



Distr. LIMITÉE

UNEP(DEPI)/CAR WG.41/INF.23/Rev.1
21 juillet 2021

Original : ANGLAIS

Dix-neuvième Réunion intergouvernementale sur l'action Plan pour le Programme pour l'environnement des Caraïbes et Seizième Réunion des Parties contractantes à la Convention pour la protection et la mise en valeur du milieu marin de la Région Caraïbes

Virtuel, du 26 au 30 juillet 2021

**DOCUMENT TECHNIQUE SUR LES CRITERES PROPOSE POUR LES
ELEMENTS NUTRITIFS REJETS D'EFFLUENTS D'EAUX USÉES
DOMESTIQUES**

Pour des raisons de santé et de sécurité publiques liées à la pandémie de COVID-19, cette réunion est convoquée virtuellement. Les délégués sont priés d'accéder à tous les documents de la réunion para voie électronique.

Information Paper on Nutrients Management Guidelines/Standards for Wastewater Discharges into the Wider Caribbean Region

Dr. Hugh Sealy

2021



Centre for Resource Management and Environmental
Studies (CERMES)

The University of the West Indies, Faculty of Science and
Technology Cavehill Campus, Barbados

Dr. Hugh Sealy
2021

Table des matières

Liste des figures	iii
Liste des Tableaux	iii
Liste des Annexes	iv
Glossaire	v
1 Introduction.....	1
1.1 Le Problème	1
1.1.1 Contribution des rejets d'eaux usées à la pollution par les nutriments dans la région des Caraïbes	7
1.2 Importance des normes de rejet d'éléments nutritifs	8
2 Cadres et initiatives mondiales et régionales pertinentes existantes.....	13
2.1 Initiatives mondiales	13
2.2 Partenariat mondial sur la gestion des éléments nutritifs.....	13
2.3 Initiatives régionales	16
3 Principales et approches de gestion des normes d'eaux usées dans la région des Caraïbe	20
3.1 Le principe de précaution.....	20
3.2 Mieux vaut prévenir que guérir.....	22
3.3 Le principe du pollueur-payeur	22
3.4 Normes basées sur la performance et la technologie	25
3.5 Normes basées sur la santé.....	27
3.6 Normes basées sur la qualité de l'eau.....	29
3.7 Charges quotidiennes maximales totales.....	33
4 Examen sélectif des normes existantes de rejets d'éléments nutritifs.....	36
4.1 Caricom.....	36
4.1.1 Certains pays d'amérique latine et des caraïbes dans la région des Caraïbes.....	37
5 Une étude de cas sur l'élaboration d'un plan de réutilisation de l'eau et de gestion des éléments nutritifs à la barbade	39
5.1 Statistiques économiques et liées à l'eau de la Barbade.....	39

5.2	Les facteurs favorables.....	40
5.3	Un plan de récupération d'eau proposé pour la Barbade.....	42
5.4	Etude de pré faisabilité de la restauration des eaux de la côte sud.....	43
5.4.1	Concentrations vs. Charges.....	48
5.4.2	Impact économique national attendu	49
6	Conclusions et Recommendations	50
7	Les références	53
8	Appendice	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: L'état actuel des variables de contrôle pour sept des neuf limites planétaires.. (Steffen et. al., 2015).....	2
Figure 1.2: Reproduit à partir de la figure ES1 Les cinq principales menaces de trop ou trop peu de nutriments (Sutton et. al. 2013).....	3
Figure 1.3: Projection de la production mondiale d'engrais (NPK) d'ici 2050 (Drescher et. al., 2011)	4
Figure 1.4: Statut de l'azote inorganique dissous dans la région des Caraïbes (PNUE PEC 2019)	5
Figure 1.5: Phosphore inorganique dissous dans la région des Caraïbes (PNUE PEC)	6
Figure 1.6: Principales sources d'azote et de phosphore dans la région des Caraïbes -année de base 2000. (RNPRSAP, in press).....	7
Figure 3.1: Emplacement du bassin versant de Palm Coast (WBID 2363D) dans le bassin de la côte est supérieure (reproduit à partir de la figure 1.1 – Magley, 2013)	33
Figure 5.1: Coupe transversale d'Ouest en Est de la Barbade	38
Figure 5.2: Projet de plan de réutilisation des eaux usées pour la Barbade	41
Figure 5.3: Diagramme de flux de processus pour la mise à niveau proposée de la station d'épuration de la côte sud (AECOM 2020)	46

LISTE DES TABLEAUX

Table 1.1: Valeurs seuils de qualité de l'eau ambiante utilisées pour DIN et DIP (PNUE PEC 2019).....	5
Table 2.1: Limitations des effluents du protocole LBS pour les rejets d'eaux usées domestiques dans la région des Caraïbes	16
Table 3.1: Effets de l'azote et du phosphore dans les eaux usées utilisées pour l'irrigation (WHO 2006b)	26
Table 3.2: Nutriments sélectionnés WCQ pour l'État d'Hawaï	28-29
Table 4.1: Projet de lignes directrices sur les effluents pour le rejet des eaux usées municipales dans les eaux côtières de la région des Caraïbes	34

Table 4.2: Normes de rejet des eaux usées nutritives de certains États membres de la région des Caraïbes	35
Table 4.3: Résumé des paramètres et matrices surveillés pour la pollution par les nutriments par 12 pays/territoires anglophones et francophones (Les valeurs sont des pourcentages. NR : pas de réponse) (reproduit de la Table 3.3, Ch. IV, RNPRSAP).....	36
Table 5.1: Normes de qualité de l'eau de recharge de l'aquifère potable proposées pour la Barbade (AECOM 2020)	45
Table 5.2: Normes de qualité de l'eau de récupération non potable proposées pour la Barbade (AECOM 2020)	42-43
Table 5.3: Limites de détection des paramètres nutritifs dans les échantillons marins à la Barbade (fournies par les services analytiques du gouvernement, gouvernement de la Barbade, mars 2021)	42
Table 5.4: Mécanismes impliqués dans l'élimination de l'azote total (US EPA 2005).....	44
Table 5.5: Mécanismes impliqués dans l'élimination du phosphore total (US EPA 2005)....	44
Table 5.6: Comparaison des configurations BNR courantes (US EPA 2005).....	45
Table 5.7: Limites de la technologie pour les grandes et petites WWTPs (US EPA 2005)..	45

LISTE DES ANNEXES

Table 7.1: Références pour les normes citées dans le tableau 3.....	53-54
---	-------

GLOSSARY

BMP	Meilleures pratiques de gestion
BNR	Élimination biologique des nutriments
CAR	Centre d'activité régional
CARPHA	Agence caribéenne de santé publique
CEHI	Institut caribéen de santé environnementale
Chl _a	Chlorophylle-a
DBO	Demande biologique en oxygène
DIN	Azote inorganique dissous
DIP	Phosphore inorganique dissous
ENCORE	Nutriments élevés sur l'expérience des récifs coralliens
F.A.C	Code administratif de la Floride
FEM	Fonds pour l'environnement mondial
GPNM	Partenariat mondial pour la gestion des éléments nutritifs
HABS	Fleurs d'algues nuisibles
ICEP	Indice de potentiel d'eutrophisation côtière
IFA	Association internationale des engrais
INI	Initiative internationale sur l'azote
INMS T	Système international de gestion de l'azote
ISO	Organisation internationale de normalisation
IWR	Règle des eaux de surface avec facultés affaiblies
LA	Allocations de charge
LME	Grands écosystèmes marins
MOS	Marge de sécurité
MPCA	Loi sur le contrôle de la pollution marine
NPDES	Système national d'élimination des rejets de pollution

NUE	Efficacité d'utilisation des nutriments
PEC	Programme pour l'environnement des Caraïbes
Protocole LBS	Protocole concernant la pollution provenant de sources et d'activités telluriques à la Convention pour la protection et le développement du milieu marin de la région des Caraïbes
R.O	Osmose inverse
RNPRSAP	Stratégie régionale d'élimination de la pollution par les éléments nutritifs et plan d'action
SOCAR	Rapport sur l'état de la zone des Caraïbes
SS	Matières solides en suspension
TMDLs	Charges quotidiennes maximales totales
TN	Nitrates totaux
TP	Phosphates totaux
UNEP	Programme des Nations Unies pour l'environnement
USGS	Enquêtes géologiques américaines
WBID	Numéro d'identification du plan d'eau
WCR	Grande région des Caraïbes
WCS	Mer des Caraïbes élargie
WLA	Attribution de la charge de déchets
WQC	Détermination des critères de qualité de l'eau
WWTP	Station de traitement des eaux usées

1 INTRODUCTION

Le document suivant est le résultat de la recommandation contenue dans le résultat 1.1.2 du projet CREW + du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) selon lequel le Protocole relatif à la pollution due à des sources et activités terrestres (Protocole LBS) à la Convention de Cartagena, adopté en 1999, devrait être modifié pour permettre l'adoption de nouveaux critères ou normes pour les rejets d'eaux usées domestiques et pour augmenter la réutilisation des eaux usées domestiques. C'est dans ce contexte que cet article se concentre sur la gestion et la régulation des nutriments (azote et phosphore) dans les rejets d'eaux usées domestiques dans la Grande Mer des Caraïbes (WCS) et présente une étude de cas pour l'utilisation de l'eau récupérée dans un petit État insulaire en développement. Ce document d'information a été produit dans le cadre d'une consultation à court terme pour le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), le Programme pour l'environnement des Caraïbes (PEC) et le Secrétariat de la Convention de Cartagena et reflète uniquement les vues de l'auteur.

1.1 Le Problème

Globalement, les cycles naturels de l'azote et du phosphore ont été considérablement altérés. Le concept de « frontières planétaires » a été introduit en 2009 (Rockstrom et. al, 2009) et mis à jour en 2015 (Steffen et. al., 2015). Le concept de frontières implique qu'il existe des limites environnementales à l'intérieur desquelles les humains peuvent continuer à se développer et à prospérer de manière durable. Il y a une zone de sécurité. En 2009, Johan Rockstrom et 27 autres scientifiques ont identifié 9 processus, au niveau planétaire, qui sont essentiels au maintien de cette zone de sécurité. Le schéma ci-dessous (Figure 1.1), reproduit à partir de l'article de 2015, indique que les flux biogéochimiques d'azote ont déjà dépassé la limite proposée et que les flux de phosphore sont devenus à haut risque^[OBJ].

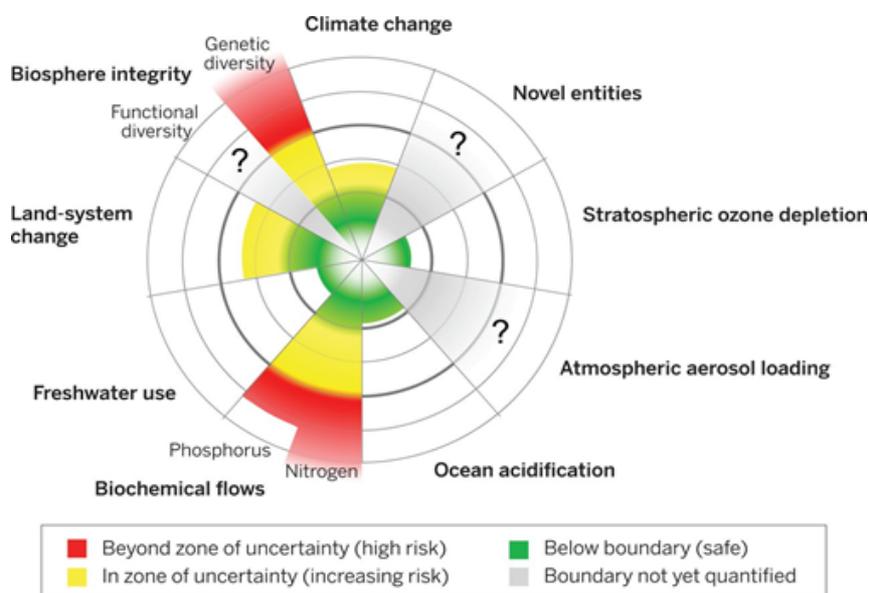


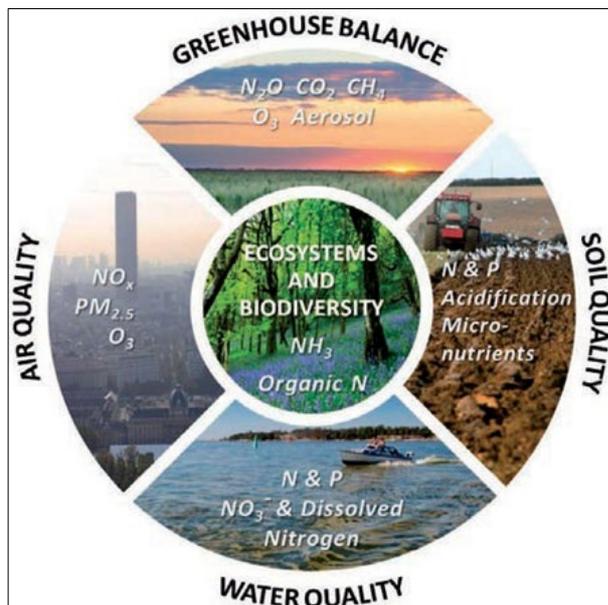
Figure 1.1: 'état actuel des variables de contrôle pour sept des neuf limites planétaires. (Steffen et. al., 2015)

À l'échelle mondiale, cinq menaces environnementales clés liées aux nutriments ont été répertoriées sous l'acronyme WAGES :

- La qualité d'eau (Water quality)
- Qualité de l'air (Air quality)
- Bilan gaz à effet de serre (Greenhouse gas balance)
- Écosystèmes et biodiversité (Ecosystems and biodiversity)
- Qualité du sol (Soil quality)

et illustré ci-dessous dans la Figure 1.2, reproduite à partir du rapport intitulé « Our Nutrient World » préparé pour le compte du Partenariat mondial pour la gestion des éléments nutritifs (GPNM) et de l'International Nitrogen Initiative (INI) (Sutton et. al., 2013).

Aux États-Unis, selon l'US Environmental Protection Agency, les principales sources d'excès d'azote et de phosphore sont l'agriculture, les eaux pluviales, les eaux usées et les combustibles



fossiles et les impacts sur la santé publique (par exemple, la qualité de l'air et de l'eau) et l'environnement (par exemple, les forêts et les dégradation de la santé des sols et perte de biodiversité due à la prolifération d'algues et à l'hypoxie) sont décrits comme l'un des problèmes environnementaux les plus répandus et les plus coûteux auxquels ce pays est confronté. Des impacts similaires, dus à une mauvaise gestion des nutriments, se produisent dans toute la région des Caraïbes

(WCR) (PNUE PEC, 2019).

En comparant les rapports isotopiques de l'azote-14 avec l'azote-15 dans les nitrates déposés

Figure 1.2: Reproduced from Figure ES1 The five key threats of too much or too little nutrients (Sutton et. al. 2013)

dans les carottes de glace du Groenland, les scientifiques ont trouvé une nouvelle façon d'estimer comment les humains ont modifié la

quantité d'azote stockée dans la biosphère, les changements les plus rapides étant corrélés avec augmentation de la combustion de combustibles fossiles (Hastings et al., 2009). D'autres recherches, ici dans les Caraïbes, ont montré une baisse de l'azote-15 chez les gorgones de 1862 à 2005 et ont attribué ce changement du rapport isotopique de l'azote à « l'apport généralisé d'engrais agricoles aux eaux côtières proches des côtes » (Baker et . al., 2010).

La roche phosphatée est une ressource limitée et les sources connues de roche phosphatée extraite s'épuisent tandis que la demande de phosphore continue d'augmenter et devrait doubler d'ici 2050 (voir la figure 1.3 ci-dessous).

