

***ETUDES DE MILIEU POUR LE REJET DE LA  
STATION D'EPURATION DE MAMOUDZOU SUD***



***Rapport final***



# ETUDE DE MILIEUX POUR LE REJET DE LA FUTURE STATION D'EPURATION DE MAMOUDZOU SUD

## Sommaire

<b>1. RAPPEL DU CONTEXTE ET DES OBJECTIFS DE L'ETUDE.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Contexte général</b>	<b>1</b>
<b>1.2 L'assainissement sur la zone de Mamoudzou Sud</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Le projet de station d'épuration de Mamoudzou Sud</b>	<b>2</b>
1.3.1 Localisation	2
1.3.2 Caractéristiques de la future station d'épuration	4
1.3.2.1 Villages raccordés	4
1.3.2.2 Capacité de traitement	4
1.3.2.3 Filières de traitements proposées	4
1.3.2.4 Point de rejet envisagé	5
<b>1.4 Objet de la prestation</b>	<b>5</b>
<b>2. PRESTATIONS REALISEES ET EQUIPES MOBILISEES .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Approche générale</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Equipes mobilisées</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Organigramme</b>	<b>9</b>
<b>2.4 Planning</b>	<b>10</b>
<b>3. CONTEXTE REGLEMENTAIRE .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Un contexte institutionnel en pleine évolution</b>	<b>10</b>
3.1.1 Un nouveau statut de DOM	10
3.1.2 Le statut de région ultrapériphérique de l'Union européenne	10
<b>3.2 Réglementation applicable : le droit commun</b>	<b>11</b>
3.2.1 Législation et droit commun	11
3.2.2 Principales législations relatives à l'assainissement	12
3.2.2.1 Principaux textes	12
3.2.2.2 Performances minimales de la station	13
3.2.2.3 Exigences associées aux usages	14
<b>3.3 Les documents d'orientations</b>	<b>18</b>
3.3.1 Les orientations du P.A.D.D.	18
3.3.2 Le SDAGE de Mayotte	19
3.3.2.1 Les orientations du SDAGE	19
3.3.2.2 Les objectifs du SDAGE	20
3.3.3 Le plan de gestion du lagon de Mayotte	20
3.3.4 Le plan de gestion du Parc Naturel Marin de Mayotte	20

<b>4. AIRE D'ETUDE .....</b>	<b>21</b>
<b>5. ETAT DES LIEUX DES MILIEUX RECEPTEURS .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1 Etude de la rivière Kwalé</b>	<b>22</b>
5.1.1 Description des usages de la rivière	22
5.1.1.1 Préambule	22
5.1.1.2 Usages de la Kwalé sur le secteur d'étude	22
5.1.1.3 Contraintes de qualité associées	26
5.1.1 Hydrologie	28
5.1.2 Qualité des eaux	30
5.1.2.1 Synthèse bibliographique- Réseau de suivi DCE	30
5.1.2.2 Diagnostic de la qualité physico-chimique à partir des campagnes de prélèvements 2012	34
5.1.3 Qualité des sédiments de la rivière Kwalé	42
5.1.3.1 Méthodologie	42
5.1.3.2 Qualité sédimentaire de la Kwalé à partir de données historiques	42
5.1.3.3 Diagnostic de la qualité sédimentaire à partir de la campagne de prélèvements 2012 de l'étude rivière	44
5.1.4 Synthèse de la qualité physico-chimique de l'eau et des sédiments de la Kwalé	46
5.1.5 Hydrobiologie	47
5.1.5.1 Sources bibliographiques	47
5.1.5.2 Les compartiments biologiques étudiés : intérêt et rôle	48
5.1.5.3 Qualité biologique de la Kwalé	50
5.1.6 Synthèse de la qualité du milieu et évaluation de sa sensibilité	55
5.1.6.1 Etat des compartiments chimiques et biologiques actuels	55
5.1.6.2 Sensibilité et capacité d'acceptation du milieu	56
<b>5.2 Etude de la mangrove de Tzoundzou I au droit de l'embouchure de la Kwalé</b>	<b>56</b>
5.2.1 Caractéristiques des habitats	58
5.2.2 Faune de la mangrove	62
5.2.2.1 Avifaune	62
5.2.2.2 Faune carcinologique	65
5.2.3 Synthèse de l'état écologique de la mangrove de Tzoundzou 1	69
5.2.3.1 Végétation	69
5.2.3.2 Faune	71
<b>5.3 Etude du milieu marin au droit de l'embouchure de la Kwalé</b>	<b>72</b>
5.3.1 Cartographie bathymétrique et mesures de courants au large de l'embouchure de la Kwalé	72
5.3.1.1 Travaux réalisés	72
5.3.1.2 Campagne bathymétrique	73
5.3.1.3 Mesures de courants	76
5.3.2 Usages du lagon au droit de l'embouchure de la Kwalé	83
5.3.3 Etude de la qualité des eaux et des sédiments marins	83
5.3.3.1 Description des campagnes	83
5.3.3.2 Résultats et interprétations des analyses d'eaux	85
5.3.3.3 Résultats et interprétations des analyses des sédiments marins	104
5.3.4 Etude de la matière vivante du lagon	109
5.3.4.1 Objectifs et méthodologie employée	109
5.3.4.2 Résultats des observations sous-marines de 2012	110
5.3.4.3 Synthèse de la campagne d'observation	120
5.3.4.4 Comparaison avec les résultats d'études antérieures	121
5.3.4.5 Identification des zones remarquables	122
5.3.4.6 Vulnérabilité des peuplements identifiés	123
<b>5.4 Synthèse de l'état des lieux des milieux récepteurs : Diagnostic/sensibilité/contraintes</b>	<b>123</b>
<b>6. IMPACTS ATTENDUS DU REJET D'EFFLUENTS EN RIVIERE SUR LA QUALITE DU MILIEU .....</b>	<b>126</b>

