimiques dangereuses

Le traitement des eaux usées donne fréquemment lieu à l'utilisation de produits chimiques dangereux comme des bases et des acides forts pour contrôler le pH, le chlore ou d'autres composés utilisés pour la désinfection, etc. Les impacts environnementaux et les mesures d'atténuation examinées précédemment dans le cas du processus de désinfection des systèmes de traitement de l'eau de boisson sont généralement applicables aux opérations de désinfection des stations d'épuration des eaux usées. Des recommandations supplémentaires sur la gestion des substances chimiques figurent dans les **Directives EHS générales**.

1.2 Hygiène et sécurité au travail

Les problèmes d'hygiène et de sécurité au travail susceptibles de se poser au cours des phases de construction et de démantèlement des installations d'approvisionnement en eau et d'assainissement sont semblables à ceux rencontrés dans d'autres grands projets industriels et sont traités dans les **Directives EHS générales**. Les problèmes d'hygiène et de sécurité au travail associés à la phase opérationnelle des projets d'approvisionnement en eau et d'assainissement rentrent principalement dans les catégories suivantes :

- accidents et blessures
- exposition à des substances chimiques
- atmosphère dangereuse
- exposition aux pathogènes et aux vecteurs
- bruit

Accidents et blessures

Le travail dans les installations d'approvisionnement en eau et d'assainissement demande souvent de gros efforts physiques et peut poser des risques du fait de la proximité de masses d'eau libre, de tranchées, de passerelles glissantes, du travail en hauteur, de circuits électriques sous tension et de matériels lourds. Certaines activités impliquent par ailleurs l'entrée dans des espaces confinés, y compris les plaques d'égouts, les égouts, les canalisations, les réservoirs de stockage, les puisards, les digesteurs, et les stations de pompage. Le méthane produit par la biodégradation anaérobie des eaux d'égout peut provoquer des incendies et des explosions.

Les mesures d'atténuation des risques d'accidents et de blessures sont examinées dans les **Directives EHS générales**. Il est aussi recommandé d'adopter des procédures pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les risques d'accidents et de blessures dans les installations d'approvisionnement en eau et d'assainissement qui consistent, notamment, à :

- installer des garde-fous autour de tous les réservoirs et de toutes les fosses de traitement. Exiger le port d'un cordage de sécurité et d'un vêtement de flottaison individuel (VFI) par les personnes se trouvant à l'intérieur des garde-fous, et veiller à ce que les bouées de sauvetage et les sacs de sauvetage soient facilement accessibles ;
- exiger le port de VFI lorsque des travaux sont effectués à proximité de voies d'eau ;

- appliquer des procédures d'entrée dans les espaces confinés qui sont conformes aux exigences applicables à l'échelon national et aux normes acceptées au plan international²¹. Les vannes des réservoirs de traitement doivent être verrouillées pour empêcher toute inondation accidentelle durant les opérations d'entretien ;
- employer des systèmes de protection contre les chutes pour les travaux effectués en hauteur ;
- maintenir les aires de travail de manière à réduire le plus possible les risques de glissade et de trébuchement ;
- utiliser des techniques appropriées pour creuser les tranchées et les étayer ;
- appliquer des mesures de prévention des incendies et des explosions conformes aux normes acceptées au plan international²² ;
- Durant les travaux d'installation ou de réparation de conduites adjacentes à une route, suivre des procédures et prendre des mesures de gestion de la circulation pour, notamment :
 - délimiter les zones de travail de manière à mettre les travailleurs à l'abri de la circulation et des machines dans la mesure du possible ;
 - réduire la vitesse dans les zones de travaux ;
 - exiger le port de vêtements de sécurité très visibles par les travailleurs opérant à proximité des véhicules ;
 - assurer un éclairage adéquat du chantier pour le travail de nuit en prenant garde, toutefois, à n'éblouir ni les ouvriers ni les conducteurs ;
- identifier l'emplacement de tous les équipements publics souterrains avant de procéder à des excavations.

Exposition à des substances chimiques et

²¹ Voir, par exemple, U.S. Occupational Safety and Health Administration regulations at 29 CFR 1910 Subpart J.

²² Voir, par exemple, National Fire Protection Association (NFPA) 820: Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities.

atmosphère dangereuse

Le traitement de l'eau et des eaux usées donne lieu à l'utilisation de produits chimiques potentiellement dangereux, y compris des bases et acides forts, du chlore, de l'hypochlorite de sodium et de calcium, et de l'ammoniac. L'eau peut contenir des substances radioactives et des métaux lourds qui s'accumulent généralement dans les boues de traitement de l'eau. Les sources d'exposition aux radionucléides sont, notamment : les pompes et les conduites où des tartres minéraux peuvent s'accumuler ; les lagunes et les bassins de floculation et de sédimentation où les boues résiduelles se déposent ; les filtres, les stations de pompage, et les citernes de stockage où les tartres et les boues s'accumulent ; les installations où les eaux de lavage des filtres à contre-courant, les saumures ou autres eaux contaminées s'emmagasinent ; les installations fermées (radon) ; les résidus des aires de traitement et de manutention ; et les aires d'épandage ou d'évacuation où les résidus sont pelletés, transportés ou éliminés.

Les eaux usées peuvent contenir des produits chimiques potentiellement dangereux, qui sont fonction de la qualité de l'eau d'origine, des processus de traitement de l'eau de boisson, et des industries qui rejettent leurs effluents dans les égouts ; il s'agit, notamment, de solvants organiques chlorés et de pesticides, de biphényles polychlorés (BPC), de composés aromatiques polycycliques, d'hydrocarbures, d'agents ignifuges, de nitrosamines, de métaux lourds, d'amiante, de dioxines et de matières radioactives. En outre, les travailleurs peuvent être exposés à du sulfure d'hydrogène, du méthane, du monoxyde de carbone, du chloroforme, et à d'autres produits chimiques générés pendant le traitement des eaux usées. L'oxygène peut être déplacé ou consommé par des microorganismes, ce qui crée un environnement déficient en oxygène dans les zones de traitement des eaux usées ou des résidus.

Le respect de procédures prudentes de manutention et de stockage des produits chimiques dangereux, telles que décrites dans les **Directives EHS générales** et dans la section 1.1 précédente, contribue à réduire les risques auxquels les travailleurs peuvent être exposés. Il est aussi recommandé d'adopter des procédures pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les risques d'exposition à des substances chimiques dans les installations d'approvisionnement en eau et d'assainissement qui consistent, notamment, à :

- mettre en œuvre un programme de formation destiné aux opérateurs concernés pour leur apprendre comment manipuler le chlore et l'ammoniac dans de bonnes conditions de sécurité et les familiariser avec les procédures d'intervention d'urgence ;
- fournir des équipements de protection individuelle appropriés (y compris, par exemple, un appareil respiratoire autonome), et prévoir une formation portant sur leur utilisation et leur entretien.
- préparer des plans d'évacuation des zones dans lesquelles il peut se produire des émissions de chlore ou d'ammoniac ;
- Installer des postes de sécurité équipés de douches et de matériels de bain d'yeux près des matériels où se trouvent du chlore et de l'ammoniac et d'autres zones de stockage et d'utilisation de produits chimiques dangereux ;
- lorsque l'eau contient au départ des substances radioactives, installer les unités de traitement de l'eau et les zones où sont entreposées les boues du traitement de l'eau aussi loin que possible des parties communes (par ex., les bureaux) ;
- effectuer des contrôles radiologiques au moins une fois par an, en particulier dans les zones d'enlèvement des radionucléides ;
- ne laisser pénétrer dans le réseau d'égout que les déchets

qui peuvent être efficacement traités dans la station d'épuration, et réduire la quantité de composés dangereux pouvant être extraits à l'air qui pénètrent dans le réseau en contrôlant les rejets industriels (par un système de permis ou une autre méthode similaire). Analyser les eaux usées brutes entrant dans le réseau pour identifier les éléments constitutifs dangereux ;

- ventiler les zones de traitement fermées ainsi que les équipements comme les stations de pompage, avant de procéder aux opérations d'entretien ;
- utiliser des équipements individuels de détection de gaz durant les travaux menés dans une station d'épuration ;
- vérifier continuellement la qualité de l'air dans les aires de travail pour détecter toute situation dangereuse (atmosphère explosive, insuffisance d'oxygène, etc.) ;
- vérifier périodiquement la qualité de l'air dans les aires de travail pour détecter toute substance chimique dangereuse. Si nécessaire, suite à des exigences nationales ou des normes acceptées au plan international en matière d'hygiène au travail, mettre en place des contrôles d'ingénierie pour limiter l'exposition des travailleurs qui consistent, par exemple, à collecter et à traiter les émanations de gaz provenant des procédés de stripage à l'air ;
- interdire de manger, de fumer et de boire en dehors des zones prévues à cet effet ;
- procéder à la rotation du personnel entre les différents services de la station d'épuration pour réduire l'inhalation de produits chimiques lavés à l'air, d'aérosols, et d'autres matières pouvant poser des risques.

Expositions à des pathogènes et vecteurs

Les travailleurs et le personnel administratif des stations d'épuration et de traitement des boues, les personnes travaillant dans les champs où les eaux usées ou les boues traitées sont

épanchées, ainsi que les opérateurs des véhicules de collecte des boues, peuvent être exposés aux nombreux agents pathogènes contenus dans les eaux d'égout. Le traitement de ces dernières peut générer des bioaérosols, qui sont des particules en suspension dans l'air partiellement ou entièrement constituées de microorganismes tels que bactéries, virus, moisissures et champignons microscopiques. Ces microorganismes peuvent rester longtemps en suspension en conservant leur viabilité et leur infectivité. Les travailleurs peuvent être également exposés aux endotoxines qui sont contenues dans les microorganismes et libérées lors de la destruction des cellules, et qui peuvent être transportées par les particules de poussière en suspension dans l'air. Les vecteurs des pathogènes des eaux d'égout sont notamment les insectes (par ex., les mouches), les rongeurs (p. ex. les rats) et les oiseaux (par ex., les mouettes)²³.

Les mesures préconisées pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les expositions à des pathogènes et à des vecteurs consistent, notamment, à :

au stade du traitement des eaux usées et des boues

- inclure dans le programme de formation pour la sécurité des travailleurs les pratiques de manutention sûres et les mesures d'hygiène personnelle qui permettent de réduire l'exposition aux pathogènes et aux vecteurs ;
- enlever les boues fécales au moyen de camions ou de remorques à réservoir aspirateur et non par des méthodes manuelles ;
- fournir et exiger le port de vêtements et d'équipements de protection individuelle appropriés pour prévenir tout contact avec les eaux usées (par ex., des gants en caoutchouc,

²³ U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Regulations and Policy Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage) Under 40 CFR Part 503, EPA/625/R-92/013, Révision de juillet 2003. <http://www.epa.gov/ord/NRMRL/Pubs/1992/625R92013.pdf>.

des tabliers, des bottes, etc.). Assurer surtout rapidement toute assistance médicale nécessaire, couvrir toute lésion cutanée, telle que coupure ou abrasion, pour prévenir une infection, et porter des vêtements et des lunettes de protection contre les projections et les éclaboussures ;

- installer des vestiaires pour permettre aux travailleurs de prendre des douches et de changer de vêtements avant de quitter leur lieu de travail et assurer un service de nettoyage des vêtements de travail. Cette pratique contribue également à minimiser l'exposition aux substances chimiques et aux radionucléides ;
- encourager les travailleurs des stations d'épuration à se laver les mains fréquemment ;
- vacciner les travailleurs (notamment contre l'hépatite B et le tétanos) et suivre leur état de santé, notamment dans le cadre de visites médicales régulières ;
- réduire la formation et la diffusion d'aérosols en prenant, notamment, des mesures consistant à :
 - planter des arbres autour du bassin d'aération pour abriter celui-ci du vent et pour capturer les gouttelettes et les particules
 - utiliser un système de diffusion d'air par fines bulles de préférence à un système mécanique
 - réduire le taux d'aération dans la mesure du possible
 - employer des couvertures flottantes sur la liqueur mixte du bassin d'aération
 - supprimer les gouttelettes juste au-dessus de la surface (par ex., en installant un pare gouttelettes ou un filet maillé au-dessus du bassin) ;
 - colleter les gouttelettes (par ex. par sédimentation ou au moyen d'un épurateur, d'un précipitateur électrostatique ou d'un filtre en tissu)
 - désinfecter les particules en suspension dans l'air (par ex., par rayonnement ultraviolet)
 - utiliser un collecteur d'effluents immergé

(canalisations dotées d'orifices) plutôt que des déversoirs

- éviter de manipuler les dégrilleurs à la main pour éviter de se blesser ;
- assurer le nettoyage et l'entretien systématique des aires de traitement et de stockage des eaux d'égout ;
- informer les personnes souffrant de l'asthme, du diabète ou d'immunosuppression qu'ils ne doivent pas travailler dans des stations d'épuration, en particulier dans les installations de compostage, car ils courent un plus grand risque d'infection.

au stade de l'épandage

- examiner la possibilité d'utiliser les eaux usées traitées pour l'irrigation goutte à goutte afin de réduire l'exposition des travailleurs à ces eaux ainsi que la quantité d'eau nécessaire. Éviter d'employer les eaux usées traitées pour l'irrigation par aspersion dans la mesure du possible ;
- fournir aux personnes sur le terrain des vêtements de protection individuelle tels que gants en caoutchouc et chaussures imperméables ;
- prévoir des stations d'approvisionnement en eau de boisson salubre et d'assainissement (notamment pour permettre aux travailleurs de se laver les mains) ;
- surveiller l'état de santé des travailleurs, notamment par des visites médicales régulières ;
- lutter contre les vecteurs et les hôtes intermédiaires.