L'année de pointe pour la production de phosphore au-delà de laquelle la production chutera en raison de la diminution des réserves est contestée. Le Centre international de développement des engrais estime que nous avons suffisamment de réserves (dont la moitié sont au Maroc) pour les 300 à 400 prochaines années (IFDC, 2010). L'US Geological Surveys (USGS) estime qu'à une croissance nulle de la demande, les ressources mondiales de phosphore dureraient encore 260 ans (Jasinski, 2017). Quand le « pic de phosphore » se produira peut être discutable,

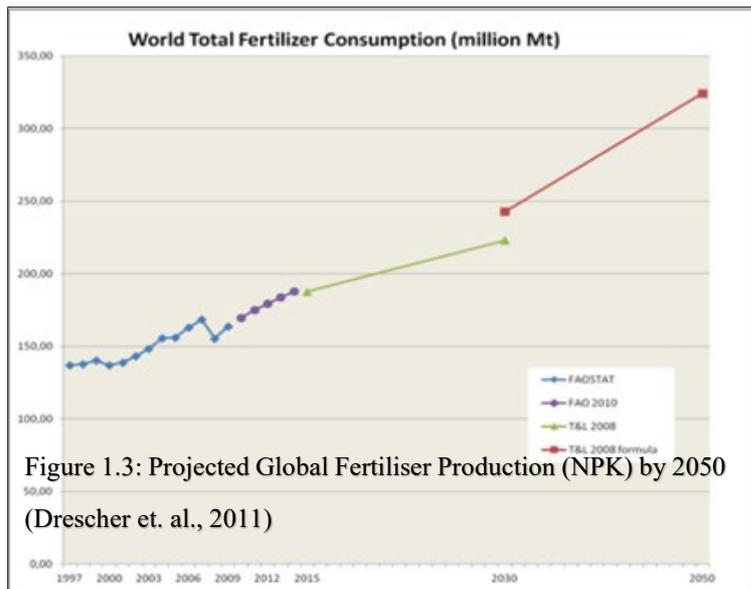


Figure 1.3: Projected Global Fertiliser Production (NPK) by 2050 (Drescher et. al., 2011)

ce qui ne l'est pas, c'est que puisque le phosphore est un élément essentiel et fini, nous devrions chercher à conserver la ressource.

Il est à noter que chaque année plus de 3 millions de tonnes de phosphore sont rejetées dans l'urine humaine et fèces, équivalent à 22% de la demande mondiale (Mihelcic et. al.,

2011)). La struvite, le phosphate d'ammonium et de magnésium, produit par certaines bactéries lorsqu'elles décomposent l'urée dans l'urine et cause des calculs rénaux, peut être utilisé comme engrais phosphaté à libération lente. Une discussion détaillée de la récupération potentielle du phosphore des eaux usées dépasse le cadre de cet article. Cependant, il est à noter qu'une méthode pour précipiter et récupérer efficacement la struvite dans les stations d'épuration des eaux usées a été brevetée en Norvège (NORSOK, 2019) et que le procédé Pearl® est utilisé pour précipiter la struvite dans une poignée de stations d'épuration des eaux usées (STEP) en les États-Unis et le Canada (Schaum, 2018).

Dans la grande région des Caraïbes (WCR) (Figures 1.4 et 1.5 ci-dessous), la pollution par les nutriments de la mer des Caraïbes au sens large a été évaluée récemment dans le rapport sur l'état de la zone des Caraïbes (SOCAR) (PNUE PEC, 2019) en échantillonnant un nombre limité de sites à la fois insulaires et continentaux en saison humide. La SOCAR classe les eaux de la RGC comme bonnes, passables ou mauvaises en fonction des seuils d'azote inorganique dissous (DIN) et de phosphore inorganique dissous (DIP) comme indicateurs (voir le tableau 1.1). La pertinence des paramètres et les concentrations seuils utilisées dans le tableau 1.1 sont discutées dans les sections 3.1 et 3.6.

Table 1.1: Valeurs seuils de qualité de l'eau ambiante utilisées pour DIN et DIP (PNUE PEC 2019)

Indicateur	Status	Continentale mg.l ⁻¹	Ile mg.l ⁻¹
DIN	Bien	< 0.1	<0.05
	Juste	0.1 to 0.5	0.05 to 0.1
	Pauvre	>0.5	>0.1
DIP	Bien	<0.01	<0.005
	Juste	0.01-0.05	0.005-0.01
	Pauvre	>0.05	>0.01

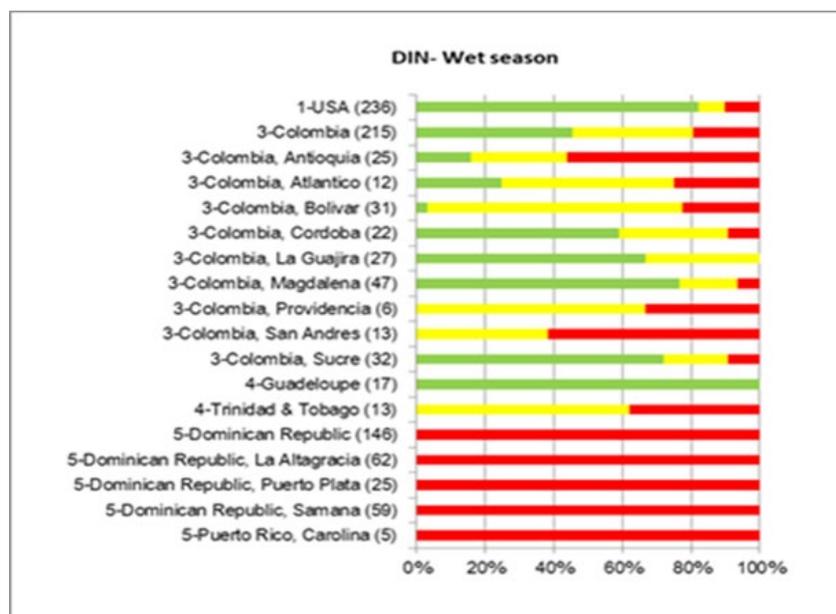


Figure 1.4: Statut de l'azote inorganique dissous dans la région des Caraïbes (PNUE PEC 2019)

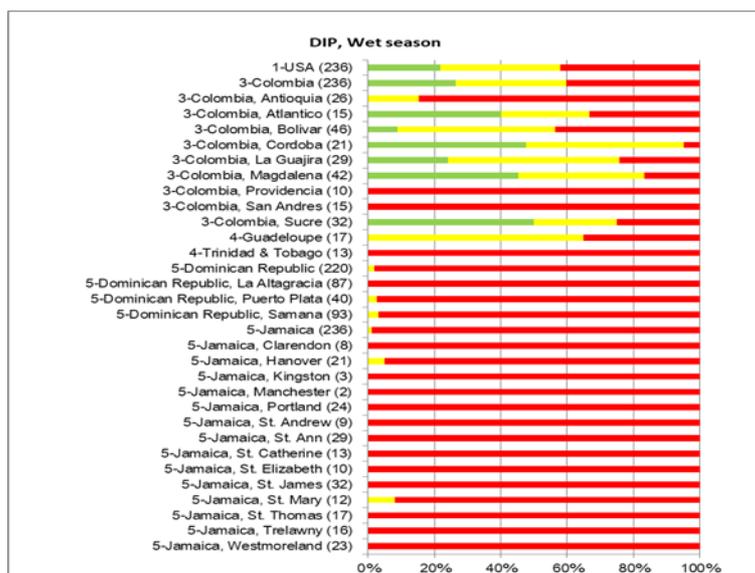


Figure 1.5: Phosphore inorganique dissous dans la région des Caraïbes (PNUE PEC 2019)

Reconnaissant les limites des ensembles de données représentés dans les figures 1.4 et 1.5 ci-dessus, on peut toujours affirmer que les données limitées semblent indiquer une fréquence plus élevée que souhaitable de conditions « mauvaises » pour le DIN et en particulier le DIP sur les sites surveillés dans le BFR. Que la mer des Caraïbes puisse ou non être caractérisée comme étant limitée en azote (c'est-à-dire qu'il y a généralement suffisamment de phosphore présent, mais que l'azote est le facteur limitant dans la création des conditions permettant la prolifération d'algues²), les figures 1.4 et 1.5 suggèrent que les rejets de l'azote et le phosphore doivent être mieux gérés.

Comme en témoigne le chapitre 3 de la Stratégie et plan d'action régional d'élimination de la pollution par les éléments nutritifs (RNPRSAP), environ 164 zones hypoxiques ont été signalées dans la WCR et la fréquence des proliférations d'algues nuisibles (HABS) a augmenté. Il est à noter que l'apparition de HABS (dont 80% sont causés par des dinoflagellés dans la région ALC) peut être influencée par un certain nombre de facteurs, notamment des températures de la mer plus chaudes, une augmentation de l'acidité des océans, le rapport des charges d'azote et de phosphore (rapport de Redfield), la désoxygénation et la quantité de silice rejetée (Neil, 2005) (Gilbert, 2020) (RNPRSAP sous presse).

En réponse aux impacts mondiaux de la pollution par l'azote, notamment le changement climatique, la pollution de l'air et la perte de biodiversité, l'ONU a lancé une campagne mondiale sur la gestion durable de l'azote en 2019 et a fixé l'objectif de réduire de moitié les

déchets d'azote d'ici 2030. Une autre réponse au « défi des nutriments » est le Partenariat mondial sur la gestion des éléments nutritifs établi dans le cadre du Programme d'action mondial pour la protection de l'environnement marin contre les activités terrestres (GPA). Ces cadres et d'autres cadres mondiaux et régionaux sont brièvement examinés dans la section 2.0.

1.1.1 Contribution des rejets d'eaux usées à la pollution par les nutriments dans la région des Caraïbes

Les rejets d'eaux usées représentent environ 10 % de la charge en éléments nutritifs dans la BFR, voir la figure 1.6 ci-dessous, reproduite du chapitre 1 du RNPRSAP.

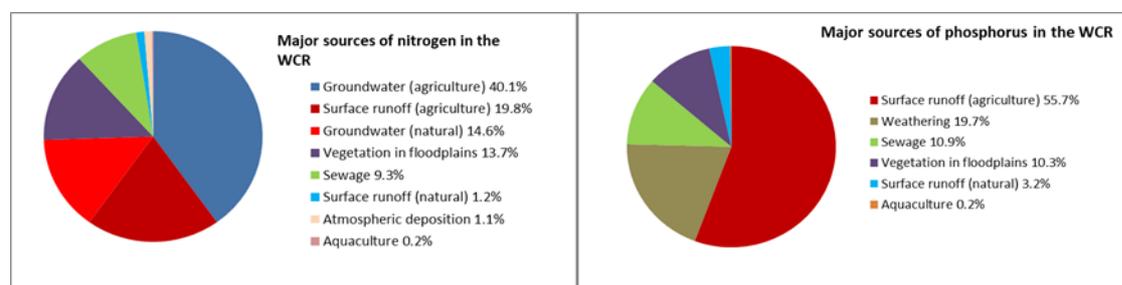


Figure 1.6: Principales sources d'azote et de phosphore dans la région des Caraïbes en 2000. (RNPRSAP, sous presse)

Il peut y avoir une certaine variation dans la contribution en pourcentage des eaux usées domestiques (eaux usées) aux charges globales en éléments nutritifs entre les sous-régions de la région des Caraïbes. Les régions/pays avec une agriculture moins intensive et avec des populations côtières denses, y compris les touristes de passage, peuvent avoir des contributions plus élevées des eaux usées.

Une étude menée en 2015 à la Barbade a utilisé des gorgones (*Eunicea Flexuosa*) et plus de 40 espèces de macroalgues collectées, comme bio-indicateurs, sur les côtes sud et ouest de l'île. Des échantillons ont été prélevés et des analyses d'isotopes d'azote ont été effectuées. L'étude a conclu que "les sources d'azote des eaux usées dominant le long du sud et d'une grande partie de la côte ouest de l'île". (Baird, 2017).

Par conséquent, il semblerait prudent de chercher à gérer les apports d'éléments nutritifs dans la BFR provenant à la fois de l'agriculture et des eaux usées et le présent document se concentre sur ces derniers.

1.2 Importance des normes de rejet d'éléments nutritifs

Selon l'Organisation internationale de normalisation (ISO), les normes aident à répondre à la question : quelle est la meilleure façon de procéder ? Les normes permettent de fixer des cibles et des buts et permettent un examen objectif de l'adéquation de l'effort. Une bonne norme environnementale est exécutoire et efficace pour protéger l'aspect de l'environnement qu'elle est censée protéger.

Alors, comment le protocole LBS cherche-t-il actuellement à réguler le problème des nutriments ? Les obligations générales pertinentes des Parties, telles que décrites à l'article III, sont reproduites ci-dessous (sous réserve de l'auteur) :

- Chaque Partie contractante, conformément à sa législation, aux dispositions du présent Protocole et au droit international, prend les mesures appropriées pour prévenir, réduire et maîtriser la pollution de la zone de la Convention provenant de sources et d'activités terrestres, en utilisant à cette fin **les meilleurs moyens à sa disposition et en fonction de ses capacités.**
- Chaque Partie contractante élabore et met en œuvre des plans, programmes et mesures appropriés. Dans ces plans, programmes et mesures, chaque Partie contractante adopte des moyens efficaces pour prévenir, réduire ou contrôler la pollution de la zone de la Convention provenant de sources et d'activités terrestres sur son territoire, y compris **l'utilisation de la technologie et des approches de gestion les plus appropriées** telles que gestion des zones côtières.

Notez l'utilisation de termes tels que « meilleur moyen possible », « conformément à ses capacités » et « la technologie la plus appropriée »², qui semblent être une reconnaissance des différentes capacités et cultures des Parties contractantes et impliquent une philosophie inhérente de l'utilisation de normes basées sur la technologie (voir la section 3.4).

Les autres articles pertinents du protocole LBS actuel sont :

- Article V - Les Parties contractantes encouragent la coopération pour :
 - identifier et approcher des sources potentielles de financement pour les projets nécessaires à la mise en œuvre du présent Protocole.

- Article VI - Chaque partie contractante élabore et met en œuvre des programmes de surveillance, selon qu'il convient, conformément aux dispositions du présent protocole et à la législation nationale pertinente. Ces programmes peuvent, entre autres :
 - (a) identifier et évaluer systématiquement les modèles et les tendances de la qualité environnementale de la zone de la Convention ; et
 - (b) évaluer l'efficacité des mesures prises pour mettre en œuvre le Protocole.
- Article XII - Les Parties contractantes soumettront des rapports à l'Organisation
 - Le comité scientifique, technique et consultatif utilisera les données et informations contenues dans ces rapports nationaux pour préparer des rapports régionaux

Des clauses pertinentes figurent également dans les annexes. Par exemple:

- Annexe I
 - Les eaux usées domestiques sont une catégorie de source prioritaire
 - Les composés d'azote et de phosphore sont les principaux polluants préoccupants
- Annexe II
 - Les Parties contractantes, lorsqu'elles élaborent des limitations et des pratiques de gestion des effluents et des émissions spécifiques à la source sous-régionale et régionale conformément à l'article IV du présent Protocole, évaluent et prennent en considération les facteurs suivants:
 - Quantité totale (unités déchargées, par exemple, par an ou par jour)
 - technologies alternatives de production, de traitement des déchets ou pratiques de gestion
 - (a) Opportunités de recyclage, de récupération et de réutilisation
- Annexe III
 - Chaque Partie contractante doit:
 - (a) Conformément aux dispositions de la présente annexe, prévoir la réglementation des eaux usées domestiques déversées dans la zone de la Convention ou affectant négativement celle-ci ;

- (b) Dans la mesure du possible, localiser, concevoir et construire des installations de traitement des eaux usées domestiques et des exutoires de manière à minimiser les effets négatifs sur les eaux de classe I ou les rejets dans ces eaux ;
 - (c) Encourager et promouvoir la réutilisation des eaux usées domestiques qui minimise ou élimine les rejets dans, ou les rejets qui affectent négativement, la zone de la Convention ;
 - (d) Promouvoir l'utilisation de technologies plus propres pour réduire les rejets au minimum ou pour éviter les effets néfastes dans la zone de la Convention ;
et
 - Élaborer des plans pour mettre en œuvre les obligations de la présente annexe, y compris, le cas échéant, des plans pour obtenir une aide financière.
- 2. Chaque partie contractante a le droit d'utiliser toute technologie ou approche qu'elle juge appropriée pour satisfaire aux obligations spécifiées dans la partie C de la présente annexe.

Le protocole LBS spécifie pour les systèmes domestiques:

- Chaque Partie contractante s'efforce, dans la mesure du possible, économiquement et technologiquement, dans les zones sans collecte des eaux usées, de s'assurer que les systèmes domestiques sont construits, exploités et entretenus pour éviter la contamination des eaux de surface ou souterraines qui sont susceptibles d'affecter négativement la zone de la Convention
- Les systèmes domestiques comprennent, mais sans s'y limiter, les fosses septiques et les champs d'épuration ou les monticules, les réservoirs de rétention, les latrines et les toilettes à bio-digestion.

En l'absence apparente de volonté politique ou de capacité économique d'égoutter les populations, on pourrait affirmer qu'il faut se concentrer davantage sur les technologies de traitement sur place plus petites qui éliminent/récupèrent les nutriments dans la région des Caraïbes. L'annexe 1V du protocole vise à réglementer les sources agricoles diffuses de pollution (la plus grande source de pollution par les éléments nutritifs) en:

- Rendre obligatoire pour toutes les Parties la formulation de politiques, de plans et de mécanismes juridiques
- Programmes d'éducation, de formation et de sensibilisation
- L'élaboration et la promotion de programmes d'incitation économiques et non économiques pour accroître l'utilisation des meilleures pratiques de gestion

Il n'y a aucune tentative dans le Protocole LBS d'établir des normes numériques/quantitatives pour réglementer la pollution par les nutriments provenant de sources diffuses. Des normes d'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs (NUE) ou de gestion des éléments nutritifs sont maintenant appliquées dans certaines juridictions (Virginia Department of Conservation and Recreation, 2014) et promues par l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture dans la production animale (FAO, 2012).