<b>6.1 Evaluation de l'impact du rejet d'effluents traités sur la qualité des eaux de rivière</b>	<b>126</b>
6.1.1 Apports et conséquences attendues du rejet d'effluents de la STEP	126
6.1.2 Estimation de la qualité des eaux de rivière en aval de la station	127
6.1.2.1 Démarche	127
6.1.2.2 Flux actuel au point de rejet – flux amont	128
6.1.2.3 Rappel des caractéristiques de la future station - rejet futur	128
6.1.2.4 Concentration en aval du futur point de rejet	130
<b>6.2 Evaluation des impacts du rejet d'effluents traités en rivière sur la qualité de la mangrove</b>	<b>131</b>
6.2.1 Généralités sur les impacts du rejet d'eaux usées sur les mangroves	131
6.2.1.1 Cas des rejets réalisés uniquement à marée haute	131
6.2.1.2 Cas des rejets réalisés uniquement à marée basse	135
6.2.2 Evaluation des impacts possibles du rejet d'eaux usées dans la mangrove de Tsoundzou 1 en fonction de sa sensibilité	137
6.2.2.1 Impacts des rejets sur les peuplements de mangrove interne en rive gauche de la Kwalé au-delà du transect C	138
6.2.2.2 Impacts des rejets sur les peuplements de mangrove interne en rive gauche de la Kwalé jusqu'au transect C	138
6.2.2.3 Impacts des rejets sur les peuplements de mangrove interne en rive droite de la Kwalé	141
6.2.2.4 Impacts des rejets sur les peuplements de mangrove externe à l'embouchure de la Kwalé	141
<b>6.3 Evaluation des impacts sur le lagon du rejet en rivière d'effluents traités</b>	<b>143</b>
6.3.1 Evaluation des impacts sur les populations marines des récifs	143
6.3.2 Etude du panache relatif au rejet des effluents de la STEP en rivière par modélisation	144
6.3.2.1 Modèle hydrodynamique	144
6.3.2.2 Hypothèses de simulations	148
6.3.2.3 Résultats des simulations de dispersion des effluents en saison froide	151
6.3.2.4 Résultats des simulations de la dispersion des effluents en saison humide	166
6.3.2.5 Conclusion générale	178
<b>6.4 Synthèse des impacts attendus d'un rejet en rivière</b>	<b>180</b>
<b>7. SYNTHÈSE ET PRECONISATIONS POUR LE REJET .....</b>	<b>184</b>
<b>7.1 Rejet en rivière – Acceptabilité et modalités</b>	<b>184</b>
7.1.1 Acceptabilité	184
7.1.2 Modalités de rejet : phasage en plusieurs tranches, gestion dans le temps du rejet et évolutivité du point de rejet	184
7.1.2.1 Détermination d'un point de rejet de moindre impact sur la Kwalé	184
7.1.2.2 Modalités de rejet préconisées en phase 1	187
7.1.2.3 Autres alternatives de points de rejet en phases ultérieures	189
<b>7.2 Notion de zone de rejet végétalisée</b>	<b>190</b>
<b>8. MESURES .....</b>	<b>193</b>
<b>8.1 Suivi environnemental en phase travaux</b>	<b>193</b>
<b>8.2 Suivi du milieu récepteur en phase exploitation</b>	<b>193</b>
8.2.1 Suivi de la rivière	193
8.2.2 Suivi de la mangrove	194
8.2.3 Suivi du milieu marin	194
<b>8.3 Mesures de contrôle et auto surveillance</b>	<b>195</b>
<b>8.4 Prévention des déversements accidentels</b>	<b>196</b>