Bruit

Les niveaux de bruit peuvent être élevés à proximité des machines et de l'eau circulant dans les installations d'approvisionnement en eau et d'assainissement. Les impacts sont semblables à ceux rencontrés dans d'autres installations industrielles et les mesures d'atténuation qui peuvent être prises sont traitées dans les **Directives EHS générales**.

1.3 Santé et sécurité de la population

Certains impacts de la construction des installations d'approvisionnement en eau et d'assainissement sur la santé et la sécurité de la population sont les mêmes que ceux observés dans d'autres branches d'activité et sont, par conséquent, examinés dans les **Directives EHS générales**. Les impacts relatifs à l'hygiène et à la sécurité des communautés associés à l'exploitation des projets d'eau et d'assainissement sont examinés séparément, ci-après.

1.3.1 Eau de boisson

Prélèvements d'eau (protection des sources d'approvisionnement en eau)

Les sources d'approvisionnement en eaux de surface comme en eaux souterraines peuvent être contaminées par des substances potentiellement toxiques d'origines naturelle et anthropogénique telles que des agents pathogènes, des métaux toxiques (comme l'arsenic), des anions (comme les nitrates), et des composés organiques. Cette contamination peut provenir de sources naturelles, d'actions courantes ou de rejets normaux (par exemple ceux restent dans les limites autorisées), accidentels (par suite de déversements), ou intentionnels (par ex., à la suite d'actes de sabotage).

Les mesures recommandées pour protéger la qualité de l'approvisionnement en eau consistent, notamment, à²⁴ :

- déterminer l'origine de l'eau utilisée (le bassin versant d'un cours d'eau ou la zone d'alimentation de formations aquifères), identifier les sources possibles de

²⁴ Des informations supplémentaires sur la protection de la qualité des ressources en eau peuvent être obtenues dans de nombreuses publications sur la mise en application de la Directive 91/676/CEE du Conseil de l'Union européenne concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles (communément appelée la directive « nitrates ») et la Directive 91/271/CEE (traitement des eaux urbaines résiduaires) à consulter sur le site <http://ec.europa.eu/environment/water/water-nitrates/report.html>.

contamination dans ces zones, et collaborer avec les autorités publiques à l'adoption de plans de gestion conçus pour protéger la qualité de l'eau à sa source, qui peuvent couvrir, entre autres :

- des règlements de zonage
- un programme d'inspection des installations ou de relevé des matières dangereuses
- la communication d'informations aux entreprises sur les règles et normes applicables
- l'obligation pour les nouvelles entreprises d'obtenir une série de permis environnementaux
- un suivi stratégique à l'intérieur de la zone couverte
- l'élaboration et la réalisation de campagnes éducatives pour promouvoir les meilleures pratiques de gestion qui réduisent le risque de contamination de l'eau
- la prise en compte de la nécessité de protéger les eaux de surface dans le cadre de la planification de l'aménagement du territoire à l'échelon régional
- évaluer la mesure dans laquelle la source d'approvisionnement en eau est exposée à des perturbations ou phénomènes naturels, et prendre les mesures de sécurité nécessaires, qui peuvent consister, notamment, à²⁵ :
 - surveiller continuellement les paramètres indicatifs de la qualité de l'eau brute (comme le pH, la conductivité, le carbone organique total [COT], et la toxicité)
 - inspecter les sites sans suivre de calendrier établi
 - dans le cas des réservoirs et des lacs, mettre en place un programme de surveillance communautaire auquel participent les responsables locaux des eaux et forêts et les membres de la communauté qui utilisent le réservoir/le lac

²⁵ Voir, par exemple, American Water Works Association Interim Voluntary Security Guidance for Water Utilities, 9 décembre 2004.

- équiper les têtes de puits de systèmes d'alarme anti-effraction

Traitement de l'eau

Les impacts les plus importants des opérations de traitement de l'eau sur la santé et la sécurité des communautés ont deux origines principales :

- la qualité et la disponibilité de l'eau de boisson
- les substances chimiques dangereuses

Qualité et disponibilité de l'eau de boisson

La santé et l'hygiène des communautés sont tributaires d'une alimentation adéquate en eau de boisson propre. Les mesures recommandées en ce qui concerne le traitement de l'eau consistent, notamment, à :

- veiller à ce la capacité de traitement soit suffisante pour satisfaire la demande prévue ;
- construire, exploiter et entretenir les stations d'épuration d'eau conformément aux exigences nationales et aux normes acceptées au plan international²⁶ en matière de qualité de l'eau ou, en leur absence, aux Directives de qualité pour l'eau de boisson publiées par l'OMS ²⁷;
- évaluer les points vulnérables du système de traitement et prendre des mesures de sécurité appropriées qui peuvent consister, notamment, à²⁸ :
 - procéder à une vérification des antécédents des employés
 - clôturer l'enceinte de la station et installer un système de vidéosurveillance

²⁶ Voir, par exemple, American Water Works Association Standard G100-05: Water Treatment Plant Operation and Management.

²⁷ Consulter le site web de l'OMS à <http://www.who.int> pour la version la plus récente des Directives pour l'eau de boisson.

²⁸ Voir, par exemple, American Water Works Association Interim Voluntary Security Guidance for Water Utilities, 9 décembre 2004.

- améliorer l'alimentation électrique des stations d'épuration. L'installation de systèmes redondants réduit sensiblement les risques auxquels sont exposés les opérations essentielles

Substances chimiques dangereuses

Les substances chimiques associées au traitement de l'eau de boisson et les mesures d'atténuation qui peuvent être prises pour réduire le plus possible les impacts possibles sur l'environnement et les travailleurs font l'objet des sections 1 et 2, respectivement. Si un déversement correspondant au scénario le plus pessimiste peut avoir un impact sur la population générale, il importe de préparer et d'appliquer un programme de prévention des déversements pour faire face aux principaux risques, conformément aux recommandations présentées dans les **Directives EHS générales**. Le programme de prévention doit identifier les risques, consigner les procédures opérationnelles par écrit, établir un programme de formation, couvrir les opérations d'entretien, prévoir des enquêtes en cas d'accident ainsi qu'un plan d'intervention d'urgence.

Distribution d'eau

Le système de distribution d'eau est une composante essentielle de l'approvisionnement en eau potable. Même si l'eau est traitée de manière efficace pour enlever les contaminants et détruire les pathogènes, des foyers de maladies d'origine hydrique peuvent se créer par suite de déficiences du système de distribution d'eau. Les mesures recommandées pour prévenir ou réduire le plus possible les risques sanitaires que le système de distribution d'eau peut faire courir aux communautés consistent, notamment, à :

- construire, exploiter et gérer le système de distribution d'eau conformément aux exigences applicables à l'échelon

- national et aux normes acceptées au plan international²⁹,
- construire et entretenir le système de distribution pour qu'il fasse barrage et empêche des éléments externes de pénétrer et de contaminer l'eau ; à cet effet, il faut, par exemple :
 - inspecter régulièrement les installations de stockage et les remettre en état ou les remplacer si nécessaire. Cela peut impliquer le drainage des équipements pour en retirer les sédiments, l'application d'une protection contre la rouille, et la réparation des structures
 - veiller à ce que tous les travaux d'installation, de réparation, de remplacement et de remise en état répondent aux exigences en ce qui concerne la protection sanitaire et la qualité des matériaux
 - tester les matériaux, les sols et la qualité de l'eau et adopter les meilleures pratiques pour empêcher la corrosion, par exemple en mettant en place une protection cathodique
 - prévenir toute connexion croisée avec les réseaux d'égout
 - séparer les canalisations d'eau et les conduites d'égout sous pression (par ex. en les installant à au moins trois mètres les unes des autres ou en les plaçant dans des tranchées distinctes et en installant la conduite d'égout au moins 45 cm plus bas que la conduite d'eau
 - maintenir une pression et un débit d'eau adéquats dans l'ensemble du réseau ; à cet effet il faut, par exemple :
 - mettre en œuvre un programme de détection et de réparation des fuites (voir section 1.1)
 - réduire le temps de séjour dans les conduites
 - maintenir une pression résiduelle positive d'au moins 20 psi (environ 1,4 bar)³⁰
- surveiller les paramètres hydrauliques — débits entrants, débits sortants et niveaux d'eau dans tous les réservoirs de stockage, débits d'écoulement et pressions des pompes, débits et/ou pression des vannes régulatrices, pression aux points critiques, etc. — et évaluer l'intégrité hydraulique du réseau au moyen d'un modèle informatique
- prévenir toute contamination provenant du système de distribution lui-même ; à cet effet il faut, par exemple :
 - réduire dans toute la mesure du possible la croissance microbienne et le développement de biofilms (par ex., en maintenant des niveaux de désinfection résiduelle adéquats). Collecter des échantillons prélevés en plusieurs points du réseau de distribution, y compris le point le plus éloigné, et tester ces échantillons pour établir la présence de résidu de chlore libre ou en combinaison de manière à s'assurer du maintien d'un résidu de chlore adéquat
 - choisir un désinfectant résiduel (p. ex., du chlore ou des chloramines) pour assurer un équilibre entre la lutte contre des pathogènes et la formation de sous-produits de désinfection pouvant poser des risques³¹
 - utiliser des matériaux de construction qui ne contribuent pas à libérer des métaux et autres substances indésirables ou qui ne donnent pas lieu à des interactions avec les désinfectants résiduels

²⁹ Voir, par exemple, American Water Works Association Standard G200-04: Distribution Systems Operation and Management.

³⁰ National Research Council of the National Academies, Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks, The National Academies Press, 2006, p. 9.

³¹ Les désinfectants chimiques peuvent réagir avec des précurseurs organiques et inorganiques pour former des sous-produits potentiellement nuisibles. Le problème des sous-produits de désinfection (SPD) peut être maîtrisé par le contrôle et le retrait du précurseur SPD, ou par le recours à une pratique de désinfection modifiée. Cependant, les risques que posent pour la santé ces sous-produits aux niveaux qu'ils ont dans l'eau de boisson sont extrêmement faibles par rapport à ceux d'une désinfection inadéquate.

1.3.2 Assainissement

Les mesures visant à réduire le plus possible les risques sanitaires auxquels peuvent être exposées les communautés peuvent être appliquées tant au niveau de la collecte qu'à celui du traitement des eaux usées et des boues.

Collecte des eaux usées et des effluents de fosses septiques / d'eaux résiduaires

La collecte des eaux d'égout et leur enlèvement des zones résidentielles sont des mesures qui, bien qu'elles ne suffisent pas à elles seules à protéger la santé publique, sont néanmoins les opérations les plus importantes de l'assainissement. Il est donc primordial de fournir ces services de collecte, ou d'assurer qu'ils sont disponibles. Une bonne conception et une exploitation efficace d'un réseau d'égout, comme indiqué à la section 1.1, peuvent réduire les risques et les impacts sanitaires sur la communauté associés à la collecte des eaux usées et des boues brutes parce qu'elles contribuent, par exemple, à :

- prévenir les débordements d'égout ;
- prévenir l'accumulation de gaz potentiellement toxiques et explosifs dans le système d'égout.