Il n'y a pas de normes quantitatives dans le protocole LBS pour réguler la quantité d'éléments nutritifs dans les rejets d'eaux usées dans la WCR. L'annexe III du Protocole à la section 3 (a) indique ce qui suit:

“Chaque Partie contractante tient compte de l'impact que l'azote total et le phosphore et leurs composés peuvent avoir sur la dégradation de la zone de la Convention et, dans la mesure du possible, prend des mesures appropriées pour contrôler ou réduire la quantité d'azote total et de phosphore rejetée. dans la zone de la Convention ou pourrait avoir une incidence négative sur celle-ci.”

On pourrait soutenir que le langage ci-dessus représente une norme qualitative. Le mot « doit » implique une obligation impérative pour chaque Partie. On pourrait également faire valoir qu'en l'absence de connaissances scientifiques claires sur les impacts sur la santé publique ou l'écotoxicologie aquatique d'une substance ou d'un groupe de substances, il convient d'être prudent quant à l'établissement d'une norme quantitative (soit en bout de chaîne, soit ambiante) à moins que cette norme était zéro.

Le problème se pose de savoir comment déterminer si la quantité d'azote et/ou de phosphore rejetée par des pollueurs individuels « peut nuire à la zone de la Convention » ? Comment la conformité serait-elle déterminée en utilisant uniquement une norme qualitative ? L'organisme de réglementation devra prouver, dans chaque cas individuel, que le rejet particulier a causé des dommages à l'environnement récepteur.

Le statu quo est un niveau global déjà problématique de pollution par les nutriments provenant des rejets domestiques, qui est susceptible d'augmenter à mesure que les populations augmentent dans la région. L'approche qualitative ou narrative utilisée à ce jour dans le protocole LBS pour gérer les rejets d'éléments nutritifs provenant de sources ponctuelles et diffuses n'a apparemment pas eu l'effet souhaité. Il est supposé que l'introduction de normes quantitatives sur les rejets d'éléments nutritifs sera plus facile à appliquer.

Il est en outre avancé que la présence de normes numériques pour des paramètres tels que les solides en suspension (MES) et la demande biologique en oxygène (DBO) dans le protocole LBS a fourni un objectif clair pour les concepteurs et les opérateurs de stations d'épuration et que ces objectifs sont réalisables grâce à la l'utilisation de ce qui est maintenant une technologie conventionnelle et largement disponible (voir l'étude de cas de la Barbade à la section 5.0). On peut affirmer que la technologie d'élimination de l'azote des eaux usées domestiques (moins l'élimination du phosphore) est également devenue conventionnelle.

Par conséquent, il est recommandé que l'annexe III du protocole LBS soit modifiée pour prévoir des limites quantitatives (charges et/ou concentrations) pour l'azote et éventuellement pour le phosphore dans les eaux usées domestiques rejetées dans la région des Caraïbes.

2 CADRES ET INITIATIVES MONDIAUX ET REGIONAUX PERTINENTS EXISTANTS

Cette section du document tente de résumer brièvement certains des principaux cadres et initiatives mondiaux et régionaux qui sont pertinents pour un examen de la stratégie de gestion des éléments nutritifs pour les rejets d'eaux usées domestiques dans la région des Caraïbes.

2.1 Initiatives mondiales

- Les Objectifs de Développement Durable (ODD)

Remplaçant les Objectifs du Millénaire pour le développement en septembre 2015, les ODD sont les nouveaux objectifs mondiaux pour 2030. Les ODD fournissent un cadre de développement durable au sein duquel orientent les aspirations en matière de gestion des éléments nutritifs. Bon nombre des 17 ODD sont pertinents pour la gestion mondiale des éléments nutritifs, y compris les ODD 1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 14, 15 et 17.

L'ODD 6, en particulier la cible¹, appelle clairement à une augmentation du nombre de systèmes de traitement des eaux usées domestiques, à la minimisation des rejets de nutriments (produits chimiques dangereux) de ces systèmes et à un accent accru sur la récupération de l'eau. L'ODD 12 parle de consommation et de production durables, ce qui implique une évolution vers une économie plus circulaire et, dans le cas des nutriments, une utilisation et une valorisation plus efficaces. Les cibles 12.4 et 12.5 appellent à la gestion écologiquement rationnelle des produits chimiques tout au long de leur cycle de vie et à la réduction de la production de déchets.

2.2 Partenariat mondial sur la gestion des éléments nutritifs

En 1995, dans le cadre d'un effort mondial visant à contrer les effets de la pollution terrestre du milieu marin, le Programme d'action mondial pour la protection du milieu marin contre les activités terrestres (GPA) a été adopté par 108 pays².

1 *By 2030, improve water quality by reducing pollution, eliminating dumping and minimizing release of hazardous chemicals and materials, halving the proportion of untreated wastewater and substantially increasing recycling and safe reuse globally.* (UNDESA)

2 <https://www.unep.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/addressing-land-based-pollution/governing-global-programme>

En 2009, à la Commission des Nations Unies pour le développement durable (UNCSD), il a été convenu qu'une réponse mondiale coordonnée était nécessaire à ce que l'on a appelé le « défi des éléments nutritifs », qui pourrait être défini comme « comment réduire la quantité d'éléments nutritifs en excès » dans l'environnement mondial, compatible avec le développement mondial » ou comment produire plus de nourriture et d'énergie avec moins de pollution. - <http://www.nutrientchallenge.org>.

En conséquence, dans le cadre du Programme d'action mondial pour la protection de l'environnement marin contre les activités terrestres (GPA), le Partenariat mondial sur la gestion des éléments nutritifs (GPNM) a été officiellement lancé le 6 mai 2009. Le GPNM est une plate-forme pour les gouvernements, les organisations intergouvernementales, les organisations non gouvernementales, le secteur privé et les universités pour créer un programme convenu pour lutter contre le défi des nutriments. Le soutien est fourni par les gouvernements des États-Unis, des Pays-Bas, d'Italie, d'Allemagne, de l'UE, de l'Association internationale des engrais (IFA), de l'Initiative internationale pour l'azote (INI) et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Le Programme d'action mondial du PNUE pour la protection de l'environnement marin contre les activités terrestres (PNUE GPA) assure le secrétariat du GPNM (IISD, 2009) (Sutton et al., 2013).

Les objectifs du GPNM comprennent :

- catalyser le plaidoyer stratégique
- agir comme une plate-forme de connaissances
- renforcement des capacités
- intégrer les nutriments dans le programme de développement durable

Une plate-forme caribéenne pour conduire l'action au niveau régional a été lancée en 2013 en partenariat avec l'Institut des affaires marines de Trinité-et-Tobago et le Secrétariat de la Convention de Cartagena, Unité de coordination régionale du Programme pour l'environnement des Caraïbes.

Au sein de l'ONU, une résolution pour la gestion durable de l'azote a été adoptée lors de la quatrième session de l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement en mars 2019 et plus tard cette année-là, dans le cadre d'un effort conjoint entre le PNUE et l'INI, le Système international de gestion de l'azote (INMS) a soutenu le l'élaboration de la Déclaration de

Colombo sur la gestion durable des éléments nutritifs. La Déclaration de Colombo appelle à la réduction de moitié des déchets d'azote dans le monde provenant de toutes les sources de pollution par l'azote³. [Global Wastewater Initiative](#)

"L'UNEP GPA a également lancé l'Initiative mondiale sur les eaux usées afin de promouvoir de bonnes pratiques de gestion des eaux usées et de promouvoir les eaux usées comme une ressource précieuse plutôt que comme un déchet. L'un des domaines d'intervention du GWI est de « contribuer au développement et à la mise en œuvre de projets pilotes conjoints pour démontrer et adopter des mesures permettant d'éliminer les nutriments des eaux usées. »³.

Les résultats attendus du GWI comprennent :

- Synergie améliorée entre les parties prenantes, y compris les scientifiques, les ONG, le secteur privé, les gouvernements et les organisations internationales pour une gestion plus efficace des eaux usées
- Des écosystèmes plus sains et un bien-être humain amélioré
- Opportunités et avantages accrus réalisés et efforts nationaux et internationaux concertés pour intégrer des eaux usées efficaces dans les plans de développement nationaux
- Amélioration de la génération, du partage et de l'utilisation des connaissances pour une meilleure gestion des eaux usées
- Reconnaissance accrue des eaux usées en tant que ressource et opportunité par les décideurs et les parties prenantes
- Utilisation accrue de l'approche 3R dans le monde
- Complémentarités permises entre le GW²I et les conventions pertinentes et d'autres instruments, plans d'action, initiatives et activités internationaux
- Publication systématique d'articles de cadrage et d'évaluations mondiales sur les problèmes émergents liés aux eaux usées
- Mobilisation accrue des ressources pour relever les défis liés aux eaux usées.

3 <https://www.unep.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/addressing-land-based-pollution/global-wastewater-initiative>

2.3 Initiatives régionales

Les initiatives régionales pertinentes comprennent ::

- Orientations stratégiques des mers régionales
- Convention de Cartagena et Protocole LBS
- Programme d'action stratégique du Projet des grands écosystèmes marins des Caraïbes (CLME+) ; et le
- Stratégie et plan d'action régional de réduction de la pollution par les éléments nutritifs (RNPRSAP).

Depuis 2004, tous les 4 ans, le PNUE a formulé des orientations stratégiques pour les mers régionales (RSSD). Depuis 2015, le Programme des mers régionales a accordé la priorité à l'assistance aux pays cherchant à atteindre l'ODD 14 (utilisation durable des océans). La dernière série d'orientations stratégiques (2021 – 2024) est en cours de finalisation (PNUE, 2021). La précédente RSSD (2017 – 2020) avait pour Stratégie #1 - « *Réduire la pollution marine de toutes sortes conformément à l'Objectif 14.1 des ODD* ». L'une des actions identifiées pour aider à réaliser la Stratégie 1 était de « *augmenter la visibilité des problèmes de pollution pertinents à tous les niveaux et de faciliter les interactions science-politique.* » (ONU Environnement 2016). Cependant, il semble qu'il y ait peu de mentions spécifiques ou d'orientations fournies sur la gestion des éléments nutritifs dans les eaux usées domestiques dans la précédente RSSD.

La Convention pour la protection et le développement du milieu marin dans la région des Caraïbes (WCR) ou Convention de Cartagena a été adoptée en 1983 et est entrée en vigueur en 1986. La Convention a engendré trois protocoles, qui sont énumérés ci-dessous, avec l'année de leur entrée en vigueur entre parenthèses :

- Protocole sur les déversements d'hydrocarbures (1986)
- Protocole sur les aires spécialement protégées et la faune (SPAW) (2000)
- Protocole sur les sources terrestres de pollution marine (LBS) (2010)

Une unité de coordination régionale (UNEP-CAR/RCU) a été créée en 1986 en Jamaïque pour faire office de secrétariat pour la Convention et ses protocoles, et chaque protocole est desservi par au moins un Centre d'activités régionales (CAR). Les RAC pour le protocole LBS sont :

- Cuba - Centre d'ingénierie et de gestion environnementale des côtes et des baies
- Trinité-et-Tobago - Institut des affaires maritimes

L'annexe III du protocole LBS fournit des normes en bout de chaîne (effluents) pour les rejets d'eaux usées domestiques I dans les eaux de classe 1 ou 2 de la région des Caraïbes (voir le tableau 2.1 ci-dessous).

Table 2.1: Limitations des effluents du protocole LBS pour les rejets d'eaux usées domestiques dans la région des Caraïbes

Parameter	Effluent Limit Class 2 Waters	Effluent Limit Class 1 Waters
Total Suspended Solids	150 mg/l*	30 mg/l*
Biochemical Oxygen Demand (BOD ₅)	150 mg/l	30 mg/l
pH	5-10 pH units	5-10 pH units
Fats, Oil and Grease	50 mg/l	15 mg/l
Floatables	not visible	
Faecal Coliform (Parties may meet effluent limitations either for faecal coliform or for E. coli (freshwater) and enterococci (saline water).)	NA	Faecal Coliform: 200 mpn/100 ml; or a. E. coli: 126 organisms/100ml; b. enterococci: 35 organisms/100 ml
* Does not include algae from treatment ponds		

Il n'y a pas de limites d'effluents pour les éléments nutritifs dans le tableau 2.1, bien que l'azote et le phosphore soient identifiés comme des polluants primaires préoccupants à l'annexe I ; et à l'annexe III, les Parties contractantes sont tenues de : « tenir compte de l'impact que l'azote total et le phosphore et leurs composés peuvent avoir sur la dégradation de la zone de la Convention et, dans la mesure du possible, prendre des mesures appropriées pour contrôler ou réduire la quantité de l'azote et le phosphore totaux déversés dans la zone de la Convention ou susceptibles d'avoir un effet négatif sur celle-ci.

La révision possible du protocole LBS pour mieux gérer la pollution par les nutriments provenant des eaux usées domestiques est au centre de ce document et le protocole est discuté en détail dans les sections suivantes.

Le programme d'action stratégique CLME+ (2015 – 2025)⁷ (PAS) définit une stratégie sur 10 ans pour gérer de manière durable les ressources marines vivantes partagées des grands écosystèmes marins (LME) des Caraïbes et du plateau nord du Brésil. Il convient de noter que contrairement à la Convention de Cartagena, le CLME+ ne contient pas le LME du golfe du Mexique. En utilisant une approche écosystémique, le PAS a identifié 3 types d'écosystèmes marins au sein du CLME+ :

- Récifs et systèmes associés
- Écosystèmes pélagiques
- Écosystèmes du plateau continental

Le PAS CLME+ est fortement orienté vers la conservation des espèces marines vitales et comporte six actions stratégiques pour la protection de l'environnement marin. La première action stratégique, qui vise à améliorer les accords de gouvernance régionale, est peut-être la plus pertinente pour la gestion des éléments nutritifs dans les eaux usées. Les sous-actions de la Stratégie 1 visent, entre autres, à améliorer :

- Coordination institutionnelle régionale
- intégration des leçons apprises
- capacité de conformité et d'application,
- gestion de données,
- suivi, évaluation et rapport

L'augmentation de la capacité de surveillance et de conformité dans la région sera particulièrement importante si les normes actuelles et proposées, pour la gestion des éléments nutritifs dans le protocole LBS, doivent être appliquées efficacement.

Enfin, une initiative régionale pertinente et récente, soutenue par CLME+, est la stratégie et le plan d'action de réduction de la pollution par les éléments nutritifs de la région des Caraïbes (RNPRSAP). L'objectif du RNPRSAP est « *d'établir un cadre de collaboration pour la réduction progressive des impacts des charges excessives de nutriments sur les écosystèmes côtiers et marins prioritaires dans la région des Caraïbes* ».

Les objectifs du RNPRSAP sont d'aider à définir des normes et critères régionaux pour les rejets de nutriments (normes d'effluents pour l'azote et le phosphore) dans la région des Caraïbes et de recommander des normes de qualité des eaux côtières ambiantes pour les nutriments⁷, en utilisant un indice de potentiel d'eutrophisation côtière (ICEP) comme indicateur. L'impact à la fois des paramètres de l'indicateur (DIN et DIP) et des valeurs choisies est discuté dans la section 3.6.

Les meilleures pratiques de gestion suivantes pour la gestion des éléments nutritifs dans les eaux usées domestiques ont été recommandées par les auteurs du RNPRSAP :

- Des solutions basées sur la nature en combinaison avec une ingénierie dure
- Récupération de l'azote et du phosphore
- Réutilisation des déchets d'assainissement traités

Commentaire : L'examen des initiatives mondiales et régionales pertinentes, mené dans le cadre de cette étude, a montré une réponse évidente, croissante, internationale et régionale au défi des nutriments. Ce document vise à compléter l'effort régional et en particulier, le RNPRSAP, en évaluant certains des facteurs qui pourraient ou devraient influencer les normes de rejet de nutriments pour les stations d'épuration, du point de vue d'un ingénieur ayant une expérience pratique dans la conception et l'exploitation de réseaux d'assainissement de la région.