<b>8.5 Mesures de communication</b>	<b>197</b>
<b>9. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>198</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>201</b>
<b>Annexe 1 : Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (JO n°0201 du 31 août 2010)</b>	<b>203</b>
<b>ANNEXE 2 : Cotations utilisées pour caractérisation de l'état de vitalité des coraux</b>	<b>213</b>

## Table des illustrations

### FIGURES

Figure 1 : Localisation de la future STEP de Mamoudzou Sud et du point de rejet envisagé .....	3
Figure 2 : Carte des sensibilités communales .....	6
Figure 3 : Localisation des principaux usages .....	24
Figure 4 : Profil en long de la Kwalé .....	27
Figure 5 : Hydrologie de la Kwalé de 2005 à 2012.....	29
Figure 6 : Stations de mesures de la qualité des eaux de la rivière Kwalé .....	35
Figure 7 : Hydrologie de la Kwalé lors des campagnes de prélèvement de l'étude de milieu rivière - 2012.....	37
Figure 8 : Stations de mesures DCE (réseau RCS) de la Kwalé.....	47
Figure 9 : Calcul de l'IBD et de l'IPS sur 3 stations de la Kwalé – étude lessives - 2004 .....	50
Figure 10 : Calcul de l'IBD et de l'IPS sur 3 stations de la Kwalé – réseau RCS - 2010.....	51
Figure 11 : Représentativité du bassin versant de la Kwalé par rapport à la richesse spécifique totale de Mayotte – réseau RCS – ARDA –rapport 2010.....	52
Figure 12 : Présence/absence des taxons par stations (campagnes confondues sur 2 années) – réseau RCS – ARDA – rapport 2010 .....	53
Figure 13 : Cycle de vie des crevettes amphidromes du genre <i>Macrobrachium</i> – G. Zimmermann .....	54
Figure 14 : Habitats dans la mangrove de Tzoundzou I.....	58
Figure 15 : Carte des habitats de la mangrove de Tzoundzou I. Repérage des transects et placettes .....	59
Figure 16 : Indice d'abondance de la mangrove de Tzoundzou I (n=12) juillet 2011.....	63
Figure 17 : Répartition de la richesse spécifique par habitat .....	63
Figure 18 : Cartographie des points d'écoute et des habitats.....	64
Figure 19 : Synthèse de l'état écologique de la mangrove de Tzoundzou 1 .....	67
Figure 20 : Carte des travaux bathymétriques réalisés et position du courantomètre.....	73
Figure 21 : Carte bathymétrique.....	74
Figure 22 : Carte bathymétrique détaillée sur l'estran.....	74
Figure 23 : Modèles 3D et coupe du terrain (Source : Hémisphère Sub).....	75
Figure 24 : Rose de direction de marée descendante.....	76
Figure 25 : Rose de direction de marée montante .....	76
Figure 26 : Rose de direction – Saison humide .....	76
Figure 27 : Rose de direction – Saison sèche.....	76
Figure 28 : Rose de direction en fonction de la profondeur – Saison humide.....	77
Figure 29 : Rose de direction en fonction de la profondeur – Saison sèche .....	77
Figure 30 : Carte de dérive des 3 drogues du 06/03/12 (saison humide) (Source : Hémisphère Sub) .....	79
Figure 31 : Carte de dérive des 3 drogues du 09/03/12 (saison humide) (Source : Hémisphère Sub).....	80
Figure 32 : Carte de dérive des 3 drogues du 24/07/12 (saison sèche) (Source : Hémisphère Sub).....	81
Figure 33 : Carte de dérive des 3 drogues du 25/07/12 (saison sèche) (Source : Hémisphère Sub).....	82
Figure 34 : Localisation des radiales et des stations de prélèvements .....	83
Figure 35 : Classification hiérarchique des 15 variables physico-chimiques principales (STATISTICA 10).....	99
Figure 36 : Classification hiérarchique des 10 stations d'eaux de sub-surface à partir des 15 variables physico-chimiques principales (à gauche) (STATISTICA 10) et regroupement des stations d'eaux de subsurface associé. Situation hydrologique au 24 juillet 2012 .....	99
Figure 37 : Classification hiérarchique des 10 stations d'eaux de subsurface et à -1,5 m de profondeur (= observations) à partir de l'analyse des 24 variables (paramètres physicochimiques) principales (d'après Statistica 10) . .....	100