Traitement des eaux usées et des boues

Les impacts que les installations de traitement des eaux usées et des boues peuvent avoir sur l'hygiène et la sécurité des communautés sont associés aux :

- effluents liquides
- émissions atmosphériques et odeurs
- risques corporels

Effluents liquides

Les effluents d'eaux usées traités sont généralement rejetés dans les eaux de surface ou réutilisés pour l'irrigation ou à

d'autres fins. Il est probable que la population humaine soit, à un moment donné, en contact direct ou indirect avec des eaux usées traitées. Il est donc important de traiter adéquatement les eaux usées pour enlever les contaminants et, en particulier, les microorganismes et les pathogènes, comme indiqué à la section 1.1, non seulement pour empêcher qu'ils n'aient des impacts négatifs sur l'environnement, mais également pour protéger la santé publique.

Émissions atmosphériques et odeurs

Les odeurs provenant des stations d'épuration des eaux usées peuvent incommoder les communautés avoisinantes. Les bioaérosols peuvent également transporter des microorganismes porteurs de maladies. Des émanations de gaz dangereux comme le chlore peuvent également avoir des effets adverses sur les personnes habitant à proximité.

Les mesures à prendre pour maîtriser les émissions atmosphériques et les odeurs sont traitées aux sections 1.1 et 1.2, et dans les **Directives EHS générales**. Les mesures recommandées ci-après pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser l'exposition des communautés à la poussière et aux odeurs qui proviennent des installations de traitement des déchets consistent, notamment, à :

- maintenir une zone tampon adéquate constituée, par exemple, d'arbres ou de clôtures, entre les zones de traitement et les récepteurs potentiels ;
- éviter d'installer les stations à proximité de quartiers à forte densité de population et d'établissements pouvant avoir des récepteurs sensibles comme les hôpitaux et les écoles. Implanter les unités sous le vent par rapport aux récepteurs potentiels dans la mesure du possible.

Risques corporels

Les personnes autres que les employés pénétrant dans les

stations d'épuration, qu'elles y soient autorisées ou non, peuvent être exposées à la plupart des risques décrits pour les employés à la section 1.2. Les mesures recommandées pour prévenir, réduire le plus possible et maîtriser les risques corporels pour les membres de la communauté consistent, notamment, à :

- contrôler l'accès aux installations de gestion des déchets, en appliquant des procédures de sécurité telles que :
 - l'installation, tout autour du site de la station, d'une clôture suffisamment haute, construite dans un matériau approprié et dotée d'un portail d'accès au site verrouillable
 - l'installation de caméras de sécurité aux principaux points d'accès et d'alarmes de sécurité intégrés aux bâtiments et aires de stockage ; et
 - l'obligation pour les visiteurs pénétrant sur le site de signer un registre d'entrée
- éclairer le site en tous les points nécessaires. La lumière pouvant gêner les personnes vivant à proximité, choisir les systèmes d'éclairage de manière à réduire le plus possible les nuisances dues à l'éclairage.

Épandage

L'utilisation d'eaux usées traitées en agriculture peut mettre en danger la santé publique. Les risques posés par les cultures irriguées avec des eaux usées traitées sont dus aux agents pathogènes associés aux excréments et les substances chimiques toxiques qui peuvent être présentes dans les eaux usées. Les méthodes recommandées pour protéger les consommateurs consistent, notamment, à³² :

- traiter les eaux usées et les boues devant être épandues conformément aux Directives de l'OMS relatives à

³² Directives de l'OMS relatives à l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (2006).

l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères³³ et aux exigences applicables à l'échelon national ;

- cesser d'irriguer avec des eaux usées traitées deux semaines avant la récolte ;
- n'irriguer avec des eaux usées traitées que les produits des récoltes qui sont cuits avant d'être consommés ;
- interdire au public l'accès aux structures hydrauliques qui transportent des eaux usées et aux champs irrigués avec des eaux usées.

2.0 Indicateurs de performance et références de l'industrie

2.1 Environnement

Directives

Eau de boisson

La qualité de l'eau provenant des systèmes d'approvisionnement en eau potable doit satisfaire aux normes établies pour l'eau de boisson dans la législation national ou, en l'absence de telles normes, aux Directives de qualité pour l'eau de boisson de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) les plus récentes³⁴, en tous points du réseau de distribution.

Assainissement

Directives pour les effluents : avant de décider des technologies d'assainissement et de la conception du système de traitement des eaux usées, il est nécessaire de déterminer du degré et du type de traitement requis. Pour les projets d'assainissement, les directives pour les effluents doivent être établis pour chaque

³³ Directives de l'OMS relatives à l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (2006).

³⁴ Pour la version 2006 des directives de qualité pour l'eau de boisson, consulter : http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/guidelines/en/index.html

projet sur la base d'une définition claire des objectifs sanitaires et d'une évaluation approfondie des différentes options, en tenant compte de facteurs comme la qualité et la quantité d'eaux usées brutes et leur variabilité ; les superficies pouvant être utilisées pour la station d'épuration ; les ressources disponibles pour financer les dépenses d'équipement, d'exploitation, d'entretien et de réparation ; l'accès à des opérateurs qualifiés et à des personnels d'entretien et l'existence de programmes de formation d'opérateurs, et la disponibilité des produits chimiques nécessaires à l'épuration et de pièces détachées.

La méthode choisie doit permettre d'obtenir une qualité d'effluent liquide conforme aux exigences applicables au niveau national ou aux normes acceptées au plan international³⁵, qui cadrent avec les objectifs fixés en ce domaine compte tenu de la capacité d'absorption et l'usage final des eaux réceptrices pour lequel les critères de qualité sont les plus rigoureux^{36,37}.

Les normes en matière de traitement sont, soit des normes technologiques qui spécifient les technologies ou les processus de traitement qui doivent être utilisés pour répondre aux objectifs fixés pour la qualité de l'eau, soit des normes pour les effluents qui définissent la qualité physique, biologique et chimique des effluents à l'issue du traitement. Les normes sur les effluents établissent souvent des limites de concentrations acceptables pour la demande biochimique en oxygène (DBO),

³⁵ Voir, par exemple, Brésil : Resolucao Conama No. 357, 14 mars 2005 ; Union européenne ; Directive du Conseil 91/271/CEE du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires ; États-Unis : Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 133 – Secondary Treatment Regulation (7-1-02 Edition) ; Mexique : Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 ; Chine : GB 18918-2002 Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant ; Inde : National Standards for Effluents and Emission under Section 25 of the Environmental (Protection) Act, 1986, General Standards for Discharge of Environmental Pollutants, Part A – Effluents.

³⁶ Voir Organisation mondiale de la Santé, Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff, 1993.

³⁷ Consulter la section intitulée « Rejets dans les eaux de surface » des Directives EHS générales.

la demande chimique en oxygène (DCO), les solides totaux en suspension (STS), l'azote, le phosphore, etc.

Réutilisation des eaux usées traitées et gestion des boues : La qualité des eaux usées et des boues traitées devant être épandues doit être conforme aux Directives relatives à l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères de l'OMS³⁸ et aux exigences applicables au niveau national. L'impact potentiel sur les sols, les eaux souterraines et les eaux de surface, dans le contexte de la protection, de la conservation et de la viabilité à long terme des ressources en eau et des sols, doit être évalué lorsqu'un terrain est utilisé à un stade quelconque du système de traitement des eaux usées. Les boues en provenance d'une usine de traitement des déchets doivent être examinées au cas par cas pour déterminer si elles constituent des déchets dangereux ou des déchets non dangereux, et elles doivent être gérées en conséquence, comme indiqué dans la section sur la Gestion des déchets des présentes directives.

Suivi des impacts environnementaux

Des programmes de suivi des impacts environnementaux doivent être mis en place de manière à couvrir toutes les activités qui peuvent avoir des impacts environnementaux importants dans des conditions normales ou anormales d'exploitation. Les activités de suivi environnemental doivent être fondées sur des indicateurs directs ou indirects des émissions, des effluents et de l'utilisation des ressources applicables au projet considéré.

Les activités de suivi doivent être suffisamment fréquentes pour fournir des données représentatives sur les paramètres considérés. Elles doivent être menées par des personnes ayant reçu la formation nécessaire à cet effet, suivant des procédures

³⁸ OMS, 2006

de suivi et de tenue des statistiques et utilisant des instruments bien calibrés et entretenus. Les données produites par les activités de suivi doivent être analysées et examinées à intervalles réguliers et comparées aux normes d'exploitation afin de permettre l'adoption de toute mesure corrective nécessaire. De plus amples informations sur les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des émissions et des effluents applicables figurent dans les **Directives EHS générales**.³⁹

2.2 Hygiène et sécurité au travail

Directives sur l'hygiène et la sécurité au travail

Les résultats obtenus dans le domaine de l'hygiène et de la sécurité au travail doivent être évalués par rapport à des directives relatives aux valeurs limites d'exposition professionnelle publiées à l'échelle internationale, comme les directives sur les valeurs limites d'exposition (TLV®) et les indices d'exposition à des agents biologiques (BEIs®) publiés par American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH),⁴⁰ *Pocket Guide to Chemical Hazards* publié par United States National Institute for Occupational Health and Safety (NIOSH),⁴¹ les valeurs plafonds autorisées (PELs) publiées par Occupational Safety and Health Administration of the United States (OSHA),⁴² les valeurs limites d'exposition professionnelle de caractère indicatif publiées par les États membres de l'Union européenne⁴³ ou d'autres sources similaires.

Fréquence des accidents mortels et non mortels

Il faut s'efforcer de ramener à zéro le nombre d'accidents du travail dont peuvent être victimes les travailleurs (employés et sous-traitants) dans le cadre d'un projet, en particulier les accidents qui peuvent entraîner des jours de travail perdus, des lésions d'une gravité plus ou moins grande, ou qui peuvent être mortels. Les chiffres enregistrés pour le projet concerné peuvent être comparés à ceux des installations de pays développés opérant dans la même branche d'activité présentés dans des publications statistiques (par exemple US Bureau of Labor Statistics et UK Health and Safety Executive)⁴⁴.

Suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail

Il est nécessaire d'assurer le suivi des risques professionnels liés aux conditions de travail spécifiques au projet considéré. Ces activités doivent être conçues et poursuivies par des experts agréés⁴⁵ dans le contexte d'un programme de suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail. Les installations doivent par ailleurs tenir un registre des accidents du travail, des maladies, des événements dangereux et autres incidents. De plus amples informations sur les programmes de suivi de l'hygiène et de la sécurité au travail sont données dans les **Directives EHS générales**.

³⁹ Pour des informations supplémentaires sur le suivi de la performance des systèmes d'eau et d'assainissement, consulter le document de la Banque mondiale intitulé *Water Quality Management Technical Note D.1- Water Quality: Assessment and Protection*, 2003 sur le site <http://web.worldbank.org/> (Water Resource Management Section; publications).

⁴⁰ Consulter : <http://www.acgih.org/TLV/>

⁴¹ Consulter : <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

⁴² Consulter : http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992

⁴³ Consulter : http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/

⁴⁴ Consulter : <http://www.bls.gov/iif/> et <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

⁴⁵ Les professionnels agréés peuvent être des hygiénistes industriels diplômés, des hygiénistes du travail diplômés, des professionnels de la sécurité brevetés ou tout titulaire de qualifications équivalentes.