3 PRINCIPES ET APPROCHES DE LA GESTION DES NORMES SUR LES EAUX USÉES DANS LA REGION DES CARAÏBES

Cette section du document vise à présenter les principes et les approches qui pourraient être appliqués à la gestion des eaux usées dans la région des Caraïbes. Il est suggéré, entre autres, que les principes suivants s'appliquent :

3.1 Le principe de précaution

Le principe de précaution – « le manque de certitude concernant la menace de dommages environnementaux ne doit pas être utilisé comme une excuse pour ne pas prendre de mesures pour éviter cette menace » (UICN, 2007). Le principe de précaution est ancré dans, entre autres :

- La Déclaration de Rio 1992 Principe 15
- Convention sur la diversité biologique 1992, Préambule
- Convention-cadre sur les changements climatiques de 1992, article 3.3
- Plan d'action britannique pour la biodiversité, 1994, paragraphe 6.8
- Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, résolution Conf 9.24 (Rev CoP13)
- Protocole de Cartagena sur la prévention des risques biotechnologiques relatif à la Convention sur la diversité biologique 2000

Le protocole LBS ne mentionne pas spécifiquement le principe de précaution. Cependant, une partie contractante est tenue de mener une évaluation d'impact sur l'environnement (article VII) si elle « *a des motifs raisonnables de croire qu'une activité terrestre planifiée sur son territoire, ou une modification planifiée d'une telle activité, qui est soumise à son contrôle réglementaire conformément à ses lois, est susceptible de provoquer une pollution substantielle ou des modifications importantes et dommageables de la zone de la Convention.*

L'application du principe de précaution à une révision du protocole LBS, dans le contexte de la mesure des éléments nutritifs, peut obliger à reconnaître qu'un niveau sûr d'azote/nitrates dans l'eau (douce ou marine) n'a peut-être pas été déterminé de manière adéquate à ce jour, étant donné les divergences résultats de diverses études sur ce sujet. Par exemple, du point de vue de la santé publique, une nouvelle étude a semblé trouver une augmentation statistiquement significative du risque de cancer du côlon et du rectum à une concentration de nitrate aussi

faible que 3,87 mg NO₃-NO₃/l (0,87 mg-NO₃-N/l) par rapport à la directive de l'OMS pour la méthémoglobinémie infantile de 50 mg NO₃-NO₃/l ou 11,3 mg NO₃-N/l (Schullehner et al., 2018).

Les atouts environnementaux marins côtiers ayant la plus grande valeur économique pour de nombreux membres insulaires de la région des Caraïbes - les écosystèmes des récifs coralliens - semblent également être parmi les récepteurs marins les plus sensibles. Une étude menée sur les effets des nitrates sur deux espèces de coraux (*Porites porites* et *Montastrea annularis*) prélevés sur les récifs frangeants au large de la côte ouest de la Barbade a révélé que même à une concentration de 1 micromole par litre (0,014 mg NO₃-N/l) le taux de croissance squelettique des coraux a été affecté (Marubini et Davies, 1996).

En revanche, des modèles de régression mixtes ont été utilisés pour analyser un certain nombre de facteurs physiques et humains qui pourraient avoir un impact sur la concentration de DIN à la base de 34 bassins versants de l'île de Tutuila, aux Samoa américaines et produire des critères de dépassement. Les données biologiques et les critères de dépassement ont ensuite été utilisés pour recommander une référence de 0,1 à 0,15 mg/l pour le DIN afin de protéger les récifs coralliens entourant l'île du Pacifique (Houk et al., 2020).

D'autres soutiennent qu'un examen critique des données de terrain et de laboratoire, y compris l'expérience sur les nutriments élevés sur les récifs coralliens (ENCORE), ne parvient pas à montrer que les concentrations de nutriments trouvées sur les sites étudiés pourraient affecter la physiologie des coraux ou être la cause unique ou principale de changement généralisé de l'abondance des coraux et des algues. Ils soutiennent que d'autres facteurs, notamment - l'abondance et les préférences des brouteurs, le stress thermique, le stress de sédimentation et les maladies peuvent être des causes importantes de mortalité corallienne et de couverture algale (Szmant, 2002)

Ce manque de certitude implique également que l'application de toute nouvelle norme doit être étroitement surveillée et régulièrement réexaminée. Cela nécessite un sentiment d'humilité lors de l'élaboration d'une politique de réglementation et la reconnaissance de la nécessité pour toutes les décisions politiques d'être guidées par la meilleure science et d'être fondées sur des preuves.

3.2 Mieux vaut prévenir que guérir

Mieux vaut prévenir que guérir est un axiome qui, lorsqu'il est appliqué à la gestion des déchets, se concentre sur la réduction de la quantité et de la toxicité des déchets générés. C'est un rappel que la gestion des éléments nutritifs dans les eaux usées domestiques ne doit pas seulement concerner les technologies de traitement et les normes de rejet en bout de chaîne. Des efforts devraient également être faits pour réduire à la fois les débits des rejets d'eaux usées et les concentrations de nutriments entrant dans la station d'épuration des eaux usées (STEP).

En amont de la STEP, les politiques de minimisation des eaux usées pourraient inclure :

- Efficacité de l'utilisation de l'eau - par ex. toilettes à faible débit, pommes de douche et robinets à faible débit, machines à laver et lave-vaisselle à faible consommation d'eau
- Séparer les eaux pluviales - arrêter l'utilisation des égouts unitaires, empêcher/réduire l'infiltration des eaux pluviales dans le système d'égouts, déconnecter les raccordements de drainage illégaux aux égouts.
- Sensibilisation du public et réglementation – interdire les broyeurs d'évier, l'installation et l'entretien de bacs à graisse, interdire le phosphore dans les détergents

Enfin, lorsque les eaux usées arrivent à la station d'épuration, l'application du principe nécessite des efforts pour réutiliser l'eau traitée (économie circulaire) et/ou récupérer ou éliminer autant de nutriments que possible avant l'élimination finale dans la région des Caraïbes.

3.3 Le principe pollueur-payeur

Le principe pollueur-payeur est le 16e des 27 principes énoncés dans la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement (CNUED, 1992). Le principe est reconnu dans les lois nationales (par exemple, la Clean Water Act des États-Unis, la Clean Air Act et la Resource Conservation and Recovery Act) et par l'Union européenne dans le traité sur le fonctionnement de l'Union européenne. Le principe est également capturé par ce que l'on appelle maintenant la responsabilité élargie des producteurs promue par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) et d'autres.

La Banque mondiale, dans un *document d'information* sur sa publication de 2019 - Des déchets aux ressources - Changement de paradigmes pour des interventions plus intelligentes dans le

domaine des eaux usées en Amérique latine et dans les Caraïbes, a déclaré ce qui suit : « *Le principe du « pollueur-payeur » impose aux services publics de payer le coût de la réduction de la pollution résiduelle liée à leurs rejets.* » Les consultants de la Banque mondiale ont utilisé la demande biochimique en oxygène (DBO) pour définir une « unité de pollution » comme 1 kg/l de DBO et ont estimé le coût de la réduction à 1,17 USD/unité (Banque mondiale, 2019). Il peut être instructif d'essayer d'estimer le coût d'une « unité de pollution par les nutriments » entrant ou sortant d'une station d'épuration.

La formule de Mogden a été utilisée par les services d'eau au Royaume-Uni pour fixer les redevances pour les effluents de diverses industries.

Taxe sur les effluents commerciaux = $R + [(V + B_v) \text{ or } M] + B(O_t/O_s) + S(St/S_s)$

R = frais de réception

V = frais de traitement primaire

B_v = charge de traitement biologique

M = redevance de rejet océanique

B = charge d'oxydation biologique

O_t/O_s = mesure de la demande d'oxydation chimique

S = redevance d'élimination des boues primaires

St/S_s = mesure des matières en suspension totales

Il n'est pas surprenant que dans la formule de Mogden, le volume, la demande en oxygène et les solides en suspension soient les paramètres utilisés pour déterminer les frais appliqués par le service des eaux usées au générateur d'eaux usées entrant dans le système d'égouts. Ce sont les paramètres qui sont couramment réglementés et qui ont un impact sur le coût d'exploitation de la station d'épuration. Les méthodes utilisées pour déterminer les redevances sur les effluents commerciaux, comme la formule de Mogden, pourraient être modifiées pour incorporer la charge en éléments nutritifs. Si les concentrations/charges d'éléments nutritifs dans les effluents d'une station d'épuration étaient réglementées, il est probable que l'exploitant chercherait à répercuter ces coûts d'élimination/récupération des éléments nutritifs.

Le principe du pollueur-payeur doit-il s'appliquer aux Parties à la Convention de Cartagena et à ses protocoles ? Si oui, comment les grandes disparités dans le niveau de développement et les capacités des Parties seraient-elles prises en compte ? Par exemple, en utilisant la frontière San Diego/Tijuana comme étude de cas sur les risques transfrontaliers liés au traitement des eaux usées, il est avancé que dans les cas où il existe une différence significative dans les circonstances politiques et économiques des parties voisines (dans ce cas, les États-Unis et

Mexique), d'autres principes de la charge financière peuvent être plus applicables que le principe du pollueur-payeur (Fischhendler, 2007).

Il est peu probable que le niveau de revenu d'un ménage ait un impact significatif sur la charge en éléments nutritifs des eaux usées rejetées par ce ménage. Cependant, le niveau de revenu du ménage a un impact direct sur sa capacité à payer les coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien (E&M) de l'élimination des éléments nutritifs. L'État peut décider de subventionner les coûts réels. En Israël, l'État est propriétaire de toutes les ressources en eau et la gestion est centralisée. En 2006, la loi sur l'eau y a été modifiée pour introduire le principe du recouvrement intégral des coûts pour l'approvisionnement en eau et le traitement des eaux usées et a appelé à la substitution de l'utilisation des eaux usées récupérées à l'eau douce dans l'agriculture. En 2010, des normes tertiaires pour le traitement des eaux usées ont été introduites et la station d'épuration a commencé à éliminer l'azote et le phosphore. En conséquence, le secteur domestique paie beaucoup plus pour l'eau que les agriculteurs et 85 % de la demande en eau agricole est satisfaite par les effluents récupérés (OCDE, sd).

S'il est convenu que les trois principes ci-dessus sont acceptés au niveau international, alors comment devraient-ils être appliqués à l'objet de ce document - la gestion des éléments nutritifs dans les STEP de la région des Caraïbes ? Les principes de précaution et de prévention semblent impliquer que les normes recommandées et/ou les révisions du protocole LBS doivent pécher par excès de prudence et être aussi efficaces que possible. L'efficacité étant définie comme le pourcentage de réduction de la charge en éléments nutritifs des rejets d'UTEU dans la région des Caraïbes obtenue après l'intervention réglementaire.

L'efficacité du nouveau règlement sera le produit de la rigueur du règlement et du degré de conformité/d'application atteint. Ni une conformité élevée à une norme faible ni une conformité faible à une norme forte ne seront efficaces. On peut conclure que si des normes de rejet numériques (quantitatives) sont recommandées, les normes devraient être aussi strictes que possible mais limitées par la reconnaissance des capacités actuelles respectives des États membres. On pourrait également conclure que toutes les normes recommandées devraient être examinées régulièrement pour déterminer leur efficacité et tenir compte de l'évolution des circonstances.

Le principe du pollueur-payeur vise non seulement à dissuader les pollueurs potentiels, mais aussi à la viabilité financière des révisions proposées au Protocole. Outre l'établissement de

normes, la mise en place d'un cadre réglementaire efficace pour contrôler les rejets de nutriments et/ou la réutilisation des eaux usées et des bio-solides nécessitera que de nombreux petits États de la région augmentent considérablement leurs capacités d'éducation, de formation, de surveillance, d'analyse et d'application. Il est recommandé que ces coûts administratifs et réglementaires pour l'État soient partiellement, mais peut-être pas entièrement récupérés auprès des propriétaires/exploitants des stations d'épuration. La justification étant que la réglementation du secteur des eaux usées profite plus à ceux connectés au système d'égouts si elle aboutit à un environnement marin côtier plus sain.

Bien qu'il puisse y avoir un consensus sur les principes qui viennent d'être discutés, ceux discutés dans les sections suivantes (3.4 – 3.7) ne sont pas universellement acceptés, différentes juridictions utilisant leurs propres approches préférées ou combinaisons d'approches.

3.4 Normes basées sur la performance et la technologie

Existe-t-il une différence entre une norme de performance et une norme basée sur la technologie ? En théorie, une norme de performance est technologiquement neutre, elle ne se soucie pas de la technologie de traitement appliquée, elle se concentre sur la qualité de sortie. Dans la pratique, l'agence de réglementation recueille généralement des informations sur les meilleures technologies disponibles dans la capacité économique de l'industrie et fonde la norme de performance sur ces informations.

Par exemple, l'US EPA, dans le cadre de son [National Pollutant Discharge Elimination System](#) (NPDES), utilise plusieurs niveaux de contrôle (basés sur la technologie) pour réglementer les rejets d'eaux usées industrielles, notamment

- Meilleure technologie de contrôle praticable actuellement disponible (BPT)
- Meilleure technologie conventionnelle de contrôle des polluants (BCT)
- Meilleure technologie disponible économiquement réalisable (BAT)
- Normes de performance des nouvelles sources (NSPS)
- Meilleures pratiques de gestion (MPG)

Les stations d'épuration appartenant à l'État de la municipalité ou ce qu'on appelle les stations d'épuration publiques (POTW) doivent être conformes au traitement secondaire ou à des

normes équivalentes pour la DBO, le TSS et le pH. Il ne semble pas y avoir de limitations quantitatives des effluents basées sur la technologie (TBEL) pour les rejets de nutriments des POTW dans le cadre du NPDES.

La définition suivante des niveaux de traitement des eaux usées a été utilisée par le ministère britannique de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales en 2012 (DEFRA, 2012)

- **Traitement préliminaire** - pour enlever le gravier et le gravier et le criblage des gros solides.
- **Traitement primaire** – pour décanter les matières en suspension plus grosses, généralement organiques.
- **Traitement secondaire** – pour décomposer biologiquement et réduire la matière organique résiduelle.
- **Traitement tertiaire** – pour traiter différents polluants en utilisant différents procédés de traitement.

La directive de l'Union européenne sur le traitement des eaux urbaines résiduaires - 91/271/CEE spécifie un minimum de traitement secondaire pour les rejets d'eaux usées urbaines (provenant d'agglomérations de plus de 10 000 équivalents habitants), mais autorise également un traitement primaire dans les « zones moins sensibles » dans les estuaires et les zones côtières. eaux si les études ne montrent aucun impact négatif. Il est à noter qu'après avoir mené des études approfondies, le Royaume-Uni a progressivement réduit le nombre de désignations moins sensibles et en 2012 n'en avait plus (DEFRA, 2012).

Inversement, la directive CE appelle également à la désignation de certaines eaux qui peuvent nécessiter une protection environnementale spéciale comme « zones sensibles » et nécessiteraient un traitement de niveau tertiaire (par exemple, une réduction des nutriments) pour les rejets d'eaux usées dans ces zones. Cette considération à la fois de la technologie disponible et de la sensibilité de l'environnement récepteur pourrait être considérée comme une pratique exemplaire.

Le Protocole LBS semble reconnaître l'approche technologique de l'établissement de normes et définit la « technologie la plus appropriée » comme « les meilleures techniques, pratiques ou méthodes d'exploitation actuellement disponibles pour prévenir, réduire ou contrôler la pollution de la zone de la Convention qui sont appropriées à la conditions sociales,

économiques, technologiques, institutionnelles, financières, culturelles et environnementales d'une ou des Parties contractantes ; » Dans un protocole révisé, l'utilisation de la « technologie la plus appropriée » pourrait être combinée à une approche fondée sur les performances. On pourrait également envisager d'encourager les approches écosystémiques et les solutions fondées sur la nature ainsi que la récupération des éléments nutritifs, lorsque cela est possible.

3.5 Normes basées sur la santé

L'utilisation ou l'élimination inappropriée d'eaux usées brutes ou insuffisamment traitées peut avoir des conséquences importantes sur la santé publique. Les maladies transmissibles typiques liées aux excréments ou à l'urine (et les agents pathogènes qui causent la maladie) comprennent la diarrhée (*Escherichia coli*), le choléra (*Vibrio cholerae*), la typhoïde (*Salmonella typhi*) et la schistosomiase (*Schistosoma spp*) (OMS, 1992). En outre, les eaux usées peuvent également contenir des toxines chimiques, par exemple des métaux lourds et des polluants organiques persistants qui peuvent provoquer des maladies non transmissibles. Par exemple, les nitrates dans l'eau potable ont été ciblés par l'OMS pour causer la méthémoglobinémie chez les nourrissons. L'OMS procède à des « révisions progressives » de ses Directives pour la qualité de l'eau potable (GDWQ), la dernière version maintient la valeur guide pour le nitrate (en tant que NO₃⁻) à 50 mg/l (équivalent à 11,3 mg/l NO₃⁻ - N) et nitrites (sous forme de NO₂⁻) à 3 mg/l (OMS, 2017).

En ce qui concerne les normes sanitaires pour les eaux usées, l'OMS s'est concentrée sur la gestion des risques associés à la réutilisation. L'OMS a publié ses premières directives - Réutilisation des effluents : Méthodes de traitement des eaux usées et mesures de protection de la santé publique, en 1973. L'OMS a mis à jour ces directives en 1989 avec les Directives sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture et a publié une troisième série de directives en 2006 : Lignes directrices pour une utilisation sûre des eaux usées, des excréments et des eaux grises (OMS, 2006a).

Une revue de la [WHO 2006 guidelines](#), dans le cadre de cette étude, a révélé ce qui suit:

- > 10 % de la population mondiale consomment des aliments irrigués avec des eaux usées.
- L'utilisation des eaux usées pour l'agriculture et l'aquaculture augmente dans les pays en développement comme dans les pays développés en raison du stress hydrique croissant, de l'augmentation de la population et de la pollution, et d'une reconnaissance croissante de la valeur des ressources.

- L'urine séparée à la source, qui a été stockée pendant 1 à 6 mois, présente de faibles risques pour la santé lorsqu'elle est utilisée dans l'agriculture.
- Une norme de performance basée sur la santé ou un objectif de perte d'années de vie ajustées sur l'incapacité (AVCI) de $\leq 10-6$ par personne et par an est utilisé pour définir les lignes directrices pour la réutilisation des eaux usées. De multiples barrières peuvent être utilisées pour atteindre l'élimination de 6 à 7 logs des agents pathogènes requise pour atteindre cet objectif basé sur la santé .
- Le Tableau 8.1 du Volume 2 - Utilisation des eaux usées en agriculture examine l'effet de divers composés dans l'eau d'irrigation sur les sols, les cultures et le bétail. La discussion sur l'azote et le phosphore est reproduite ci-dessous dans le tableau 3.1 (OMS, 2006b) :

Table 3.1: Effets de l'azote et du phosphore dans les eaux usées utilisées pour l'irrigation (OMS 2006b)

Parameter	Concentration in the irrigating water	Soil	Crops	Livestock
Nitrogen	Municipal wastewater with 20–85 mg TN/l	Acidification problems provoked by synthetic fertilizers are not observed	Increases productivity in quantity and quality Depending on soil's content and type of crops, problems can arise above 30 mg N-NO ₃ /l	No problems reported
	Wastewater with >30 mg/l	No reported effects	Can increase succulence beyond desirable levels, causing lodging in grain crops and reducing sugar content in beets and cane Beyond seasonal needs, may induce more vegetative than fruit growth and also delay ripening	Forage, being the main food for cattle, can cause grass tetany, a disease related to an imbalance of nitrogen, potassium and magnesium in pasture grasses
Phosphorus	Municipal wastewater with 6–20 mg/l	No reported effects	Increases productivity	
	Municipal wastewater with >20 mg/l	No reported effects	Reduce copper, iron and zinc availability in alkaline soils	

Il est à noter que l'impact du ruissellement ou du lessivage de l'eau d'irrigation dans les eaux souterraines ou les eaux de surface adjacentes n'est pas pris en compte dans le tableau 3.1 ci-dessus. Il peut sembler contre-intuitif de chercher à éliminer les nutriments des eaux usées destinées à être réutilisées pour l'irrigation. Dans l'étude de cas de la Barbade (voir Section 5.0), la décision a été prise d'éliminer autant de nutriments que possible de l'eau récupérée, même si cette eau est utilisée pendant la saison sèche pour l'irrigation et pour recharger les aquifères des eaux souterraines dans les zones humides. Cette décision (en consultation avec le ministère de l'Agriculture) a été prise pour réduire les risques d'endommager certaines cultures et de contaminer les eaux souterraines et les eaux de surface adjacentes, qui contribuent à la charge en nutriments dans les eaux côtières contenant des récepteurs marins très sensibles

- les récifs coralliens. Par conséquent, alors que les directives de l'OMS pour les nutriments dans l'eau récupérée destinée à être utilisée pour l'irrigation doivent être notées, les directives peuvent ne pas être appropriées pour certains pays.

3.6 Normes basées sur la qualité de l'eau

Une autre façon d'établir des normes est de considérer l'effet du polluant sur le milieu récepteur ou plus précisément la fin ou l'utilisation désignée du milieu récepteur. Le terme « adapté à l'usage » s'applique. L'US EPA décrit le processus d'établissement des normes de qualité de l'eau comme ayant trois composantes :

- Désignation de la manière dont la masse d'eau réceptrice doit être utilisée (par exemple, loisirs, irrigation, eau potable, protection des poissons/mollusques/animaux sauvages).
- Détermination des critères de qualité de l'eau (WQC) pour protéger cette utilisation désignée. Ces critères peuvent être quantitatifs/numériques (par exemple, concentrations ou charges) ou qualitatifs/narratifs (par exemple, « Les eaux doivent être exemptes de polluants toxiques en quantités toxiques »). Le WQE doit :
 - « être fondé sur une justification scientifique solide
 - contenir suffisamment de paramètres ou de constituants pour protéger l'utilisation désignée
 - soutenir l'utilisation désignée la plus sensible du plan d'eau. (EPA des États-Unis, 2017)
- Définition d'exigences anti-dégradation pour maintenir l'intégrité de la masse d'eau.

Il est à noter que l'US EPA encourage les États, les territoires et les tribus autorisées à définir des WQC numériques pour l'azote et le phosphore (et suggère l'utilisation de l'azote total et du phosphore total comme paramètres à surveiller) pour prévenir l'eutrophisation et la prolifération d'algues ; en faisant valoir que le paradigme qui suppose que la production primaire est limitée en azote dans les eaux marines et en phosphore dans les eaux douces est trop simplifié (US EPA, 2015).

L'US EPA publie une carte de progrès des critères N/P qui surveille la mise en œuvre de WQC numériques pour l'azote et le phosphore dans les divers États et territoires. Un bref examen de la carte révèle qu'Hawaï (voir le tableau 3.2 ci-dessous) a élaboré un ensemble complet de

critères pour le N & P pour tous les plans d'eau. Alors que des États comme l'Alabama, le Mississippi et la Louisiane qui déversent dans la zone nord du golfe du Mexique n'ont pas encore défini de normes de rejet numériques pour les masses d'eau, y compris les eaux côtières.

Table 3.2: Selected Nutrient WCQ for the State of Hawaii⁴

Paramètre	Application	Critères Ampleur⁵
Ammoniaque	eaux côtières ouvertes : saison sèche (eau salée)	2 - 9 µg/l
Ammoniaque	eaux côtières ouvertes : saison sèche (eau salée)	3.5 - 15 µg/l
Ammoniaque	eaux océaniques (eau salée)	1 - 2.5 µg/l
Ammoniaque	Côte de Kona - île d'Hawaï : où la salinité > 32,00 ppt	2.5 µg/l
Nitrate + Nitrite	estuaries	8 – 35 µg/l
Nitrate + Nitrite	eaux côtières ouvertes : saison sèche (eau salée)	5 – 25 µg/l
Nitrate + Nitrite	eaux côtières ouvertes : saison sèche (eau salée)	3.5 - 20 µg/l
Nitrate + Nitrite	eaux océaniques (eau salée)	1.5 - 3.5 µg/l
Phosphate	Côte de Kona - île d'Hawaï : où la salinité > 32,00 ppt	5 µg/l
Azote total dissous[<i>azote total</i>]	Côte de Kona - île d'Hawaï : où la salinité > 32,00 ppt	100 µg/l

⁴ <https://www.epa.gov/wqs-tech/state-specific-water-quality-standards-effective-under-clean-water-act-cwa#tb2>

⁵ The lower number in a range represents the geometric mean that is not to be exceeded. The upper number represents a value that should not be exceeded more than 10% of the time.

Paramètre	Application	Critères Ampleur⁵
Phosphore dissous total [<i>phosphore total</i>]	Côte de Kona - île d'Hawaï : où la salinité > 32,00 ppt	12.5 µg/l
Azote total	eaux côtières ouvertes : saison sèche (eau salée)	110 - 250 µg/l
Azote total	eaux côtières ouvertes : saison sèche (eau salée)	150 - 250 µg/l
Azote total	eaux océaniques (eau salée)	50 - 100 µg/l
Phosphore total	eaux côtières ouvertes : saison sèche (eau salée)	16 - 45 µg/l
Phosphore total	eaux côtières ouvertes : saison sèche (eau salée)	20 - 60 µg/l
Phosphore total	eaux océaniques (eau salée)	10 - 25 µg/l

Il est évident, d'après le tableau 3.2, qu'Hawaï :

- régule plusieurs formes d'azote et de phosphore
- fait la différence entre les eaux côtières et océaniques
- fait la différence entre humide et saison lors de la définition des WCQ côtiers

Il est également noté, et cela peut être pertinent pour les États insulaires et les États continentaux dotés de récifs coralliens côtiers, qu'Hawaï a fixé une norme de saison sèche (moyenne géométrique) de 3,5 µg/l pour les nitrates + nitrites dans les eaux côtières ouvertes, équivalant à 0,0035 mg/l sous forme de N-. Bien que la différence entre le total dissous et le total ne soit pas claire, les données reflétées dans le tableau 3.1 semblent indiquer des valeurs d'environ 100 µg/l (0,1 mg/l) et 16 µg/l (0,016 mg/l) comme des WQC acceptables pour le total l'azote et le phosphore total respectivement dans les eaux côtières en saison sèche.

À la Barbade, en 2004, l'auteur de ce rapport a été invité à rédiger un tableau des concentrations interdites pour faciliter l'application de la loi sur la lutte contre la pollution marine (MPCA). Les normes de qualité de l'eau ambiante recommandées pour TN et TP étaient respectivement de 0,1 mg/l et 0,015 mg/l. La norme de qualité de l'eau ambiante recommandée pour la chlorophylle a était de 0,5 µg/l. Les normes de qualité de l'eau ambiante recommandées pour la Barbade étaient fondées sur un examen des dernières directives australiennes et néo-zélandaises pour la qualité des eaux douces et marines de l'époque (ANZECC, 2000).

L'US EPA recommande également des critères de qualité de l'eau pour les nutriments basés sur des critères pour 14 écorégions distinctes. Cependant, ces critères semblent viser principalement à réduire l'excès de nutriments dans les plans d'eau douce.

Comme indiqué dans la section 1.1, dans le contexte de la pollution par les nutriments, aux fins du rapport, la SOCAR semble avoir pris les décisions suivantes :

- La mer des Caraïbes élargie devrait être divisée en deux zones – continentale et insulaire
- Les paramètres à surveiller sont l'azote inorganique dissous (DIN) et le phosphore inorganique dissous (DIP).
- Les critères numériques de qualité de l'eau à utiliser pour le DIN sont < 0,1 mg/l (continental) & < 0,05 mg/l (île)
- Les critères numériques de qualité de l'eau à utiliser pour le DIP sont < 0,01 mg/l (continental) & < 0,005 mg/l (île)

Comme indiqué dans la section 3.1, on peut affirmer que le critère de qualité de l'eau insulaire pour l'azote (tel qu'utilisé dans le SOCAR) peut ne pas être suffisant pour protéger l'utilisation ou le but désigné le plus sensible de la masse d'eau si ce but est la protection des eaux tropicales. les écosystèmes des récifs coralliens ou d'autres récepteurs marins sensibles. Il est à noter que le protocole LBS prévoit deux classes d'eau, les eaux de classe 1 étant définies comme celles qui « *sont particulièrement sensibles aux impacts des eaux usées domestiques* ». Les eaux contenant des mangroves, des herbiers marins et des récifs coralliens sont spécifiquement incluses dans la classe 1. Cette flexibilité intégrée pourrait être maintenue et même étendue dans un protocole révisé pour permettre l'établissement de différentes normes ambiantes et de fin de canalisation (décharge) pour en fonction de l'écologie des eaux réceptrices.

3.7 Charges quotidiennes maximales totales

Des critères robustes de qualité de l'eau ambiante fournissent une base pour l'établissement logique des charges quotidiennes maximales totales (TMDL) - la quantité maximale d'un polluant qui peut être reçue par une masse d'eau, sans que cette masse d'eau dépasse le critère de qualité de l'eau pour ce polluant, et comprend les variations saisonnières. Pour une source ponctuelle aux États-Unis, l'EPA attribue une allocation de charge de déchets (WLA), y compris les stations d'épuration réglementées par le NPDES. Les sources diffuses se voient attribuer des allocations de charge (LA), qui incluent les sources naturelles de fond.

Le TMDL est calculé comme la somme de tous les WLA et Las, puis une marge de sécurité (MOS) est ajoutée (NRC 2001). L'équation est exprimée ci-dessous :

$$\text{TMDL} = \Sigma \text{WLA} + \Sigma \text{LA} + \text{MOS}$$

En vertu de la CWA, les États sont tenus d'élaborer des TMDL pour les eaux dégradées et de soumettre ces TMDL à l'EPA pour approbation. La préparation d'un TMDL pour un ou plusieurs polluants comprend généralement les étapes suivantes :

- Caractérisation du bassin versant et du plan d'eau récepteur
- Établissement de normes de qualité de l'eau ambiante pour protéger les récepteurs aquatiques les plus sensibles et préserver/améliorer les utilisations bénéfiques de la masse d'eau
- Sélection des polluants préoccupants
- Détermination de la capacité d'assimilation/de charge de la masse d'eau réceptrice
- Estimation des charges actuelles et projetées de toutes les sources
- Détermination de toute réduction nécessaire des charges et d'une marge de sécurité
- Attribution des charges polluantes admissibles pour les sources de polluants individuelles

L'EPA définit un TMDL comme « *un plan et une analyse écrits et quantitatifs pour atteindre et maintenir des normes de qualité de l'eau en toutes saisons et pour une masse d'eau et un polluant spécifiques* ». Il pourrait être interprété à partir de ce langage, que l'EPA pourrait

appliquer des TMDL aux eaux océaniques, mais il pourrait y avoir une perte de compétence en dehors de la limite territoriale de 3 milles.

Plus la masse d'eau est grande et plus les courants océaniques (le taux d'échange d'eau au sein de la masse d'eau) sont importants, plus la charge peut être assimilée. Alors, comment la TMDL de la masse d'eau réceptrice serait-elle définie pour les rejets dans les eaux marines côtières ?

En Floride (un État côtier), le Département de la protection de l'environnement a divisé le bassin de la côte est supérieure en polygones, chacun avec un numéro d'identification de masse d'eau (WBID) distinctif. Ce qui suit décrit brièvement l'approche adoptée pour appliquer les TMDL aux rejets de nutriments dans l'océan Atlantique le long de la côte des palmiers (WBID 2363D) (Magley, 2013) (voir la figure 3.1 ci-dessous).

À l'aide de l'Identification of Impaired Surface Waters Rule (IWR) (règle 62-303, Florida Administrative Code (F.A.C.)), l'estuaire de Palm Coast a été jugé altéré pour les éléments nutritifs en 2010 après avoir dépassé un critère pour la chlorophylle-a (chl_a). La norme de qualité de l'eau, dans le FAC, pour les éléments nutritifs est exprimée sous la forme d'un récit : "En aucun cas, les concentrations en éléments nutritifs d'un plan d'eau ne doivent être modifiées de manière à provoquer un déséquilibre dans les populations naturelles de la flore ou de la faune aquatiques." (Règle 62 -302, FAC) et les niveaux moyens annuels de chl_a sont utilisés comme cibles numériques pour indiquer si le critère narratif a été dépassé.

En utilisant des données historiques sur la qualité de l'eau, y compris la variation saisonnière et des modèles de régression linéaire, il a été déterminé que les charges TN et TP devraient être réduites de 29 % et 23 % respectivement, pour réduire la concentration moyenne de chl_a dans les eaux côtières à moins que la cible 4,5 µg/l. Il y a 4 stations d'épuration autorisées dans le bassin versant. Cependant, l'analyse de toutes les sources (ponctuelles, diffuses et de fond) a indiqué que les rejets combinés des stations d'épuration ne contribuent que pour 2 % et 6 % des charges TN et TP respectivement apportées par les sources diffuses. La décision a été prise de surveiller les UTEU WLA et de réduire les charges de sources diffuses grâce aux meilleures pratiques de gestion (BMP) (Magley, 2013).