3.0 Bibliographie et sources d'information supplémentaires

- American Water Works Association. 2004. Interim Voluntary Security Guidance for Water Utilities. 9 décembre 2004.
- American Water Works Association. 2004. Interim Voluntary Security Guidance for Wastewater/Storm water Utilities. 9 décembre 2004.
- Banque mondiale. World Bank Water Resources and Environment Technical Note C.1 – Environmental Flow Assessment: Concepts and Materials
- Banque mondiale, Arsenic Contamination of Groundwater in South and East Asian Countries: Towards a More Effective Operational Response, April 2005 http://siteresources.worldbank.org/INTSAREGTOPWATRES/Resources/Arsenic_Voll_WholeReport.pdf
- Banque mondiale, Water Resources And Environment Technical Note D.2 -
- Banque mondiale, Water Resources And Environment Technical Note D.3-
- Banque mondiale, Water Resources and Environment, Technical Note F.3-
- Banque mondiale. 2005. Alternative Technologies for Water and Sanitation Supply in Small Towns. Water and Sanitation Program. Avril 2005.
- Banque mondiale. 2005. Sanitation and Hygiene at the World Bank: An Analysis of Current Activities. Water and Sanitation Sector Board Working Note, Paper No. 6, November 2005.
- Banque mondiale. 2004. Water Resources Sector Strategy.
- Brown, Nellie J. 1997. Health Hazard Manual: Wastewater Treatment Plant and Sewer Workers-- Exposure to chemical hazards and biohazards, Cornell University Chemical Hazard Information Program, Ithaca, NY, December 1, 1997.
- Cairncross and Feachem, 1993. Environmental Health Engineering in the Tropics, An Introductory Text. (2nd Edition). John Wiley and Sons.
- Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources.
- Environmental Protection Agency (EPA), Federal Register / Vol. 66, No. 243, National Pollutant Discharge Elimination System: Regulations Addressing Cooling Water Intake Structures for New Facilities, 18 décembre 18,2001 pages 65256 – 65345.
- European Union Council Directive of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (91/271/EEC).
- European Union Council Directive of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption (98/83/EC).
- Federation of Canadian Municipalities. 2003. Infiltration/Inflow Control/Reduction for Wastewater Collection Systems: A Best Practice by the National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure (InfraGuide). Mars 2003.
- Federation of Canadian Municipalities. 2004. Assessment and Evaluation of Storm and Wastewater Collection Systems: A Best Practice by the National
- Guide to Sustainable Municipal Infrastructure (InfraGuide). Juillet 2004.
- Heinss and Strauss. 1999. Co-treatment of Faecal Sludge and Wastewater in Tropical Climates. Report EAWAG/SANDEC, P.O. Box 611, CH-8600 Dübendorf, Suisse, Janvier 1999
- Kayombo et al. Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Design Manual. Disponible à http://www.unep.or.jp/etc/Publications/Water_Sanitation/ponds_and_wetlands/Design_Manual.pdf
- Monangero and Strauss. 2002a. Faecal Sludge Management – Review of Practices, Problems and Initiatives. Disponible à [http://www.sandec.ch/FaecalSludge/Documents/FS_management_\(SANDEC_GHK_2002\).pdf](http://www.sandec.ch/FaecalSludge/Documents/FS_management_(SANDEC_GHK_2002).pdf)
- Monangero and Strauss. 2002b. Faecal Sludge Treatment. Lecture Notes, IHE Delft, 14 février 2002.
- Morel and Diener. 2006. Greywater Management in Low- and Middle-Income Countries. Sandec (Water and Sanitation in Developing Countries) at Eawag (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology)
- OMS. 2000. Tools for assessing the O&M status of water supply and sanitation in developing countries. WHO/SDE/WSH/00.3.
- OMS. 2003. Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff.
- OMS. 2006. Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed.
- OMS. 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater.
- OMS. 2003. Domestic Water Quantity, Service Level and Health. WHO/SDE/WSH/03.02.
- Peña Varón and Mara. 2004. Waste Stabilization Ponds. IRC International Water and Sanitation Centre Thematic Overview Papers.
- Stockholm Environment Institute. 2004. Ecological Sanitation.
- Swiss Federal Institute for Env. Science & Technology. 2001. Nam Dinh Urban Development Project Septage Management Study. 1^{er} novembre 2001.
- Swiss Federal Institute for Env. Science & Technology. 2002. Faecal Sludge Management in Developing Countries: A planning manual. Avril 2002.
- U.S. EPA. 1999. Combined Sewer Overflow O&M Fact Sheet. EPA 832-F-99-039. Septembre 1999.
- U.S. EPA. 2006. Emerging Technologies for Biosolids Management. 832-R-06-005 Septembre 2006.
- UNEP. 2000. International Source Book on Environmentally Sound

Technologies for Wastewater and Stormwater Management.

Wagner EG & Lanoix JN. Excreta disposal for rural areas and small communities. WHO monograph series No. 39. OMS, Genève. 1958.

Water Environment Federation. 1996. Developing Source Control Programs for Commercial and Industrial Wastewater.

Water Resources And Environment Technical Note D.1 - Water Quality Management: Assessment and Protection

Water, Engineering and Development Centre, Loughborough University. Technical Brief 37: Re-Use of Wastewater. Disponible à <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/37-re-use-of-wastewater.pdf>.

World Bank, Water Resources and Environment, Technical Note F.1- Water Conservation: Urban Utilities

Annexe A : Description générale de la branche d'activité

A.1 Approvisionnement en eau de boisson

L'accès à une d'eau de qualité adéquate est essentiel pour la santé et l'hygiène publiques⁴⁶. Un système d'approvisionnement en eau de boisson comprend généralement les éléments suivants :

- une source d'eau — une rivière, un lac, un réservoir, ou une nappe souterraine où l'eau s'emmagasine, ainsi que le bassin versant ou la zone d'alimentation de la source d'eau, et un moyen d'extraire et de transporter l'eau de la source à un lieu de traitement
- une station d'épuration de l'eau
- des installations de stockage des eaux traitées, et un système de distribution pour amener les eaux traitées du lieu de stockage au lieu de consommation (résidences, bouches d'incendie, points d'utilisation dans les entreprises commerciales et industrielles, etc.)

Sources d'eau

L'eau traitée pour être utilisée comme eau de boisson provient généralement de ressources en eaux souterraines et en eaux de surface. En l'absence d'eaux de surface ou d'eaux souterraines de qualité suffisante, d'autres sources d'eau dont l'eau de mer, l'eau saumâtre, etc. peuvent être utilisées pour

produire de l'eau potable⁴⁷.

Eaux souterraines : Les eaux souterraines sont alimentées à partir de la surface et peuvent rejoindre celle-ci naturellement ; elles constituent un réservoir à long terme dans le cycle naturel de l'eau, et peuvent rester dans ce réservoir pendant un temps qui va de quelques jours à plusieurs millénaires. La qualité des eaux souterraines varie en fonction de leur source, mais elles sont généralement limpides parce qu'elles subissent un filtrage naturel lorsqu'elles traversent des couches de sol poreux. En général, les eaux souterraines profondes ont de faibles concentrations de bactéries pathogènes, mais elles peuvent être riches en solides dissous, en particulier en carbonates et en sulfates de calcium et de magnésium. La qualité bactériologique des eaux souterraines peu profondes peut être variable, et dépend de la nature de la zone d'alimentation. Ces eaux peuvent contenir une large gamme de matières solubles, notamment des métaux qui peuvent être toxiques comme le zinc, le cuivre et l'arsenic.

Eaux de surface : La qualité des eaux de surface dépend dans une large mesure de leur source. Les lacs et les réservoirs situés en altitude se trouvent généralement sur le cours supérieur du réseau fluvial, en amont des établissements humains. Les niveaux de bactéries et de pathogènes y sont normalement faibles, mais leurs eaux contiennent quelques bactéries, protozoaires ou algues. Lorsque les hautes terres sont des terres forestières ou des sols tourbeux, des acides humiques peuvent colorer l'eau. Un grand nombre de sources d'eaux de surface situées sur des hautes terres ont un pH peu élevé. Les rivières, les canaux, et les réservoirs situés sur le cours inférieur d'un réseau fluvial affichent généralement des

⁴⁶ L'expression « accès à l'eau » recouvre le volume d'eau disponible ainsi que la distance à parcourir et le temps pris pour collecter l'eau. L'Organisation mondiale de la Santé définit l'accès de base à l'eau comme suit : un volume d'environ 20 litres par habitant par jour (l/h/j) disponible à une distance comprise entre 100 m et 1 000 m ou après 5 à 30 minutes, soit un volume qui suffit généralement à satisfaire aux besoins fondamentaux de consommation, de lavage des mains et de préparation des aliments. Un accès optimal est l'apport de 100 l/h/j ou plus directement à l'utilisateur amenés par conduite, soit un volume qui permet aussi de répondre aux besoins de lavage du linge et d'hygiène corporelle. Consulter le document de l'OMS intitulé Domestic Water Quantity, Service Level and Health, 2003, WHO/SDE/WSH/03.02.

⁴⁷ Il est aussi possible de collecter de l'eau par condensation de l'air ambiant mais les applications pratiques de cette opération sont limitées.

concentrations bactériennes plus élevées et peuvent également contenir des algues, des solides en suspension, et une large gamme de constituants dissous.

Autres sources d'eau : il s'agit notamment de l'eau de mer et de l'eau saumâtre qui contiennent d'importantes quantités de solides dissous qu'il est nécessaire d'enlever pour rendre l'eau utilisable à des fins domestiques, agricoles et industrielles.

Traitement de l'eau

Le traitement requis pour rendre l'eau propre à la consommation humaine varie en fonction de la source d'eau, mais peut inclure le retrait des solides en suspension, le retrait des matières dissoutes, et la désinfection de l'eau.

Retrait des solides en suspension

Les solides en suspension sont généralement enlevés par sédimentation et/ou filtration. Les processus de coagulation, de floculation, et de sédimentation peuvent être utilisés en tant que prétraitement pour renforcer l'efficacité et minimiser le coût des opérations de filtration qui leur font suite. La phase de coagulation donne lieu à l'ajout de produits chimiques à l'eau, tels que des solutions tampons pH et des coagulants, pour faciliter les étapes suivantes du processus de traitement. L'eau ayant subi un traitement chimique est transférée dans un bassin où les particules en suspension peuvent entrer en collision et former des particules plus lourdes appelées floes. Une vitesse d'agitation assez faible et des temps de rétention appropriés facilitent ce processus. La vitesse d'agitation de l'eau est alors réduite pour que les matières en suspension puissent sortir du courant d'eau pour se déposer par gravité. Les floes peuvent également être directement enlevés pendant le processus de la filtration. Les méthodes de filtration couramment employées sont la filtration lente sur sable, la filtration par filtres à diatomées, et la filtration directe. Les systèmes de traitement de

l'eau de taille restreinte peuvent également utiliser des dispositifs à membrane et des cartouches de filtration.

Un système de filtration lente sur sable comprend un lit de sables fin d'une profondeur de l'ordre de 90 à 120 cm) posé sur une couche de gravier d'une épaisseur d'environ 30 cm ainsi qu'un réseau de drains de sortie. Ce type de système est relativement peu coûteux à installer, est simple à utiliser et fiable, et doit permettre d'éliminer plus de 99,9 % des kystes de *Giardia*. Il n'est, en revanche, pas adapté au traitement de l'eau caractérisée par une forte turbidité, et il est nécessaire d'entretenir la surface du filtre. Il doit par ailleurs avoir une grande superficie en raison de la faiblesse de la vitesse de filtration (0,03 à 0,10 gallons par minute par pied carré [gal/min/ft²] de médias de filtrage). Un système de filtration lente sur sable lent ne nécessite pas d'opérations de coagulation/floculation et peut ne pas requérir d'opération de sédimentation.

La filtration par filtres à diatomées, également connue sous le nom de filtration sur pré-couche, s'effectue au moyen d'une couche de terre à diatomées d'une épaisseur de l'ordre de 0,3 cm placée sur une membrane ou autre élément filtrant. La membrane peut être placée dans une cuve sous pression ou dans des cuves ouvertes sous vide. Les filtres à diatomées sont faciles à utiliser et donnent de bons résultats en ce qui concerne l'enlèvement des kystes, des algues et de l'amiante. Ils sont choisis pour des projets qui ont un capital initial limité, et pour constituer des capacités en cas d'urgence ou de réserve qui permettent de répondre à de fortes augmentations saisonnières de la demande. Les filtres à diatomées sont particulièrement indiqués lorsque l'eau ne contient pas beaucoup de bactéries et a une faible turbidité (moins de 10 unités néphélogométriques de turbidité [UNT]). Il est nécessaire d'employer des coagulants et des adjuvants de filtration pour pouvoir enlever efficacement les virus. L'exploitation des filtres à diatomées génère un gâteau de

filtration.

Les systèmes de filtration directe sont semblables aux systèmes conventionnels, mais ils font abstraction de la phase de sédimentation, et certains systèmes de filtration à stades multiples peuvent aussi éliminer la nécessité d'une phase de coagulation chimique. La filtration directe peut consister en diverses combinaisons de processus de traitement. Les filtres à lit double et à lit mélangé permettent de traiter efficacement des eaux caractérisées par une turbidité élevée. Une filtration directe efficace enlève entre 90 et 99 % de virus et entre 10 et 99,99 % de Giardia. Le système de filtration directe est surtout intéressant lorsque l'eau à traiter est de haute qualité et ne varie guère d'une saison à l'autre. L'eau entrant dans le système doit généralement avoir une turbidité inférieure à 5 à 10 UNT et une couleur inférieure de moins de 20 à 30 unités.

Le système de filtration sur membrane force le passage de l'eau sous pression à travers une fine membrane. Les contaminants sont retenus du côté où la pression est élevée et doivent souvent être enlevés par inversion du courant d'eau et chasse des déchets. Les dispositifs à membrane sont relativement simples à installer et, là où les sources d'eaux souterraines ne nécessitent pas de prétraitement, ils peuvent ne consister pratiquement que d'une pompe d'alimentation, d'une pompe de nettoyage, des modules de membrane et de cuves de stockage. L'exploitation d'un système de filtration sur membrane peut être en grande partie automatisée. Ce type de système peut être utilisé pour enlever les bactéries et d'autres microorganismes, les matières particulaires, et les matières organiques naturelles. Cependant, l'encrassement de la membrane peut en réduire l'efficacité. Un nettoyage chimique périodique peut être nécessaire pour enlever les contaminants persistants.

Le système de filtration à cartouche force l'eau à passer à travers un milieu poreux pour enlever les particules ; la taille des

pores qui convient pour produire de l'eau potable est comprise entre 0,2 et 1,0 µm. Il est parfois nécessaire de procéder à un prétraitement au moyen d'un filtre dégrossisseur avant de faire passer l'eau dans le filtre à cartouche pour éviter l'encrassement rapide de cette dernière. Les filtres à cartouche peuvent permettre d'enlever les microbes et d'éliminer la turbidité dans les petits systèmes. Ils sont faciles à utiliser et à entretenir. Les cartouches en polypropylène s'encrassent relativement rapidement et doivent être remplacées par de nouvelles unités, de sorte que ce système de filtration ne convient en général que lorsque l'eau brute a une faible turbidité. Bien que les unités de filtrage soient faciles à utiliser, elles ne sont pas automatisées et peuvent nécessiter des budgets d'exploitation relativement importants. Il peut être nécessaire de nettoyer le milieu filtrant périodiquement.

Enlèvement des contaminants dissous

Il faut traiter l'eau provenant de certaines sources pour enlever les matières dissoutes qui ne sont pas récupérées par coagulation et filtration afin d'obtenir une eau de qualité adéquate. Des concentrations élevées de métaux comme le calcium et le magnésium contribuent à l'obtention d'une eau « dure » et aux problèmes d'entartrage qui en résultent. Les métaux dissous comme le fer et le manganèse peuvent avoir un effet adverse sur le goût de l'eau et peuvent provoquer l'apparition de taches et l'accumulation de particules d'oxyde métallique dans les réservoirs d'eau et les conduites. Les radionucléides, les nitrates, et les métaux toxiques comme le cuivre et l'arsenic, peuvent avoir des répercussions sur la santé. Les composés organiques dissous peuvent également avoir des impacts négatifs, d'ordre esthétique et sanitaire. Les méthodes de traitement sont, notamment, l'adoucissement à la chaux, l'oxydation, l'échange d'ions, l'osmose inverse, l'électrodialyse, l'aération, et la filtration au charbon actif.

L'adoucissement à la chaux donne lieu à l'élévation du pH de l'eau pour précipiter le carbonate de calcium et l'hydroxyde de magnésium, au moyen de chaux ou de chaux hydratée. Le précipité obtenu est enlevé par décantation ou filtration. Après la phase de filtration, on abaisse le pH de l'eau en y ajoutant du bioxyde de carbone, qui est habituellement produit par la combustion d'un combustible fossile sur site. Outre le calcium et le magnésium, l'adoucissement à la chaux permet d'enlever le fer et le manganèse, les métaux lourds, l'arsenic, les radionucléides (l'uranium, le radium 226, et le radium 228), et certains composés organiques. Ce procédé est surtout adapté aux eaux d'origine souterraine dont la qualité est relativement stable. Étant donné la complexité de la chimie de l'adoucissement à la chaux, ce processus risque d'être trop complexe pour les petits systèmes qui utilisent des eaux de surface dont la qualité initiale est variable. Une eau excessivement douce peut corroder les conduites. Cette corrosion peut écourter la durée de vie utile des canalisations et des appareils ménagers et peut se traduire par la contamination de l'eau potable par des matières toxiques dissoutes, comme le plomb et le cadmium.

Le processus d'oxydation peut servir à enlever des métaux comme le fer et le manganèse parce qu'il donne lieu à la formation d'espèces insolubles qui peuvent être retirées de l'eau par filtration. Il peut également être utilisé pour détruire certains contaminants organiques. Les oxydants chimiques les plus couramment employés pour traiter l'eau sont, notamment, le chlore, le bioxyde de chlore, le permanganate de potassium et l'ozone. Le processus d'oxydation au chlore ou au permanganate de potassium est fréquemment employé dans les petits systèmes de traitement d'eaux d'origine souterraine. Le dosage est relativement facile à effectuer avec un matériel simple, et le coût de l'opération est relativement faible. Le traitement au chlore est largement utilisé pour oxyder le fer et le manganèse divalents. Cependant, la formation d'haloformes

trihalométhanes (THM) risque de poser problème. Le permanganate de potassium (KMnO_4) utilisé comme oxydant coûte en général plus cher que le chlore et l'ozone, mais on a pu constater qu'il est aussi efficace que ces deux substances pour enlever le fer et le manganèse et qu'il nécessite beaucoup moins de matériels et de dépenses d'équipement. Il importe toutefois de doser le permanganate de potassium avec le plus grand soin. L'ozone peut être utilisé dans les processus d'oxydation du fer et du manganèse, mais il risque de ne pas être efficace en présence de matières humiques ou fulviques. L'oxygène peut également servir d'oxydant, à condition qu'il n'y ait pas de complexation du fer par des matières humiques ou d'autres molécules organiques de grande taille. La présence d'autres espèces oxydables dans l'eau entrave l'oxydation des composés réduits recherchés.

Un système d'échange d'ions peut être utilisé pour enlever de l'eau toute espèce chargée (c'est-à-dire ionique), mais ce type de système sert en général à ôter à l'eau sa dureté et à enlever les nitrates. Ce processus s'effectue par l'adsorption de contaminants ioniques sur un milieu de résines échangeuses d'ions. L'eau est généralement prétraitée pour réduire la quantité de solides en suspension et la charge de solides totaux dissous (STD) au niveau de l'unité d'échange d'ions. Le système d'échange d'ions peut être utilisé même lorsque les débits sont variables. Les déchets produits sont très concentrés et doivent être éliminés avec le plus grand soin. Les unités d'échange d'ions sont également sensibles à la présence d'ions concurrents. Par exemple, les eaux arrivant dans le système, dont le degré de dureté est élevé, entrent en concurrence avec d'autres cations (ions positifs) pour trouver de la place sur le milieu d'échange, de sorte que ce dernier doit être régénéré plus fréquemment.

Le système d'osmose inverse (OI) enlève les contaminants de l'eau au moyen d'une membrane semi-perméable qui permet

seulement à l'eau, mais pas aux ions dissous (comme le sodium et le chlorure), de passer à travers ses pores. L'eau brute est soumise à une forte pression qui la force à traverser la membrane, mais sans entraîner les contaminants qui restent dans une saumure. L'OI peut enlever presque tous les contaminants inorganiques de l'eau. Elle enlève plus de 70 % d'arsenic (III), d'arsenic (IV), de baryum, de cadmium, de chrome (III), de chrome (VI), de fluorure, de plomb, de mercure, de nitrite, de sélénium (IV), de sélénium (VI) et d'argent, et les unités fonctionnant de manière adéquate peuvent afficher des taux de retrait de 96 %. L'OI permet aussi de retirer dans de bonnes conditions d'efficacité le radium, les substances organiques naturelles, les pesticides, et les contaminants microbiologiques. Elle est particulièrement efficace lorsqu'elle est utilisée en série : après avoir traversé plusieurs unités d'osmose inverse, l'eau peut ne plus contenir que des niveaux de contaminants d'effluent proches de zéro. La performance des systèmes d'OI ne dépend que relativement peu du débit et de la concentration en STD de sorte que ces systèmes peuvent être employés dans les petites installations d'épuration qui traitent des volumes d'eau qui fluctuent énormément en fonction de la demande saisonnière. En raison de sa simplicité opérationnelle et de son automatisation, le processus d'OI n'exige pas une grande attention de la part de l'opérateur, ce qui lui permet d'être utilisé dans le cadre de petits systèmes. Ce processus, en revanche, donne généralement lieu à des coûts d'équipement et d'exploitation élevés, et doit parfois être précédé par d'importantes activités de prétraitement pour prévenir l'encrassement des membranes.

Le processus d'osmose inverse est également utilisé pour dessaler l'eau de mer et traiter les eaux d'autres origines qui contiennent de grandes quantités de solides dissous. Étant donné que l'eau désalinisée pure est généralement acide et a un effet corrosif sur les canalisations, elle est généralement mélangée dans l'installation de traitement avec des eaux

d'autres sources amenées sous conduite, ou traitée de façon à modifier son pH, son degré de dureté et son alcalinité avant d'être transportée par conduite à l'extérieur du site. La quantité d'eau traitée récupérée représente entre 15 à 50 % des quantités d'eau initiales pour la plupart des usines de dessalement d'eau de mer (en d'autres termes, 100 gallons (environ 380 litres) d'eau de mer permettent de produire entre 15 et 50 gallons (55 à 190 litres) d'eau pure en plus d'une eau de saumure contenant des solides dissous). La saumure et les autres déchets liquides des usines de dessalement peuvent contenir certains des éléments suivants, voire même la totalité d'entre eux : des concentrations en sel élevées, des produits chimiques utilisés lors du nettoyage des matériels et pour le prétraitement de l'eau, et des métaux toxiques (lorsque les eaux déversées ont été en contact avec des matières métalliques utilisées dans la construction des installations). Les déchets liquides peuvent être rejetés directement dans la mer, regroupés avec d'autres rejets (comme l'eau de refroidissement de centrales électriques ou les effluents de stations d'épuration) avant d'être rejetés dans la mer, déversés dans en vue de leur traitement dans une station d'épuration, ou déshydratés (les solides restants étant alors rejetés dans une décharge). Les usines de dessalement produisent également une petite quantité de déchets solides (par ex., les filtres de prétraitement usés et les particules solides extraites par filtrage durant le processus de prétraitement).

L'électrodialyse consiste à utiliser une charge électrique et une membrane semi-perméable pour enlever les espèces chargées. Les membranes sont conçues de manière à ne permettre qu'à des ions chargés positivement ou bien qu'à des ions chargés négativement de passer à travers la membrane ; les ions contenus dans le flux d'eau à traiter traversent une membrane et se retrouvent dans l'un ou l'autre des flux d'eau de rejet. Le flux de rejet représente généralement entre 20 et 90 % du flux d'eau à traiter. L'électrodialyse peut enlever la majeure partie

des ions dissous ; elle est un moyen très efficace d'enlever fluorure et le nitrate et elle peut également éliminer le baryum, le cadmium, et le sélénium. La performance du processus d'électrodialyse ne dépend que relativement peu du débit et du niveau de STD, et la procédure peut être utilisée lorsque la concentration d'effluents est faible. Les systèmes d'électrodialyse impliquent généralement des coûts d'investissement et d'exploitation importants et nécessitent parfois d'importantes opérations de prétraitement.