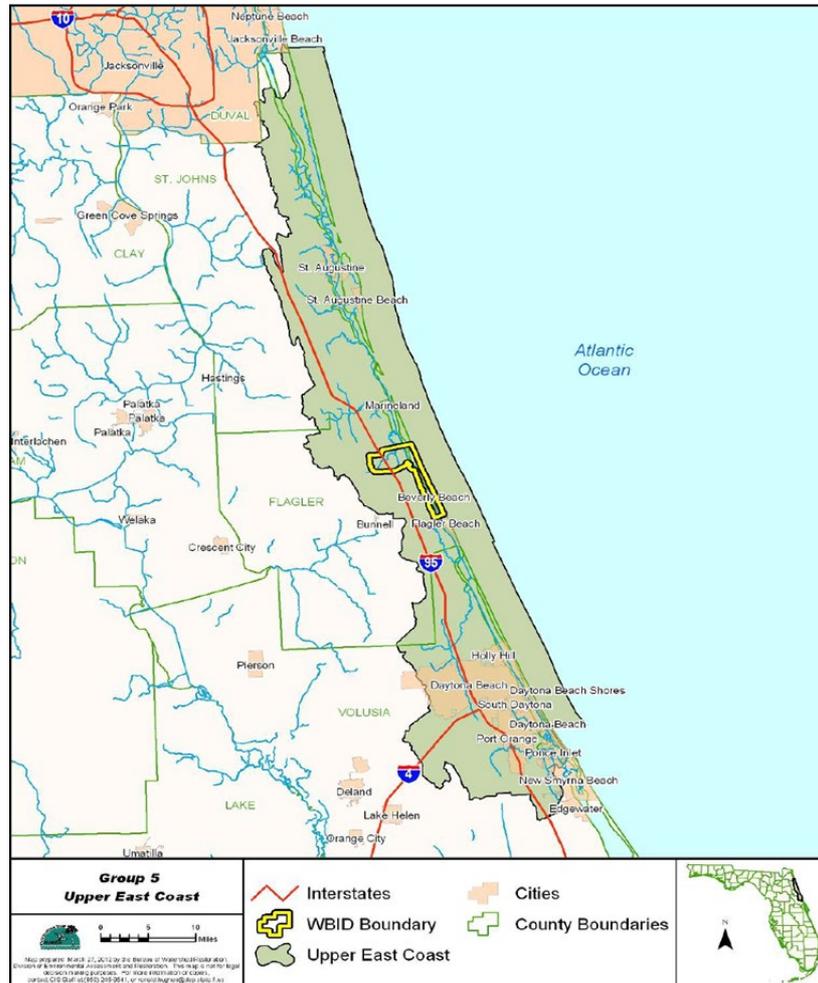


Figure 3.1: Emplacement du bassin versant de Palm Coast (WBID 2363D) dans le bassin de la côte est supérieure (reproduit à partir de la figure 1.1 – Magley, 2013)

L'approche TMDL des rejets de nutriments le long de la côte est de la Floride est recommandée comme meilleure pratique. Il est à noter que l'utilisation des TMDL repose sur une vaste collecte de données et une surveillance continue. Non seulement toutes les sources de charges doivent être déterminées puis surveillées, mais une capacité solide à surveiller l'impact des charges variables de polluant(s) sur le plan d'eau récepteur est également nécessaire.

Il n'est peut-être pas pratique, du point de vue de la gouvernance, d'essayer d'appliquer l'approche TMDL à la BFR avec ses nombreux membres souverains. Cependant, un protocole amendé pourrait encourager les États membres à développer la capacité d'appliquer le concept à la réglementation des rejets de nutriments provenant de sources ponctuelles dans les eaux côtières relevant de leur juridiction. Le renforcement des capacités sera nécessaire pour certains des plus petits pays membres.

4 EXAMEN SÉLECTIF DES NORMES NUTRITIONNELLES EXISTANTES POUR LE REJET DES EAUX USÉES

Les normes utilisées par l'US EPA et certains États américains pour contrôler les rejets de nutriments ont été discutées précédemment. De même, les approches de l'UE et de l'OMS ont également été discutées, quoique brièvement. Vous trouverez ci-dessous un résumé des normes utilisées par certains des pays de la région des Caraïbes.

4.1 CARICOM

Peut-être en raison d'obligations au titre de la Convention de Cartagena, l'Institut caribéen de santé environnementale (CEHI), qui fait maintenant partie de l'Agence caribéenne de santé publique (CARPHA), a été mandaté par les chefs de gouvernement de la CARICOM pour élaborer et recommander des normes pour les rejets d'eaux usées dans la région. En janvier 1998, le CEHI a accueilli une réunion d'experts des Nations Unies. À la suite de cette réunion, les lignes directrices suivantes sur les effluents ont été recommandées (voir le tableau 4.1 ci-dessous) :

Table 4.1: Projet de lignes directrices sur les effluents pour le rejet des eaux usées municipales dans les eaux côtières de la région des Caraïbes

Parameter	Non-sensitive Waters	Sensitive Waters ¹
Faecal Coliforms	-	Shell fish areas: 43/100 ml

¹ Most hotels, other commercial and industrial establishments, in the Caribbean, discharge wastewater into waters that would be deemed to be sensitive.

Parameter	Non-sensitive Waters	Sensitive Waters ¹
pH	6 - 10	All other areas: 200/100 ml 6 - 10
Total Suspended Solids	100 mg/l	30 mg/l
BOD ₅	150 mg/l	30 mg/l
COD	300 mg/l	150 mg/l
Total Inorganic Nitrogen	-	10 mg/l
Ammonia	-	5 mg/l
Total Phosphorous	-	1 mg/l
Chlorine Residual	-	0.1 mg/l
Fats, oils, greases	5 mg/l	2 mg/l
Floatables	Not visible	Not visible

Aucune autre mesure apparente n'a été prise au niveau de la CARICOM au cours des deux dernières décennies.

Aux fins de ce rapport, un bref examen des normes appliquées aux nutriments rejetés par les États dans la région des Caraïbes est résumé ci-dessous dans le tableau 4.2.

4.1.1 Pays sélectionnés d'Amérique latine et des Caraïbes dans la région des Caraïbes

Table 4.2: Normes de rejet des eaux usées nutritives de certains États membres de la région des Caraïbes

Paramètre (mg/l)	Col	CR	Cuba	DR	Gua	Hon	Nic	Pan	T&T	Bar	Jam
N-NO3	0.1							6			
N-NO2	0.02										
N-NH3	0.3					20		3	10		
Total N	1	50	10		25		30			5	10
P-PO4		25		3				5			4
Total P	0.4		5		15	5	10		5	5	
Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)						30					
N-(NH4+NO3)				18							
N -NH4				10							
Total Organique N								10			

Les notes et références pour le tableau 4.2 ci-dessus sont fournies à l'annexe 1. Comme le montre le tableau 4.2 ci-dessus, il existe une variation significative à la fois des paramètres surveillés et des normes numériques appliquées pour réguler les rejets de nutriments dans les États membres de la région des Caraïbes. Il est à noter que, parmi les États examinés dans le tableau 4.2, la gamme des normes de rejet d'eaux usées (en omettant les normes colombiennes apparemment très strictes) pour le TP était de 5 - 15 mg/l et pour le TN était de 5 - 50 mg/l.

Le tableau 4.3 ci-dessous, reproduit du chapitre IV du RNPRSAP, donne quelques indications sur les paramètres actuellement mesurés par ceux qui ont répondu à une enquête menée au sein de la région des Caraïbes.

Table 4.3: Résumé des paramètres et matrices surveillés pour la pollution par les nutriments par 12 pays/territoires anglophones et francophones (les valeurs sont des pourcentages. NR : pas de réponse) (reproduit à partir du tableau 4.3, Ch. IV, RNPRSAP)

Parameter	Domestic wastewater			Industrial Wastewater			Surface Water			Groundwater			Coastal/Marine		
	Yes	No	NR	Yes	No	NR	Yes	No	NR	Yes	No	NR	Yes	No	NR
Total nitrogen	33	33	33	42	17	17	42	25	33	58	25	17	67	17	17
Total Phosphorus	42	25	33	42	17	17	42	25	33	58	25	17	58	25	17
Silica	8	58	0 ¹	0	78	0 ²	17	42	0 ³	17	58	0 ⁴	17	50	0 ⁵
Chlorophyll-a	8	58	0 ¹	Not Applicable			33	25	0 ³	0	8	0 ⁴	33	42	0 ⁵
Faecal coliform	58	25	17	50	17	8	42	25	33	58	17	25	67	17	17
Enterococci	25	50	25	25	42	8	33	33	33	33	42	25	58	25	17
E. coli	33	42	25	25	42	8	42	25	33	42	33	25	58	33	8

¹For domestic wastewater, the remaining 33% of respondents were unsure about silica and chlorophyll-a monitoring.
²For industrial wastewater, 22% of respondents were unsure about silica monitoring.
³For surface water, the remaining 42% of respondents were unsure whether silica and chlorophyll-a were monitored in their country/territory.
⁴For groundwater, 25% of respondents were unsure about silica monitoring, and 92% for chlorophyll-a monitoring.
⁵For coastal/marine waters, 33% of respondents were unsure about silica monitoring, and 25% about chlorophyll-a monitoring.

Il semblerait que ce soit une bonne pratique, dans le contexte d'un programme de surveillance des nutriments pour les stations d'épuration, reconnaissant les contraintes des capacités d'échantillonnage, d'analyse et de gestion des données de certains des plus petits pays de la région des Caraïbes, de, au minimum :

- Mesurer et contrôler les rejets de toxicité NH₄⁺ pour les poissons
- Mesurer et contrôler les rejets de TN et TP et/ou DIN et DIP – eutrophisation, sensibilité des coraux
- Surveiller la chlorophylle-a dans le plan d'eau récepteur - indicateur de pollution par les nutriments
- Surveiller les concentrations de silice – Ratio Redfield

5 UNE ETUDE DE CAS SUR L'ELABORATION D'UN PLAN DE REUTILISATION DE L'EAU ET DE GESTION DES ELEMENTS NUTRITIFS – BARBADE

Ce qui suit est un bref examen des facteurs favorables et des approches initiales utilisées par l'un des États insulaires de la région des Caraïbes pour réduire les rejets d'eaux usées, en particulier les charges de nutriments dans la mer des Caraïbes, augmenter ses ressources en eau douce et accroître la sécurité alimentaire. L'étude de cas identifie les approches utilisées et les expériences acquises à ce jour par un gouvernement de la région alors qu'il cherche à se conformer aux normes actuelles définies dans l'annexe III du protocole LBS et à développer et mettre en œuvre un plan national de récupération de l'eau et de gestion des nutriments. Les leçons apprises par la Barbade lors de l'évaluation des risques/bénéfices environnementaux ; construit son cadre réglementaire, identifie les utilisations finales potentielles et évalue les technologies de traitement appropriées, en utilisant un processus itératif, peut être utile pour déterminer les modifications requises au Protocole,

Ne jamais gaspiller jamais une crise. L'adhésion au protocole LBS en 2019, une pandémie mondiale en 2020/21, une crise économique qui en résulte et les impacts croissants du changement climatique ont contraint le gouvernement de la Barbade à s'orienter résolument vers un plan national de récupération de l'eau. Les rejets de nutriments des zones côtières densément peuplées et des terres agricoles sont l'un des principaux moteurs de la dégradation des récifs coralliens le long des côtes ouest et sud de l'île (DeGeorges et. al., 2010).

5.1 Statistiques économiques et liées à l'eau de la Barbade

- Population résidente de ~ 287 000, avec ~ 1 million de visiteurs par an.
- Superficie = 430 km², zone économique exclusive = 186 898 km²
- Obtention de l'indépendance du Royaume-Uni en 1966 - passage rapide d'une économie agraire à une économie de services
- Classé 16ème densité de population la plus élevée au monde
- PIB en 2019 - ~ 5 milliards de dollars US. En 2020 – 4 milliards de dollars US.
- > 99,5 % de la population desservie en eau potable courante (155 000 m³/jour) (source : eaux souterraines douces et saumâtres)
- On estime que l'agriculture prélève 36 000 m³/jour supplémentaires

- Total des ressources en eau douce renouvelables = 281 m³/an/habitant
- Les précipitations devraient diminuer de 15 à 30 % d'ici 2100.

En termes hydrogéologiques, l'île est un prisme d'accrétion formé par la collision de deux plaques tectoniques. Une coupe transversale de l'île (voir la figure 5.1 ci-dessous) révèle que la majeure partie de l'île a une calotte calcaire karstique reposant sur des océans à perméabilité relativement faible, qui plongent vers la côte. En conséquence, tout polluant persistant dans les eaux souterraines (par exemple, les nitrates) finira par s'infiltrer à travers le calcaire et s'écouler et se déverser dans les eaux côtières ; et l'atout économique physique le plus précieux de la Barbade est ses écosystèmes de récifs coralliens, qui sont très sensibles à la pollution par les nutriments.

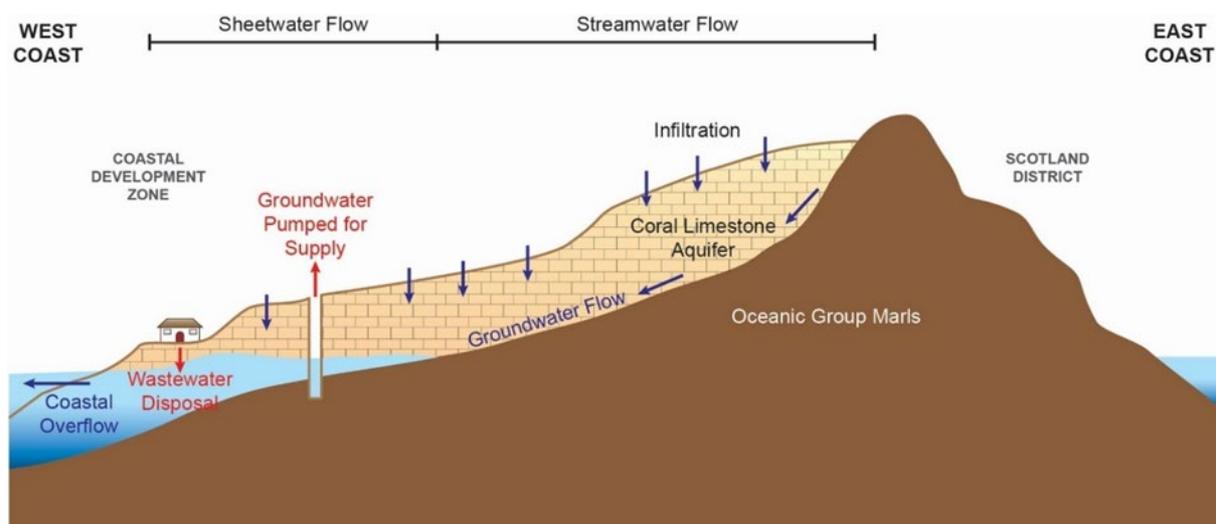


Figure 5.1: Coupe transversale d'Ouest en Est de la Barbade

5.2 Les facteurs habilitants

Selon la Banque mondiale, « la Barbade est une économie de services à revenu élevé ». (Banque mondiale, 2021). En 2017, la Barbade était l'un des pays les plus endettés au monde avec un ratio dette/PIB de 157 %. En 2018, la nouvelle administration a approché le FMI et a achevé un programme de restructuration de la dette publique en décembre 2019.

En mars 2020, le Covid-19 a frappé. Presque littéralement du jour au lendemain, les touristes sont partis. L'économie, trop dépendante du tourisme, a plongé, avec une perte de 17,3% du produit intérieur brut en 2020 par rapport à 2019. Les perspectives pour 2021 restent fortement

dépendantes d'une saison touristique saine (économiquement et physiquement) cet hiver prochain dans le nord hémisphère.

Les chaînes d'approvisionnement ont été perturbées et les inquiétudes concernant la sécurité alimentaire se sont intensifiées, ce qui a suscité un regain d'intérêt pour la promotion de l'agriculture locale. Mais la Barbade est un pays rare en eau, actuellement incapable de répondre à la demande d'eau potable et d'irrigation lors d'une sécheresse d'une année sur 15 et devrait recevoir 20 à 30 % de précipitations en moins d'ici 2100, selon les modèles climatiques utilisés (Climate Studies Group Mona (Eds.), 2020).

En 2014, la FAO a estimé les ressources en eau renouvelables totales de la Barbade à 80 millions de m³/an dans des conditions de précipitations moyennes. Cela équivaut à 281 m³/an par habitant, ce qui est nettement inférieur au seuil de 1000 m³/an/personne qui définit la rareté de l'eau. En 2019, la Barbade a connu son année la plus sèche jamais enregistrée depuis 1947 ; seulement 736,5 mm (29") de précipitations ont été enregistrées à l'aéroport cette année-là, alors que dans une année moyenne, environ 1270 mm (50") de précipitations seraient attendues (Nation News, 2020).

Une partie du travail préparatoire pour un mouvement vers la récupération de l'eau avait été fait avant que la pandémie ne frappe. En 2019, la Barbade a adhéré au protocole LBS. La conséquence juridique immédiate étant que les deux STEP municipales existantes :

- I. un desservant la capitale – Bridgetown, un procédé de stabilisation par contact à boues activées a assuré un traitement secondaire mais sans désinfection, déversé dans un émissaire marin de 300 mètres de long ; mis en service en 1982 et d'une capacité de 7 000 m³/jour ;
- II. et l'autre desservant la côte sud touristique (9 000 m³/jour) ; une usine de traitement préliminaire avancée avec des écrans fins se déversant dans un émissaire marin de 1000 mètres de long ;

étaient tous deux non conformes pour les rejets dans les eaux de classe 1. Les deux usines devraient être modernisées. Par conséquent, le coût de mise à niveau des usines jusqu'au niveau de traitement requis pour les rejeter dans les eaux de classe 1 en vertu du protocole LBS (voir

le tableau 2.1) a été considéré comme la base de référence pour l'analyse économique de la faisabilité de la récupération de l'eau, ce qui rend la récupération de l'eau plus attirant.