Le processus d'aération (entraînement à l'air) peut être utilisé pour éliminer les composés volatils et le radon de l'eau à traiter. Les contaminants volatilisés sont relâchés dans l'atmosphère, sans, ou après, avoir subi un traitement. Les systèmes d'aération qui peuvent convenir pour le traitement de l'eau de boisson sont, notamment, l'aération dans une colonne à garnissage, l'aération par diffusion d'air, l'aération par plateaux multiples, et l'aération mécanique. Un petit système de traitement de l'eau peut utiliser un aérateur simple, construit avec des matériaux relativement ordinaires, au lieu d'un système d'aération spécialement conçu.

Le charbon actif enlève les contaminants par adsorption, processus physique au cours duquel les contaminants dissous adhèrent à la surface poreuse des particules de charbon. Le charbon actif enlève de nombreux contaminants organiques, ainsi que le goût et l'odeur de l'eau. Les substances organiques qui ne sont pas facilement adsorbées par le charbon actif sont, notamment, les alcools ; les aliphatiques de faible poids moléculaire (y compris le chlorure de vinyle), les cétones, les acides et les aldéhydes ; les sucres et les amidons ; et les substances organiques à poids moléculaire très élevé ou colloïdales. La suppression du radon à l'aide de charbon actif n'est pas faisable à l'échelle d'une station d'épuration. Le charbon actif doit être remplacé périodiquement lorsque la surface active est saturée et ne peut plus adsorber efficacement

les contaminants. Le processus d'adsorption peut cependant être inversé relativement simplement, ce qui permet de régénérer et de réutiliser le charbon actif.

Désinfection

Les systèmes d'eau ajoutent des désinfectants pour détruire les microorganismes qui peuvent causer des maladies humaines. Les agents de désinfection les plus fréquemment utilisés sont, notamment, le chlore, les chloramines, l'ozone, et la lumière ultraviolette. Les autres produits et méthodes de désinfection comprennent le bioxyde de chlore, le permanganate de potassium et la nanofiltration. La désinfection primaire permet d'atteindre le niveau de destruction ou d'inactivation des microorganismes recherché, tandis que la désinfection secondaire maintient un désinfectant résiduaire dans l'eau traitée qui empêche la réapparition de microorganismes.

Le chlore est un produit très efficace qui permet d'enlever presque tous les agents pathogènes microbiens et peut être utilisé aussi bien pour la désinfection primaire que pour la désinfection secondaire. Le chlore peut être utilisé sous la forme de gaz de chlore, d'hypochlorite de sodium ou d'hypochlorite de calcium. Le gaz de chlore est généralement fourni sous forme liquide dans des cylindres à haute pression ; il peut être également généré sur place par électrolyse d'une solution de chlorure de sodium. L'hypochlorite de sodium est habituellement stocké dans une solution aqueuse, et dilué avant d'être utilisé. L'hypochlorite de calcium est généralement conservé sous forme solide puis dissous dans l'eau avant son utilisation. Le produit chimique de chloration est généralement injecté dans la conduite d'alimentation en eau à un rythme déterminé. Le chlore réagit avec la matière organique naturellement présente dans de nombreuses sources d'eau pour former des sous-produits chimiques nocifs, principalement des haloformes trihalométhanes.

La chloramine est un bactéricide efficace qui produit des niveaux d'haloformes trihalométhanes plus faibles que le chlore. La chloramine est générée sur place par injection de chlore (solution gazeuse ou hypochlorite de sodium) dans la conduite principale d'alimentation puis, immédiatement après, d'ammoniac (solution gazeuse ou hydroxyde d'ammonium). La chloramine est un désinfectant faible qui est beaucoup moins efficace contre les virus ou les protozoaires que le chlore libre. Elle est souvent utilisée comme désinfectant secondaire pour empêcher que des bactéries ne se développent à nouveau dans les systèmes de distribution.

L'ozone, forme allotropique de l'oxygène, est une molécule formée de trois atomes d'oxygène et est un puissant agent oxydant et désinfectant. L'ozone gazeux est instable et doit être généré sur place par le passage d'air sec dans un champ électrique entre des électrodes mises sous haute tension. Le traitement par ozonation agit plus rapidement que l'injection de chlore. L'ozone ne produit pas directement de matières organiques halogénées, sauf si un ion bromure est présent. Il est nécessaire d'utiliser un désinfectant secondaire comme la chloramine, parce que l'ozone a peu d'action rémanente dans l'eau. Les coûts d'équipement des systèmes d'ozonation sont relativement élevés et leur exploitation et leur entretien sont relativement complexes.

Les rayons ultraviolets (UV) sont générés par une lampe spéciale. Lorsqu'ils pénètrent dans la paroi cellulaire d'un organisme, la matière génétique de la cellule est perturbée et la cellule est incapable de se reproduire, ce qui permet de détruire efficacement les bactéries et les virus. Comme pour l'ozone, il faut utiliser un désinfectant secondaire pour empêcher les microorganismes de se développer de nouveau. Les rayons UV peuvent être un moyen de désinfection primaire intéressant pour les petits systèmes pour les raisons suivantes : il est facile de les générer, ils ne produisent pas de résidus toxiques

connus, ils agissent rapidement, et les matériels nécessaires pour les produire sont faciles à utiliser et à entretenir. Les rayons UV peuvent cependant ne pas inactiver les kystes de *Giardia lamblia* ou de *Cryptosporidium*. La désinfection au rayons UV n'est pas un système approprié si l'eau contient des niveaux élevés de solides en suspension, elle est turbide, colorée, ou comporte des matières organiques solubles, parce que ces matières peuvent réagir aux rayons UV ou les absorber et, ce faisant, réduire la performance du processus de désinfection.

Distribution et stockage de l'eau

Les systèmes de distribution d'eau se composent de tous les éléments nécessaires pour amener l'eau de boisson de stations d'épuration centrales ou de puits par l'intermédiaire de systèmes d'alimentation par gravité ou par pompage dans des réseaux de distribution auxquels les consommateurs ont accès, y compris les réservoirs d'alimentation et les réservoirs régulateurs. Ces systèmes comprennent des conduites, des pompes, des vannes, des citernes de stockage, des réservoirs, des compteurs, des accessoires, et d'autres ouvrages hydrauliques annexes. Les systèmes d'alimentation sont conçus et exploités pour livrer de l'eau dont la qualité est acceptable pour la consommation humaine dans des quantités qui permettent de répondre aux besoins de tous les consommateurs. Dans de nombreux cas, la capacité de distribution permet également d'utiliser l'eau à des fins pour lesquelles il n'est pas nécessaire que l'eau soit potable, notamment l'irrigation, l'aménagement paysager et l'extinction d'incendies.

La plupart des conduites de distribution d'eau sont en fonte ductile, en béton précontraint, en polychlorure de vinyle, en plastique renforcé, et en acier. Autrefois, on utilisait aussi des conduites en fonte non revêtue et en amiante-ciment et ce type

de conduites peut être une composante importante des réseaux existants.

Les systèmes d'adduction d'eau peuvent être structurés en réseaux ramifiés, en réseaux maillés ou en réseaux mixtes. Dans un réseau ramifié, des canalisations de taille plus réduite partent de conduites de plus grande capacité et ce dans tout le réseau, de sorte que l'eau ne peut suivre qu'une seule voie de son entrée dans le réseau jusqu'au consommateur. Un réseau maillé se compose de conduites formant des mailles connectées entre elles dans toute la zone de desserte si bien que l'eau peut emprunter plusieurs circuits pour parvenir au consommateur. Si une section de conduite quelconque cesse d'être opérationnelle ou doit être réparée, elle peut être isolée sans perturber l'alimentation de tous les usagers du réseau. La plupart des réseaux de distribution d'eau comportent à la fois des sections ramifiées et des circuits bouclés. Les systèmes de traitement décentralisés, qui assurent un traitement supplémentaire près du point d'utilisation selon les besoins des clients, ont été mis à l'essai dans le cadre d'opérations pilotes, et pourraient être davantage utilisés à l'avenir. Des systèmes de distribution doubles qui ont des conduites distinctes pour l'eau potable et l'eau non potable (par ex., l'eau recouvrée à des fins d'irrigation, la lutte contre les incendies, etc.) ont été installés dans certaines communautés.

Les citernes de stockage et les réservoirs ont plusieurs fonctions : assurer des réserves pour faire face aux fluctuations de la demande, lutter contre les incendies et répondre aux autres besoins urgents, stabiliser les pressions dans le réseau de distribution, faciliter la conduite des opérations et assurer une certaine souplesse au niveau du pompage, fournir de l'eau en cas de problème à la source ou au niveau des pompes, et permettre de mélanger des ressources en eau d'origines différentes. Le château d'eau est le type de citerne le plus courant mais il en existe d'autres tels que les réservoirs

souterrains et les réservoirs ouverts ou fermés.

Un réseau d'adduction d'eau doit faire appel à l'énergie fournie par la pression pour acheminer l'eau traitée. Cette énergie peut être générée par une pompe, par l'écoulement de l'eau par gravité à partir du point d'origine (un réservoir ou un château d'eau, par exemple) qui se trouve à plus haute altitude ou, dans le cas des petits systèmes, par de l'air comprimé. Des vannes permettent d'isoler les sections du réseau qui nécessitent un travail de maintenance et de réparation. Des vannes de régulation servent à contrôler le débit et la pression dans le réseau de distribution.

Dans l'idéal, la qualité de l'eau ne change pas entre le moment où celle-ci quitte l'usine de traitement et le moment où elle est consommée. La qualité de l'eau entrée dans le réseau après avoir subi les traitements requis peut cependant être sensiblement altérée par suite de réactions physiques, chimiques et biologiques complexes. Par exemple, l'eau contenue dans les citernes dont la taille est adaptée à la fourniture de quantités d'eau adéquates en cas d'incendie peut se caractériser par un faible taux de renouvellement et une faible teneur en désinfectant secondaire, c'est-à-dire des conditions propices à la croissance de biofilm et à l'apparition d'autres changements biologiques dans l'eau comme la nitrification. La conception et l'exploitation des systèmes de distribution peuvent contribuer à réduire ces effets.

A.2 Assainissement

Les systèmes d'assainissement protègent la santé humaine et l'environnement en isolant et en traitant d'une certaine manière les eaux usées. Dans les régions rurales, les systèmes d'assainissement non collectifs, qu'il s'agisse de latrines à fosse, de toilettes avec chasse d'eau, ou de systèmes septiques, sont les plus fréquents. Toutefois, des systèmes plus complexes de collecte, de stockage, et de traitement centralisés

s'imposent au fur et à mesure que la densité de la population augmente.

Collecte des boues

Il est nécessaire d'évacuer périodiquement les solides des systèmes d'assainissement non collectifs comme les latrines à seau et les systèmes septiques pour que ces systèmes puissent fonctionner correctement. La première étape d'une gestion adéquate des boues fécales consiste à collecter et à transporter ces boues vers une station de stockage ou de traitement. La collecte peut s'effectuer par des moyens manuels (par ex., avec des pelles et des seaux), ou mécaniques. Les matériels mécaniques employés pour la collecte des effluents de fosses septiques / d'eaux résiduaires sont, notamment, des camions-citernes à pression d'une capacité de 3 à 6 m³ et des remorques à pression non motorisées de capacité plus réduite (350 à 500 l). Lorsque les habitations sont situées à proximité de la route, les fosses septiques peuvent être vidées par le camion-citerne et les effluents de fosses septiques / d'eaux résiduaires directement amenés à la station d'épuration. Lorsque les voies d'accès aux habitations sont moins praticables, il est possible d'utiliser une remorque à pression. Dans ce cas, des citernes de stockage intermédiaires (de 3 à 6 m³) peuvent être placées en des points plus facilement accessibles par camion, et les effluents de fosses septiques / d'eaux résiduaires amenés en plusieurs fois par remorque à pression jusqu'aux citernes. Ces citernes de stockage peuvent ensuite être transportées dans un autre site pour être vidées ou amenées à la station d'épuration. Une unité de matériel, de grande ou de petite taille, peut couvrir entre 2 et 3 fosses septiques par jour, soit approximativement 500 par an.

Réseau d'égout

Les égouts sont des conduites fermées, généralement

circulaires en coupe transversale, qui transportent les eaux usées. L'expression réseau d'égout recouvre également les stations de pompage, les déversoirs et autres infrastructures connexes. La plupart des égouts sont conçus en réseaux séparatifs, pour transporter séparément les eaux usées et les eaux de pluie, mais il existe de nombreux réseaux unitaires combinés qui collectent à la fois les eaux usées et les eaux de pluie.

Les égouts peuvent transporter les eaux usées d'utilisateurs résidentiels, commerciaux et industriels vers un lieu de stockage, de rejet ou de traitement. Étant donné que les déchets liquides industriels peuvent contenir une large gamme de produits chimiques, de solvants et d'autres contaminants qui ne peuvent pas être enlevés efficacement par la station d'épuration centralisée, les entreprises industrielles doivent souvent prétraiter leurs déchets liquides avant de les rejeter dans les égouts.

La conception et le dimensionnement des réseaux d'égout sont fonction de la population desservie, des flux émanant des entreprises commerciales et industrielles, des caractéristiques des débits de pointe, et des écoulements d'eaux de pluie. La structure des réseaux d'égout unitaires est tributaire, non seulement des flux d'eaux d'égout escomptés mais aussi et par-dessus tout de la superficie et des caractéristiques des bassins versants. Il arrive souvent que les égouts unitaires ne puissent pas absorber tous les ruissellements d'eaux de pluie, ce qui provoque un trop-plein d'effluents mixtes qui se retrouvent généralement dans les eaux de surface sans avoir été traitées ou, dans le meilleur des cas, après avoir reçu un traitement très limité. Bien que les réseaux d'égouts séparatifs soient prévus pour ne transporter que des eaux usées, tous les systèmes d'égout absorbent dans une certaine mesure, par pénétration ou infiltration, des eaux de surface et des eaux souterraines. Ces phénomènes de pénétration et d'infiltration sont fonction des

conditions d'humidité antérieures qui sont un important facteur à prendre en compte lors de la conception de réseaux d'égouts séparatifs.

Les réseaux d'égout acheminent couramment les eaux usées par gravité dans une conduite en pente descendante. Ces réseaux, appelés collecteurs gravitaires classiques, sont conçus de manière à ce que la pente et la dimension des conduites permettent de maintenir la circulation des effluents en direction des points de rejet sans surcharger les regards ou exercer de pression sur les conduites. Les égouts gravitaires classiques sont généralement utilisés dans les zones urbaines construites sur des terrains en pente régulière car, dans les sites trop vallonnés ou trop plats, il faut effectuer de profondes excavations qui ont pour effet d'accroître les coûts de construction. Il est parfois nécessaire d'équiper ces réseaux d'égout de stations de pompage/de relèvement des eaux d'égout en raison de la pente des conduites, de sorte que les effluents s'écoulent vers les points bas où les eaux d'égout s'accumulent et doivent être pompées ou vidangées, et envoyées vers un système de collecte. Les stations de pompage et de relèvement augmentent très nettement le coût des systèmes de collecte. Les regards des égouts gravitaires classiques peuvent être source de pénétration et d'infiltration d'eaux qui viennent accroître le volume d'eaux usées dans le réseau et oblige à avoir recours à des conduites et des stations de relèvement/pompage de plus grande dimension.

Il peut être efficace au plan des coûts de recourir à d'autres systèmes de collecte des eaux usées dans les zones où l'installation et l'exploitation de systèmes classiques coûteraient trop cher. Par exemple, des réseaux d'égouts sous pression sont parfois installés dans les régions à faible densité de population ou dans les zones de banlieue où des systèmes de collecte classiques seraient coûteux. Ce type de réseau utilise généralement des conduites de diamètre plus faible, qui sont

posées légèrement en pente ou qui suivent les lignes de contour, de sorte que les coûts d'excavation et de construction sont moins élevés. Les réseaux d'égouts sous pression se distinguent des systèmes de collecte gravitaires classiques par le fait que les solides de grande dimension sont brisés à la station de pompage avant d'entrer dans le système de collecte. Leur étanchéité et l'absence de plaques d'égout les mettent à l'abri de toute infiltration. C'est pourquoi ils sont parfois considérés comme des options préférables dans les régions où les eaux souterraines sont proches de la surface et pourraient s'infiltrer dans les égouts, ce qui aurait pour effet d'accroître le volume des eaux usées à traiter. Ils protègent également les sources d'eaux souterraines en maintenant les eaux usées dans l'égout. Ces réseaux non classiques ont cependant des inconvénients : ils consomment davantage d'énergie, ils exigent un entretien plus important, des coûts de maintenance plus élevés et ils coûtent plus chers au niveau des parcelles. Dans les régions ayant des reliefs et des densités de population variables, il peut être approprié de combiner différents types d'égout.

Les deux types principaux de systèmes d'égout sous pression sont le système à pompe à effluent pour fosse septique (septic tank effluent pump, STEP) et le système à pompe broyeuse (grinder pump (GP)). Ni l'un ni l'autre ne nécessite de modifier la plomberie à l'intérieur des bâtiments. Dans les systèmes STEP, les eaux usées coulent dans une fosse septique ou dans un séparateur classique qui permet d'isoler les solides. L'effluent liquide se déverse dans un réservoir de stockage qui contient une pompe et des dispositifs de contrôle. L'effluent est ensuite pompé et transféré en vue de son traitement. Moderniser les fosses septiques existantes dans les régions desservies par des systèmes de fosses septiques/d'éléments épurateurs pourrait permettre de réaliser des économies, mais un grand nombre (souvent la majorité) de ces fosses doivent être remplacées ou agrandies pendant la vie utile du système parce que leur

capacité est devenue insuffisante, les réservoirs en béton se sont dégradés, ou des fuites sont apparues. Dans un système GP, les eaux d'égout se dirigent dans une chambre où une pompe broyeuse concasse les solides et rejette les eaux d'égout dans un système de conduites sous pression. Les systèmes GP ne nécessitent pas de fosse septique, mais ils peuvent exiger une puissance énergétique supérieure à celle des systèmes STEP du fait de la phase de broyage. Les systèmes GP produisent des eaux usées avec un plus grand nombre de STS, qui peuvent donc ne pas être traitables dans les stations d'épuration en aval.

Traitement des eaux usées

Le traitement des eaux d'égout recouvre, notamment, les processus physiques, chimiques et biologiques destinés à enlever les contaminants physiques, chimiques et biologiques. Son objectif est de produire un effluent traité et des déchets solides ou des boues qui peuvent être rejetés ou réutilisés dans l'environnement. Généralement, le traitement des eaux d'égout comporte trois phases : le traitement primaire, le traitement secondaire, et le traitement tertiaire (ou de pointe).

Traitement primaire

Le traitement primaire a pour objet d'enlever les solides grossiers, en suspension ou flottants et des eaux d'égout brutes. Il est parfois qualifié de traitement mécanique, bien que des produits chimiques soient souvent utilisés pour accélérer le processus de sédimentation.

Le dégrillage préliminaire enlève les objets de grande dimension qui sont en suspension ou qui flottent. Après leur dégrillage, les eaux usées s'écoulent dans un dessableur au fond duquel les sables, les gravillons, les scories, et les petites pierres se déposent. Il est très important d'enlever les gravillons et le gravier entraînés par les eaux de pluie dans les rues et sur les

sols, en particulier dans les villes équipées de réseaux d'égout unitaires. L'entrée de grandes quantités de gravillons et de sables dans une station d'épuration peut causer de graves problèmes d'exploitation, par exemple, en provoquant une usure excessive des pompes et d'autres éléments, en bloquant les dispositifs d'aération, ou en occupant des espaces nécessaires au traitement dans les citernes. Les gravillons et les retenues des grilles qui sont enlevés par ces processus doivent être périodiquement récupérés et éliminés (par ex., par leur mise en décharge ou leur incinération).

Une fois que le dégrillage a été achevé et que les gravillons ont été retirés, les eaux usées contiennent encore des éléments organiques et inorganiques dissous, ainsi que des solides en suspension. Ces solides résiduels peuvent être enlevés par sédimentation ou décantation par gravité, par coagulation chimique ou par filtration. La matière solide retirée est appelée boue primaire.

Le traitement primaire peut réduire la DBO des flux d'eaux usées entrants de 20 à 20 % et les solides totaux en suspension de 50 à 60 %. Le traitement primaire est habituellement le premier stade du traitement des eaux usées. Dans certains cas, les stations d'épuration commencent par opérer un traitement primaire, puis s'équipent pour assurer des traitements supplémentaires au fur et à mesure que la charge des eaux usées augmente, que les besoins de traitement augmentent, et que les ressources deviennent disponibles.

Traitement secondaire

Le traitement secondaire consiste à recourir à des processus biologiques pour éliminer environ 85 % de la matière organique dissoute qui échappe au traitement primaire. Les technologies employées sont, notamment, les processus de culture microbienne fixée, de boues activées et autres cultures microbiennes en suspension, les systèmes d'aération

prolongée, les réacteurs biologiques à membrane, les lagunes aérées, les systèmes de bassins et de terres humides construits, et d'autres formes de traitement qui ont recours à l'activité biologique pour décomposer la matière organique.

Dans les processus de biomasse fixée (film biologique), la croissance microbienne s'effectue à la surface du milieu en pierre ou en plastique. Les eaux usées passent sur ce milieu, en même temps que de l'air source d'oxygène. Les installations à biomasse fixée sont, notamment, les lits percolateurs, les tours de filtration biologiques, et les disques biologiques. Dans les processus de cultures microbiennes en suspension, la culture microbienne est en suspension dans un mélange d'eau aéré parce que de l'air (ou de l'oxygène) y est pompé ou bien parce que l'eau est agitée dans une mesure suffisante pour permettre le transfert d'oxygène. Les unités des processus de cultures microbiennes en suspension comprennent des variantes de boues activées, de fossés d'oxydation et de systèmes de renouvellement séquentiel du milieu. Le processus de culture en suspension intensifie le travail des bactéries aérobies et des autres microorganismes qui décomposent la matière organique présente dans les eaux d'égout, car il fournit un environnement aérobie riche dans lequel les microorganismes qui sont en suspension dans les eaux usées opèrent de manière plus efficace.

Du bassin d'aération, les eaux usées traitées s'écoulent dans un bassin de décantation (clarificateur secondaire), où l'excédent de biomasse est enlevé. Une partie de la biomasse est recyclée à l'entrée du bassin d'aération, tandis que le reste est « évacué comme déchet » du système. Les déchets de biomasse et les solides décantés sont traités avant d'être éliminés ou réutilisés en tant que biosolides.

Il peut être souhaitable d'utiliser un processus à boues activées et autres processus connexes quand la quantité de polluants

organiques à enlever est importante, les ressources financières et humaines spécialisées requises pour l'exploitation et la maintenance sont disponibles et les terrains sont rares ou chers. Ce système nécessite généralement une certaine forme de traitement primaire, tels que dégrillage et sédimentation. Lorsque les opérations d'exploitation et d'entretien sont menées de manière appropriée, ce processus n'attire généralement pas de mouches et ne génère pas d'odeurs. Cependant, la plupart des procédés des boues activées reviennent plus chers à exploiter que les processus de biomasse fixée et ils exigent une alimentation en électricité constante. L'efficacité du processus des boues activées peut être compromise par la présence de niveaux élevés de composés toxiques dans les eaux usées. Il peut donc être nécessaire d'exiger un prétraitement des rejets industriels pour maîtriser les polluants provenant des opérations industrielles qui risquent d'échapper aux processus de traitement ou de les perturber, de contaminer les boues des eaux d'égout, ou de créer des conditions dangereuses dans le réseau d'égout ou le système de traitement, par exemple en générant des gaz explosifs ou toxiques⁴⁸.

Les processus à base de boues activées doivent être conçus compte tenu des caractéristiques des eaux usées, des conditions environnementales locales (notamment la température), de la présence éventuelle de substances inhibitrices (comme celles qui peuvent être présentes dans les effluents industriels), des besoins de transfert d'oxygène, et de l'énergie cinétique (temps de rétention dans le système).