Il est important de noter que le Cabinet (l'organe décisionnel le plus élevé du gouvernement), au cours de l'une des années les plus sèches jamais enregistrées, avait récemment approuvé une politique nationale de réutilisation de l'eau (EPD 2019). Cela représentait un changement de paradigme. Les eaux usées devaient désormais être considérées comme une ressource. L'énoncé de vision et l'objectif de la politique de réutilisation de l'eau de la Barbade sont reproduits dans les encadrés ci-dessous.

Vision: Water is a national resource which shall be used to improve the quality of life for citizens, maintain the natural biodiversity of the land, and promote domestic, agricultural and industrial activities in support of sustainable development and a green economy.

Peut-être plus important encore, des sources de financement abordables - des subventions du Fonds vert pour le climat et un prêt de l'Exim Bank, ont été identifiées pour capitaliser les améliorations nécessaires de la station d'épuration et la construction d'un réseau de distribution

Objective: To promote the safe use of reclaimed, storm and non-potable water in urban, agricultural and the industrial sectors such that human health and environmental quality is not compromised

d'eau récupérée.

5.3 Un projet de plan de récupération de l'eau pour la Barbade

Le 20 mai 2019, l'auteur de ce rapport a fait une présentation intitulée « *L'eau récupérée en tant que composante d'un plan intégré de ressources en eau pour la Barbade* » lors de la consultation nationale sur les ressources en eau à laquelle ont assisté la plupart des membres du Cabinet. Un scénario possible de réutilisation des eaux usées, tel que décrit ci-dessous dans la figure 5.2, a été présenté

Il envisageait de moderniser les stations d'épuration de Bridgetown et de la côte sud à un niveau qui pourrait fournir de l'eau adaptée aux fins proposées pour la réutilisation et de construire la « colonne vertébrale » de ce qui deviendrait éventuellement un réseau national de récupération

d'eau capable de recharger les aquifères dans le sud et l'ouest de l'île et d'irriguer les terres agricoles dans les régions méridionales, centrales et septentrionales de l'île.

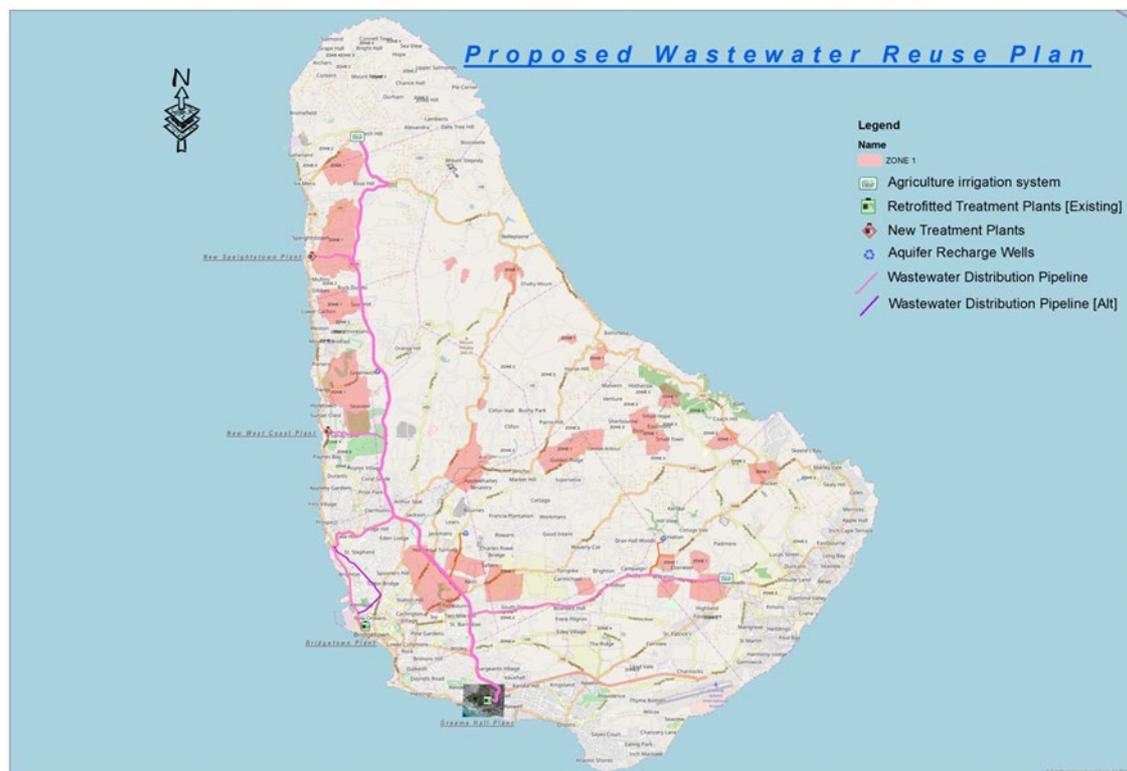


Figure 5.2: Projet de plan de réutilisation des eaux usées pour la Barbade

5.4 Étude de pré faisabilité sur la récupération des eaux de la côte sud

En l'espace de trois mois (septembre – novembre 2020), un groupe de travail composé de responsables techniques des ministères en charge des ressources en eau, de l'agriculture, de la santé publique, de la planification et du contrôle du développement, de l'environnement et des affaires économiques, assistés de consultants (AECOM Canada Ltd.) a mené une analyse de pré faisabilité pour récupérer l'eau de la station d'épuration améliorée de la côte sud. L'évaluation comprenait une analyse du « triple résultat » (social, environnemental, économique) de plusieurs scénarios/options de réutilisation pour choisir l'option préférée. Les normes qui pourraient être appliquées pour chaque option de réutilisation ont été examinées, y compris celles fixées par les États des États-Unis (par exemple, le Nevada, la Floride, la Californie) et l'OMS. Les options de réutilisation envisagées comprenaient les suivantes :

- Recharge d'un aquifère d'eau souterraine avec l'intention de prélever la même eau dans un puits d'approvisionnement public avec uniquement une chloration comme traitement appliqué. Cette option a été appelée recharge d'aquifère potable.
- Recharge d'un aquifère souterrain avec l'intention de prélever la même eau pour l'irrigation ou comme eau d'alimentation pour une installation d'osmose inverse ; et la réutilisation agricole sans restriction (y compris les cultures vivrières consommées crues). Cette option a été appelée récupération non potable.

Les normes proposées par les régulateurs (ministères des ressources en eau, de la santé, de l'environnement et de l'agriculture), pour ces deux catégories de réutilisation de l'eau à la Barbade, sont reproduites ci-dessous dans les tableaux 5.1 et 5.2.

Table 5.1: Normes de qualité de l'eau de recharge des aquifères potables proposées pour la Barbade (AECOM 2020)

Paramètre	Qualité de l'eau récupérée
Carbone Organique Total	Moins de 3 mg/L
Turbidité	Moins de 2 Unités de turbidité néphélobométrique
Total Nitrogen (noté N)	Moins de 5 mgN/l
Total Phosphorus (noté P)	Au besoin, en fonction de facteurs spécifiques au site
pH	Entre 6.5 et 8.5
Coliformes fécaux	< 1 CFU/ 100 ml
Coliformes totaux	< 1 CFU/ 100 ml
Chlore résiduel	En dessous de 0,1 mg/L avant recharge ou rejet dans le milieu marin
Normes d'eau potable	Respecter les normes d'eau potable primaires et secondaires
Solides totaux dissous	Moins de 450 mg/L

Table 5.2: Normes de qualité de l'eau de récupération non potable proposées pour la Barbade (AECOM 2020)

Paramètre	Qualité de l'eau récupérée
Demande biochimique en oxygène (5 jours)	Moins de 30 mg/L
Total des solides en suspension	Moins de 30 mg/L
Azote total (noté N)	Moins de 5 mgN/l
Phosphore total (noté P)	Au besoin, en fonction de facteurs spécifiques au site
Solides totaux dissous	Moins de 450 mg/L
pH	Entre 6.5 et 8.4
Coliformes fécaux et coliformes totaux	<1 CFU/100ml
Chlore résiduel	En dessous de 0,1 mg/L avant recharge ou rejet dans le milieu marin

Il est à noter, d'après les tableaux 5.1 et 5.2, que les indicateurs choisis pour contrôler les rejets de nutriments étaient l'azote total et le phosphore total et la valeur seuil choisie pour l'azote était de 5 mg/l, tandis qu'une flexibilité était prévue pour le phosphore.

Après avoir comparé plusieurs scénarios de réutilisation, ce « collège » de régulateurs et d'ingénieurs a pris les décisions « maison » suivantes pour rendre le système de récupération d'eau (pour les deux installations d'assainissement municipal) approprié aux normes culturelles et à la capacité technique locales :

- Bien que techniquement possible, il était trop coûteux et probablement culturellement difficile de tenter une réutilisation potable directe.
- L'île n'avait pas la capacité actuelle de réglementer les types de cultures pouvant être irriguées ou la méthode d'irrigation. Par conséquent, toute eau récupérée destinée à être utilisée pour l'irrigation doit répondre aux normes de qualité de l'eau pour une réutilisation agricole sans restriction, même sur des cultures consommées crues.

- l'eau récupérée serait également utilisée pour recharger les nappes phréatiques pendant la saison des pluies (juin à novembre) lorsque la demande d'irrigation est faible.
- La recharge des eaux souterraines se ferait par des puits d'injection plutôt que par des bassins d'infiltration en raison de la forte teneur en argile des sols locaux.
- La recharge se ferait dans la zone saturée plutôt que dans la zone vadose pour permettre le lavage à contre-courant des puits d'injection.
- Pour permettre la recharge de l'aquifère et fournir aux agriculteurs une « tablette rase », les niveaux de nitrate dans l'eau récupérée seraient réduits autant que possible, en utilisant la meilleure technologie disponible d'élimination des nutriments biologiques (BNR). Il a été jugé au-delà de la capacité technique actuelle des opérateurs locaux de STEP de tenter l'élimination chimique/récupération du phosphore des eaux usées. Il a été décidé de viser une TN < 5 mg/l et une TP < 5 mg/l.
- Les solides dissous totaux dans l'eau récupérée doivent répondre à une norme de < 450 mg/l pour une réutilisation agricole sans restriction.

D'autres facteurs qui ont influencé le choix des paramètres de l'indicateur et des valeurs seuils étaient la capacité technique actuelle à détecter les paramètres (voir le tableau 5.3) et la disponibilité de technologies de traitement appropriées (voir les tableaux 5.4 à 5.7).

Table 5.3: Limites de détection des paramètres nutritifs dans les échantillons marins à la Barbade (fournies par les services analytiques du gouvernement, gouvernement de la Barbade, mars 2021)

Paramètre	Limite de détection (mg/l)
Azote total	0.1
Nitrates (par réduction de Cadmium)	1.0
TKN	2.0
Nitrites	0.01
Ammoniaque	0.05
Phosphore total	0.05
Orthophosphates	0.01

L'élimination biologique des nutriments (nitrification et dénitrification) est devenue une technologie conventionnelle. En 2005, l'US EPA a préparé une fiche d'information sur les processus et les coûts des BNR (US EPA, 2005). Les tableaux 5.4 à 5.7 ci-dessous sont reproduits à partir de la fiche d'information 2005 de l'US EPA.

Table 5.4: Mécanismes impliqués dans l'élimination de l'azote total (US EPA 2005)

Form of Nitrogen	Common Removal Mechanism	Technology Limit (mg/L)
Ammonia-N	Nitrification	<0.5
Nitrate-N	Denitrification	1 – 2
Particulate organic-N	Solids separation	<1.0
Soluble organic-N	None	0.5 – 1.5

Table 5.5: Mécanismes impliqués dans l'élimination du phosphore total (US EPA 2005)

Form of Phosphorus	Common Removal Mechanism	Technology Limit (mg/L)
Soluble phosphorus	Microbial uptake Chemical precipitation	0.1
Particulate phosphorus	Solids removal	<0.05

L'EPA a également évalué différentes technologies de traitement des eaux usées pour leur capacité à éliminer l'azote et le phosphore (voir le tableau 4.6 ci-dessous).

Table 5.6: Comparaison des configurations BNR courantes (US EPA 2005)

Traitement	Élimination de l'azote	Élimination du phosphore
Ludzack-Ettinger modifié (MLE)	Bonne	Aucune
A2/O (MLE précédée d'une étape anaérobie initiale)	Bonne	Bonne
Alimentation pas à pas	Modérer	Aucune
Bardenpho (4 étapes)	Excellent	Aucune
Bardenpho modifié (5 étapes)	Excellent	Bonne
Réacteur par lots de séquençage (SBR)	Modérer	Inconsistant
Université modifiée du Cap (UCT)	Bonne	Excellent
Fossé d'oxydation	Excellent	Bonne

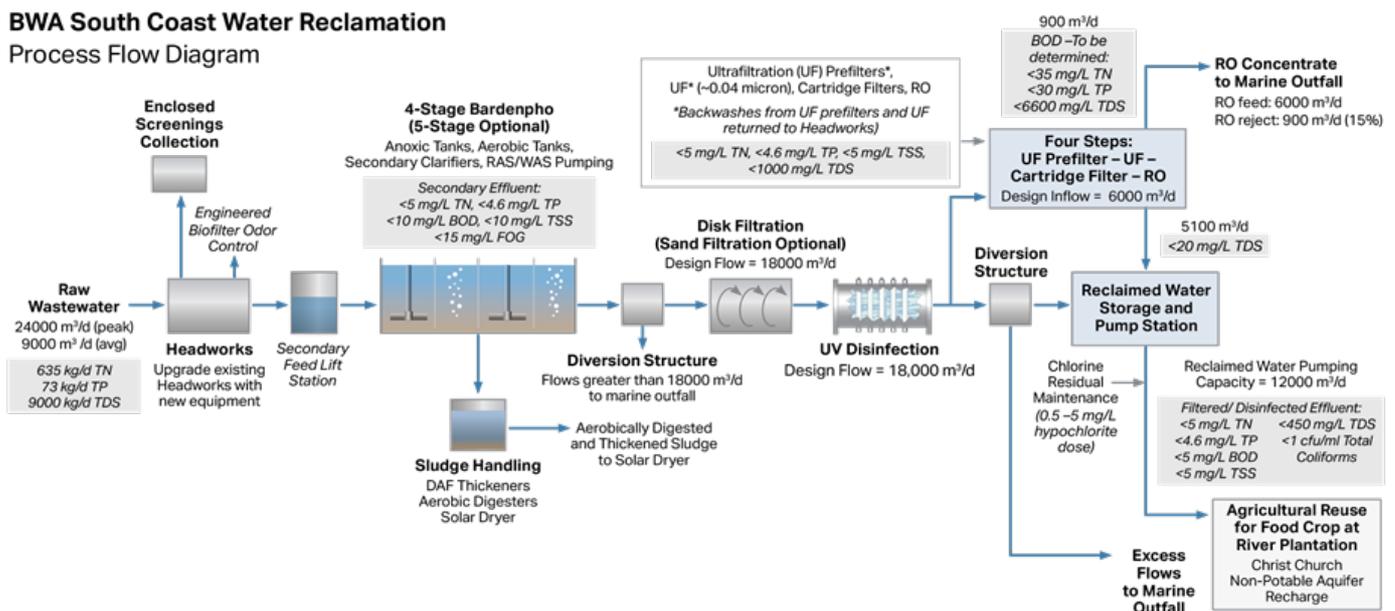
Table 5.7 résume les limites des technologies pour les grandes et petites STEP (< 100 000 gallons US/jour) (< 379 m3/jour) telles que déterminées par l'US EPA.

Table 5.7: Limites de la technologie pour les grandes et petites STEP (US EPA 2005)

Taille du WWTP	Limite de la technologie pour l'élimination de la TN (mg/l)	Limite de la technologie pour l'élimination du TP (mg/l)
Large	3	0.1
Petite	6 - 12	Pas rentable

En tenant compte de tous ces facteurs, les options de réutilisation de l'eau préférées ont été choisies ainsi que les technologies de traitement préférées. L'organigramme du processus de l'option privilégiée pour la mise à niveau proposée de la station d'épuration de la côte sud est

BWA South Coast Water Reclamation
Process Flow Diagram



illustré ci-dessous à la figure 5.3.

Figure 5.3: Diagramme de flux de processus pour la mise à niveau proposée de la station d'épuration de la côte sud (AECOM 2020)

5.4.1 Concentrations vs. Charges

Il convient de noter à partir de la figure 5.3, que pour contrôler les niveaux de TDS, un processus d'osmose inverse sera utilisé pour éliminer les solides dissous des deux tiers du flux

de traitement, puis le perméat RO sera mélangé avec le reste de l'eau du produit. Le concentré RO sera envoyé à un émissaire marin, car aucun moyen économiquement faisable de récupération des éléments nutritifs du concentré n'a été identifié.

Lorsque les charges de nutriments dans la mer à partir de la ligne de base (traitement préliminaire avancé) sont comparées aux charges attendues après la mise en œuvre du projet, ce qui suit devient évident.

Charge quotidienne en éléments nutritifs de référence actuelle à l'exutoire :

- Azote total = 9,000 m³/day X 70 mg/l = 635 kg/day
- Phosphore total = 9,000 m³/day X 8 mg/l = 73 kg/day

Option préférée charge quotidienne attendue en éléments nutritifs à l'exutoire :

- Azote total = 900 m³/jour X 35 mg/l = 31,5 kg/jour (une réduction de 94,6 % de la charge quotidienne)
- Phosphore total = 900 m³/jour X 30 mg/l = 27 kg/jour (une réduction de 63,6 % de la charge quotidienne)

Cependant, il est probable que si seules des concentrations numériques étaient utilisées pour établir des normes de rejet d'effluents nationales ou du protocole LBS pour les nutriments, le rejet de concentré d'OI échouerait probablement, même si le projet atteindrait l'objectif environnemental de réduire considérablement les charges de nutriments dans les eaux littorales.

5.4.2 Impact économique national attendu

Il est prévu que les coûts d'investissement pour moderniser les deux stations d'épuration s'élèveront probablement à environ 170 millions de dollars US. Environ 40 km de réseau de distribution d'eau récupérée seront construits (de couleur violette) pour acheminer environ 14 000 m³/jour d'eau récupérée capable d'irriguer environ 364 hectares de terres agricoles et de recharger les nappes phréatiques.

Les avantages attendus comprennent :

- ~ 30 M\$ US d'augmentation des revenus annuels de l'agriculture,
- épargne en devises,
- l'augmentation des ressources en eau douce et
- sécurité alimentaire accrue.

6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Il existe de nombreuses preuves qu'à l'échelle mondiale le cycle de l'azote a été considérablement modifié et que la demande de phosphates augmente. Plusieurs zones de la mer des Caraïbes au sens large, en particulier les eaux côtières proches des côtes adjacentes à l'embouchure des principaux bassins fluviaux, ont été considérées comme ayant une eau de mauvaise qualité en ce qui concerne la teneur en éléments nutritifs.

Bien que la principale source de nutriments soit l'utilisation excessive et l'application inappropriée d'engrais, l'impact des sources ponctuelles telles que les rejets des stations d'épuration devrait être réglementé. Le protocole LBS utilise un récit qualitatif (voir l'encadré ci-dessous) pour chercher à contrôler la teneur en éléments nutritifs dans les rejets de STEP.

Chaque Partie contractante tient compte de l'impact que l'azote total et le phosphore et leurs composés peuvent avoir sur la dégradation de la zone de la Convention et, dans la mesure possible, prend des mesures appropriées pour contrôler ou réduire la quantité d'azote total et de phosphore rejetée dans la zone de la Convention ou pourrait avoir une incidence négative sur celle-ci.

Les pratiques suivantes sont recommandées :

- Le critère narratif de qualité de l'eau pour les éléments nutritifs dans le protocole LBS devrait être complété à la fois par des normes de rejet numériques et des normes de qualité de l'eau ambiante pour l'azote et le phosphore. Les « bonnes » valeurs ambiantes suggérées pour le DIN et le DIP dans le SOCAR doivent être constamment révisées sur la base des dernières données scientifiques disponibles.
- Si elles sont adoptées, les normes numériques devraient :
 - être fixé pour les différentes formes d'azote et de phosphore actuellement contrôlées par les pays de la région des Caraïbes ;
 - permettre la flexibilité et la prise en compte des conditions locales (accords de force supplémentaire, allocation des zones de mélange) ;

- considérer les limites de détection (voir tableau 5.3). Notez les limites de détection actuelles pour le TN et le TP à la Barbade, qui n'a actuellement pas la capacité d'effectuer des analyses pour le DIN et le DIP ;
- être probablement basé sur des moyennes mensuelles, avec une fréquence minimale d'échantillonnage indiquée ;
- être basé sur les performances attendues, qui sont affectées par la disponibilité et la pertinence de la technologie

Il peut également être approprié et prudent d'utiliser une approche TMDL pour la gestion des éléments nutritifs si des données suffisantes sont disponibles. Il est reconnu qu'une approche TMDL peut ne pas être en mesure de tenir compte des impacts synergiques de différents polluants et peut être spécifique au site.

Il est considéré comme sortant du cadre de ce rapport de recommander des valeurs numériques réelles pour les limites d'azote et de phosphore (sous leurs diverses formes) dans les rejets d'eaux usées. Il est recommandé que le Comité consultatif pour la science et la technologie LBS (LBS STAC) élabore un programme de travail, en consultation avec les parties contractantes, pour développer et surveiller en permanence des normes numériques à la fois pour les concentrations et les charges en éléments nutritifs sur la base d'une compréhension approfondie des impacts sur les sous-les écosystèmes marins régionaux.

Cependant, sur la base des données présentées dans le tableau 5.7 (bien qu'à partir de 2005), il semblerait raisonnable de fixer une norme de rejet d'effluents pour le TN pour les grandes STEP à quelque part entre 5 et 10 mg/l si l'annexe III du protocole LBS devait être modifié. Cependant, pour le TP, les technologies de traitement des eaux usées semblent encore immatures, compliquées et coûteuses. Pour les communautés dépourvues de systèmes d'égouts municipaux, il faudrait mettre davantage l'accent sur et mener davantage de recherches pour améliorer l'efficacité d'élimination des nutriments des systèmes de traitement des eaux usées sur place ou de petits systèmes communaux.

La réutilisation des eaux usées, en particulier l'irrigation des cultures qui permettrait le recyclage des nutriments, devrait être encouragée mais dans le cadre d'un régime réglementaire strict en matière de santé publique et environnementale.

Enfin, il a recommandé que des paramètres tels que la chlorophylle a et la silice soient également ajoutés à l'annexe III du protocole LBS pour fournir une meilleure indication du potentiel polluant des rejets de nutriments dans la région des Caraïbes.

7 LES RÉFÉRENCES

- AECOM. 2020. “South Coast Water Reclamation Pre-Feasibility Study”. *Prepared for the Barbados Water Authority, Government of Barbados (November)*.
- ANZECC. 2000. “Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality.” *Australian and New Zealand Environment and Conservation Council & Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand 1(4)*. Retrieved on April 4, 2021.
- Baird and Associates. 2017. “Appendix D: Adaptation Measures to Counter the Effects of Climate Change with a Focus on Water Resource Management and Flood Resilience.” *Stormwater Quality in Barbados 4*. Produced for the Government of Barbados.
- Baker, D.M. et. al. 2010. “Caribbean octocorals record changing carbon and nitrogen sources from 1862 to 2005.” *Global Change Biology (2010)*. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02167.x
- Climate Studies Group Mona (Eds.). 2020. “The State of the Caribbean Climate”. *Produced for the Caribbean Development Bank*.
- Coast, P., Magley, W., & Ph, D. 2013. *Nutrient TMDL for (July)*.
<https://floridadep.gov/sites/default/files/palmcoast-nutr-tmdl.pdf>
- DEFRA. 2012. Waste water treatment in the United Kingdom. *Implementation of the European Union Urban Waste Water Treatment Directive – 91/271/EEC*. Retrieved on March 28, 2021.
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69592/pb13811-waste-water-2012.pdf.
- Degeorges, A., Goreau, T. J., & Reilly, B. 2010. Land-Sourced Pollution with an Emphasis on Domestic Sewage: *Lessons from the Caribbean and Implications for Coastal Development on Indian Ocean and Pacific Coral Reefs*. 2919–2949.
<https://doi.org/10.3390/su2092919>
- Department of Conservation and Recreation. 2014. *Commonwealth of Virginia Virginia Nutrient Management Standards and Criteria. 23219 (July)*.
<https://www.dcr.virginia.gov/document/standardsandcriteria.pdf>.
- Drescher, A., Glaser, R., & Richert, C. 2011. “Demand for key nutrients (NPK) in the year 2050.” Department of geography, University of Freiburg. (November).
https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/NPK/Documents/Freiburg_Demand_for_key_nutrients_in_2050_Drescher.pdf.
- EPD. 2019. “National Water Reuse Policy.” *Environmental Protection Department, Ministry of Environment and National Beautification, Government of Barbados*.
- FAO. 2012. “Balanced feeding for improving livestock productivity – Increase in milk production and nutrient use efficiency and decrease in methane emission.” *FAO Animal Production and Health Paper (173)*. Rome, Italy.
- Fischhendler, I. 2007. Escaping the “polluter pays” trap : *Financing wastewater treatment on the Tijuana – San Diego border*. 3. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.012>.
- Gysin, A., Lycke, D., & Wirtel, S. 2018. “Phosphorus: Polluter and Resource of the Future – Removal and Recovery from Wastewater.” *Chapter 19: The Pearl*. 359–365. doi: 10.2166/9781780408361_359. <https://doi.org/10.2166/9781780408361>.
- Hastings, M. G., Jarvis, J. C., & Steig, E. J. 2009. *Anthropogenic Impacts on Nitrogen Isotopes of Ice-Core Nitrate*. 324(June). Doi: [10.1126/science.1170510](https://doi.org/10.1126/science.1170510).

- Houk, P., *et al.* 2020. Nutrient thresholds to protect water quality and coral reefs. *Marine Pollution Bulletin*, 159(January), 111451.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111451>.
- IFDC. 2010. “World Phosphate Rock and Reserves”. International Fertiliser Development Center, USA. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/Pnadw835.PDF.
- IISD. 2019. “MEA Bulletin - Guest Article No. 82 - Thursday, 10 December 2009.” *Global Partnership on Nutrient Management Taking Shape (82)*. Retrieved May 22, 2021.
<https://enb.iisd.org/email/mea-l/guestarticle82.html>.
- IUCN. 2007. “Guidelines For Applying The Precautionary Principle To Biodiversity Conservation And Natural Resource Management”. *As approved by the IUCN Council 67. (May)*, 1–11.
https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/ln250507_ppguidelines.pdf.
- Jasinski, SM. 2017. Mineral Commodity Summaries (PDF). *U.S. Geological Survey*.
- Marubini, F. and P. Davies., 1996. “Nitrate increases zooxanthellae population density and reduces skeletogenesis in corals.” *Marine Biology* 127:319–328. Accessed September 22. <https://doi.org/10.1007/BF00942117>.
- Mihelcic, J. R., Fry, L. M., & Shaw, R. 2011. Chemosphere Global potential of phosphorus recovery from human urine and feces. *Chemosphere*, 84(6), 832–839.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.046>.
- Nation News. 2020. “Driest Year Since 1947.” Retrieved April 4, 2021.
<https://www.nationnews.com/2020/01/31/driest-year-since-1947/>.
- National Research Council. 2001. “Assessing the TMDL Approach to Water Quality Management: Washington, DC”. The National Academies Press, 109. <https://doi.org/10.17226/1014>.
- Neill, M. 2005. *A method to determine which nutrient is limiting for plant growth in estuarine waters — at any salinity*, 50. 945–955.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.002>.
- Norsok, 2019. “Effects of Struvite Application on soil and Plants: A short-term field study.” Norsok Report 4 (10): Norewegian Centre for Organic Agriculture.
<https://orgprints.org/id/eprint/36472/1/NORSØKRAPPOR10struvittFINALSept2019trykk.pdf>.
- OECD. n.d. “Urban Water Quality Management – Policies to implement wastewater reuse in Israel.” Retrieved on March 28, 2021.
<http://www.oecd.org/environment/resources/Israel-case-study-urban-water-quality-management-diffuse-pollution.pdf>.
- Rockström, J., *et al.* 2009. “Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity.” *Ecol. Soc.* 14 (2):32. <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>.
- Schullehner, J., *et al.* 2018. “Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study.” *Int J Cancer*, 143(1):73-79. doi: 10.1002/ijc.31306.
- Steffen, W., *et al.* 2015. Planetary boundaries : *Guiding changing planet*. 1259855.
<https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Sutton M.A., *et al.* 2013. “Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution.” *Global Overview of Nutrient Management. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative*.

- Szmant, A. 2016. Nutrient Enrichment on Coral Reefs : *Is It a Major Cause of Coral Reef Decline ? Estuaries*, 25(4), 743–766. <http://www.jstor.org/stable/1353030>.
- UNCED. 1992. “Annex 1 of Report of the United Nations Conference on Environment and Development”. *Rio de Janeiro (June): 3-14*. Rio Declaration on Environment and Development.
- UNEP CEP. 2019. State of the Cartagena Convention Area Report: *An Assessment of Marine Pollution from Land-based Sources and Activities in the Wider Caribbean Region*.
- UN Environment. 2016. “Regional Seas Strategic Directions (2017-2020).” *UN Environment Regional Seas Programme, Regional Seas Reports and Studies (201)*.
- US EPA. 2005. “Biological Nutrient Removal Processes and Costs.” Retrieved on April 4, 2021. https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/criteria_nutrient_bioremoval.pdf.
- US EPA. 2015. *Preventing Eutrophication : Scientific Support for Dual Nutrient Criteria*. (February), 1–6. <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/nandpfactsheet.pdf>.
- US EPA. 2017. Water Quality Standards Handbook. Chapter 3: Water Quality Criteria.
- WHO. 1992. “A Guide to the Development of On-site Sanitation.” *Part 1-The need for on-site sanitation (246)*.
- WHO. 2006a. “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.” *Policy and regulatory aspects (1)*. ISBN 92 4 154682 4 (v. 1).
- WHO. 2006b. “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.” *Wastewater Use in Agriculture (2)*. ISBN 92 4 154683 2 (v. 2).
- WHO. 2017. “Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum.” Geneva: World Health Organization. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO
- World Bank. 2019. “From Waste to Resource: Shifting paradigms for smarter wastewater interventions in Latin America and the Caribbean.” *Background Paper VI: Market Potential and Business Models for Resource Recovery Products*. World Bank, Washington, DC.
- World Bank. 2021. “Public Document.” *Key conditions and challenges*. 92–93. Retrieved April 4, 2021. <https://pubdocs.worldbank.org/en/438851586546174000/mpo-brb.pdf>.

8 APPENDICE

Table 8.1: Références pour les normes citées dans le tableau 4.2

Pays	Les références	commentaires
Columbie (Col)	Ministère de l'Environnement et du Développement durable. 2015. Résolution no. 0631	Eaux usées domestiques rejetées dans les eaux marines
Costa Rica (CR)	Décret n. 31545-S-MINAE. 2003. Règlement pour l'approbation et l'exploitation des systèmes de traitement des eaux usées	Les eaux usées s'écoulent dans les égouts sanitaires ou un organisme récepteur
Cuba	Office national de normalisation. Norme cubaine obligatoire 27:2012 Élimination des eaux usées dans les eaux terrestres et les égouts :	Eaux côtières de classe A
République Dominicaine (DR)	Ministère de l'Environnement et des Ressources naturelles. 2012. Norme environnementale sur le contrôle des rejets dans les eaux de surface, les égouts sanitaires	Rejet dans les eaux de surface pour la pop 10 001 à 100 000
Guatémala (Gua)	Accord gouvernemental 236-2006 Réglementation du rejet et de la réutilisation des eaux usées et de l'élimination des boues	Vers les plans d'eau récepteurs
Honduras (Hon)	Accord no. 058 Secrétaire à la Santé publique 9 avril 1996	Vers les plans d'eau récepteurs
Nicaragua (Nic)	Décret n. Règlement 21-2017 fixant les dispositions relatives à l'évacuation des eaux usées	Des systèmes de traitement des eaux usées domestiques

Panama (Pan)	Règlement technique DGNTI-COPANIT 35-2019 Environnement et protection de la santé, sécurité, qualité de l'eau, rejet d'effluents liquides.	Eaux de surface et souterraines
Trinité-et-Tobago (T&T)	Règlement sur la pollution de l'eau, 2019	
Barbade (Bar)	Normes proposées en vertu de la Marine Pollution Control Act	eaux de classe 1. Proposé. Accord extra-fort autorisé
Jamaïque (Jam)	Règlement sur les eaux usées et les boues 20	Pour les installations existantes. Plan de gestion des éléments nutritifs obligatoires