Le processus d'aération prolongée est une variante du processus fondamental à base de boues activées dans laquelle la vitesse d'écoulement est relativement faible et le temps d'aération est prolongé. Les eaux d'égout aérées forment des boues brunes semblables à des matières floculées, qui se

⁴⁸ Voir, par exemple, U.S. EPA Office of Wastewater Management, Permits Division, Model Pretreatment Ordinance, janvier 2007, EPA 833-B-06-002.

déposent dans un décanteur séparé. Les effluents traités lipides sont extraits de la partie supérieure du décanteur, tandis que les boues sont retirées du fond de celui-ci. L'avantage de ce système est que les boues sont stables et ne requièrent pas de traitement supplémentaire, en dehors de la déshydratation. Il consomme toutefois beaucoup d'électricité parce que la période d'aération est longue ; il répond donc bien aux besoins de petites stations.

Les réacteurs biologiques à membrane ou bioréacteurs à membrane (BRM), comprennent un écran formé d'une membrane semi-perméable immergée ou conjuguée à un processus de boues activées. Cette technologie garantit le retrait de tous les polluants en suspension et de quelques polluants dissous. Les limites du système BRM sont directement proportionnelles à l'efficacité avec laquelle le processus de boues activées élimine les oligoéléments. Un système RBM peut produire des effluents de très bonne qualité en n'occupant qu'un espace limité. Il est toutefois complexe et le coût de sa construction et de son exploitation est habituellement plus élevé que celui d'un système d'épuration classique.

Les bassins et les terres humides offrent des possibilités de traitement des eaux usées simples et robustes moyennant de faibles coûts d'exploitation et d'entretien. Les bassins sont classés en trois groupes : les bassins anaérobies (les réactions ont lieu sans oxygène), les lagunes à microphytes (dans lesquels les processus peuvent utiliser ou ne pas utiliser d'oxygène), et les bassins de maturation (dans lesquels un traitement supplémentaire à l'oxygène et à la lumière naturelle a pour effet de réduire encore plus le niveau de polluants avant le rejet des eaux).

Les systèmes de bassins et de terres humides sont exposés aux effets de conditions naturelles, comme le vent, la température, la pluie, la radiation solaire et les effluents de

fosses septiques / d'eaux résiduaires, ainsi que celle de facteurs physiques comme leur superficie en surface, la profondeur de l'eau, le court-circuitage, le pH, les matières toxiques, et l'oxygène. Les problèmes rencontrés dans un site particulier peuvent être dus à une nappe phréatique élevée, des inondations, un relief à pente très forte, et un habitat favorable à des vecteurs comme les moustiques.

Les bassins anaérobies de stabilisation des déchets sont des bassins ouverts dans lesquels les eaux usées sont traitées sans oxygène. Les solides se déposent au fond de l'étang où ils sont digérés. Le passage des eaux usées dans ce type de bassin peut constituer un traitement primaire, qui est suivi d'un traitement secondaire assuré par le passage des eaux dans d'autres systèmes tels que lagunes à microphytes ou terres humides artificielles. Les bassins anaérobies sont habituellement des bassins rectangulaires profonds de trois mètres au minimum, et de 4 mètres de préférence. Les boues qui s'y accumulent doivent en être périodiquement retirées (par ex. par extraction des solides restants après la vidange du bassin, ou au moyen d'une pompe à boue montée sur un support flottant). Un bassin anaérobie bien conçu peut enlever près de 60 % de DBO et de DCO par temps chaud.

Les lagunes à microphytes sont de grands bassins peu profonds (ils ont une profondeur de l'ordre de 1,5 à 1,8 mètre) qui facilitent la combinaison de processus anaérobies et aérobie. Le traitement s'effectue par le biais de procédés physiques associés à des procédés biologiques, et il peut être complexe. Les bassins de maturation sont similaires mais de plus petite taille et ils sont généralement placés en série à la sortie des lagunes à microphytes. Les bassins de maturation permettent mieux que la plupart des autres processus de traitement d'enlever à la fois les bactéries et les œufs de vers parasites. Les lagunes à microphytes et les bassins de maturation sont des options qui peuvent être retenues quand les

superficiés disponibles sont limitées, les niveaux d'organismes pathogènes doivent être abaissés, et/ou que le flux entrant peut occasionnellement comprendre de grandes quantités d'eaux de ruissellement d'origine pluviale.

Les zones humides artificielles sont des systèmes de marécages spécialement aménagés pour traiter une large gamme d'effluents de déchets, notamment les eaux usées ménagères, les eaux de ruissellement agricoles, les eaux de pluie, voire même les effluents industriels. Le traitement s'effectue par le biais d'une combinaison de processus biologiques et physiques comme la sédimentation, la précipitation, l'adsorption, l'assimilation par les plantes, et l'activité microbiologique. Le système est conçu pour permettre un écoulement gravitaire, ce qui réduit la nécessité d'utiliser des pompes et des dispositifs électriques. L'écoulement peut être vertical ou horizontal, et dans le cas des zones humides à écoulement horizontal, il peut s'effectuer soit en surface soit en dessous de celle-ci. La plupart des zones humides artificielles mises en place dans les pays en développement sont à écoulement horizontal sous la surface. Les systèmes d'écoulement en surface ne sont généralement pas adoptés parce qu'ils offrent une aire de reproduction aux moustiques.

Les zones humides artificielles sont une option à retenir lorsqu'il est nécessaire d'obtenir un effluent de meilleure qualité uniquement par traitement anaérobie. La superficie requise pour ce type de traitement d'eaux d'égout brutes est généralement comprise entre 3 et 5 m² par personne ; la superficie requise peut être réduite par un traitement anaérobie préalable des eaux usées.

Traitement tertiaire

Les traitements effectués pour réduire la DBO des eaux d'égout sont des traitements secondaires. Un traitement tertiaire est un traitement effectué à l'issue du traitement secondaire dans le

but d'enlever les polluants organiques non biodégradables et les oligoéléments minéraux comme l'azote et les sels de phosphore. Le traitement tertiaire peut enlever plus de 99 % des impuretés contenues dans les eaux usées et produire un effluent qui a presque la qualité d'une eau de boisson. Un traitement tertiaire peut consister, par exemple, à modifier un traitement secondaire classique pour pouvoir enlever des quantités additionnelles de phosphore et d'azote. Des filtres à charbon actif sont couramment utilisés dans le cadre des traitements tertiaires.

Désinfection

L'étape de la désinfection peut être la dernière avant le rejet de l'effluent. Le chlore est le désinfectant le plus largement utilisé, mais l'ozone et les rayons ultraviolets sont aussi fréquemment employés pour désinfecter les effluents d'eaux usées. Certains responsables environnementaux sont cependant préoccupés par les effets défavorables que les résidus de chlore dans les effluents pourraient avoir. Il pourrait être approprié de procéder à la déchloration des eaux usées traitées pour obtenir les paramètres de qualité d'eau voulus.

Réutilisation des eaux usées

Les eaux usées sont de plus en plus utilisées en agriculture, en particulier dans les régions où les ressources en eau sont très limitées et où la population et, partant, les besoins alimentaires, augmentent, parce que les eaux usées fournissent aussi bien de l'eau que des oligoéléments. Elles peuvent également être une source d'eau fiable tout au long de l'année.

Les eaux usées sont épandues sur la terre et pénètrent dans le sol qui agit en tant que filtre naturel du sol et conjugue ses effets à ceux de l'activité microbienne et de l'absorption par les plantes, pour éliminer la plupart des contaminants. Une partie de l'eau s'évapore ou est utilisée par les plantes. L'eau restante

est collectée dans des caniveaux ou des puits pour être rejetée en surface, ou bien percole pour rejoindre les eaux souterraines. La majeure partie de l'eau et des oligoéléments sont utilisées par les plantes, tandis que d'autres polluants sont transférés par adsorption dans le sol, où la plupart se minéralisent ou se décomposent progressivement par suite de l'activité microbienne.

Les eaux usées, qui sont parfois désinfectées avant leur épandage selon l'utilisation finale qui doit être faite des produits de la récolte et la méthode d'irrigation (pulvérisation, submersion, goutte-à-goutte, billons ou sillons). Le choix de la méthode repose sur des considérations relatives au coût, au terrain et aux types de cultures. Les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte font passer l'eau à travers des canalisations percées de trous de très faible diamètre et posées sur le sol ; il faut donc, dans ce cas, prétraiter les eaux usées pour enlever les solides en suspension qui risqueraient de boucher les trous.

Traitement et élimination des boues

Traitement des boues

Les systèmes de traitement des boues les plus couramment utilisés sont, notamment, la digestion anaérobie et la digestion anaérobie thermophile.

Les digesteurs anaérobies sont de grandes citernes de fermentation qui fonctionnent en permanence dans des conditions anaérobies. La décomposition anaérobie peut être utilisée pour traiter directement les eaux d'égout, mais il est économiquement avantageux de traiter les déchets en aérobiose. Des digesteurs anaérobies de grande dimension sont habituellement utilisés pour transformer les boues produites par les traitements primaires et secondaires. Le processus de décomposition anaérobie sert également à traiter

des effluents industriels qui ont des niveaux très élevés de DBO. Des mécanismes de mélange mécanique, de chauffage, de collecte des gaz, d'addition de boues, et de retrait des boues stabilisées sont incorporés dans les gros digesteurs anaérobies. La digestion anaérobie utilise une large gamme de bactéries anaérobies non méthanogènes. La première partie du processus décompose les matières organiques complexes et la seconde génère du méthane. Les produits finaux de la digestion anaérobie se composent approximativement de 70 % de méthane et de 30 % de bioxyde de carbone, de biomasse microbienne, et de résidu non biodégradable. Des boues entièrement digérées ont peu de matière organique facilement biodégradable. Elles n'ont généralement pas d'odeurs gênantes et environ 50 % des solides sont inorganiques.

La digestion anaérobie thermophile s'effectue à des températures plus élevées, généralement comprises entre 50 et 70°C, que la digestion anaérobie classique qui a lieu le plus souvent à une température d'environ 20 à 45°C. La digestion anaérobie thermophile peut être plus rapide ; elle ne prend qu'environ deux semaines pour parvenir à son terme, contre 15 à 30 jours pour la digestion anaérobie standard. La digestion thermophile revient cependant plus chère, consomme plus d'énergie et est moins stable que le processus mésophile.

Les systèmes de traitement secondaire par aération prolongée permettent aussi de digérer les boues d'égout en aérobiose. Les boues provenant des processus classiques de boues activées peuvent aussi être traitées en aérobiose avec injection d'air, par opposition à un environnement appauvri en oxygène comme dans le cas de la digestion anaérobie. Étant donné que la digestion aérobiose est plus rapide que la digestion anaérobie, les coûts d'équipement de la digestion aérobiose sont moins élevés. Les dépenses d'exploitation sont cependant généralement beaucoup plus élevées, en raison des dépenses d'énergie qu'implique l'aération nécessaire destinée à ajouter de

l'oxygène au processus.

Le compostage est également un processus aérobie qui combine les solides des eaux usées à des sources de carbone telles que sciure, paille ou copeaux de bois. En la présence d'oxygène, les bactéries digèrent à la fois les solides des eaux usées et la source de carbone ajoutée et, ce faisant, produisent une grande quantité de chaleur.

Élimination et utilisation des boues

Après la phase de stabilisation (par ex., par les processus de digestion anaérobie, de digestion anaérobie thermophile, de digestion aérobie, ou d'aération prolongée), les boues peuvent être déshydratées et éliminées dans une décharge ou dans un incinérateur, ou elles peuvent être soumises à des transformations supplémentaires en vue de leur utilisation.

L'incinération des boues est cause de préoccupations parce que les émissions qui en résultant contiennent des polluants atmosphériques et comme le coût des combustibles qu'elle consomme est élevé, ce processus est jugé moins attrayant et est moins fréquemment mis en place. Il peut cependant être approprié lorsque la composition des boues (par ex., en raison de rejets industriels dans le système d'égout) exclut toute autre option d'élimination ou d'utilisation.

Les processus de digestion des boues anaérobie et aérobie peuvent tous deux détruire les microorganismes et les parasites phytopathogènes dans une mesure suffisante pour que les solides résultant de la digestion puissent être épandus en toute sécurité, servir de matière d'enrichissement des sols (en offrant les mêmes avantages que la tourbe) ou être utilisés en agriculture comme engrais, dans la mesure où les niveaux des constituants toxiques sont assez faibles.