Figure 38 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, 21 et 24 février 2012 : Variations des stocks sédimentaires depuis l'embouchure (P0) vers les stations les plus éloignées, à 300 m de celle-ci (P31 à P35).....	105
Figure 39 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, 21 et 24 février 2012 .....	107
Figure 40 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, les 21 et 24 février 2012 : relations d'affinité entre les différentes stations de prélèvement, d'après l'analyse multivariée et le dendrogramme de la figure 40 à droite. ....	108
Figure 41 : Localisation des zones d'investigation de la matière vivante du lagon.....	110
Figure 42 : Vitalité des fronts récifaux de Mamoudzou.....	111
Figure 43 : Vitalité des fronts récifaux de Passamainty .....	113
Figure 44 : Localisation des phanérogames sur le platier de l'embouchure .....	114
Figure 45 : Vitalité des fronts récifaux de Tzoundzou.....	116
Figure 46 : Vitalité des fronts récifaux d'Ironi.....	118
Figure 47 : Distribution des différentes cotations des taux de recouvrement corallien du secteur d'étude .....	121
Figure 48 : Localisation des zones remarquables ( ) identifiées dans cette étude .....	122
Figure 49 : Carte des habitats de la mangrove de Tzoundzou I – Repérage de la connectivité des formations avec la rivière Kwalé ou le lagon .....	139
Figure 50 : Carte bathymétrique du secteur Est du lagon de Mayotte et grille de calcul pour le modèle hydrodynamique 2D.....	145
Figure 51 : Carte bathymétrique du secteur Est du lagon de Mayotte et grille de calcul pour le modèle hydrodynamique 2D pour le secteur d'étude : estuaire de la Kwale et Tzoundzou.....	145
Figure 52 : Orientation et intensité du courant – Secteur Est – Lagon de Mayotte .....	146
Figure 53 : Densité du courant dans le secteur de l'estuaire de la Kwalé– Secteur Est .....	147
Figure 54 : Pleine capacité + vent - Concentration DBO5.....	151
Figure 55 : Pleine capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES) – Vue globale.....	152
Figure 56 : Pleine capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES) – Vue de détail.....	152
Figure 57 : Pleine capacité + vent - Concentration PT .....	153
Figure 58 : Pleine capacité + vent - Concentration NGL.....	153
Figure 59 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 104 - Vue globale.....	154
Figure 60 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 104 - Vue de détail .....	154
Figure 61 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 106- Vue globale.....	155
Figure 62 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 106- Vue de détail .....	156
Figure 63 : Demi capacité + vent - Concentration DBO5.....	156
Figure 64 : Demi capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES) .....	157
Figure 65 : Demi capacité + vent - Concentration PT .....	157
Figure 66 : Demi capacité + vent - Concentration NGL.....	158
Figure 67 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 106 - Vue globale.....	158
Figure 68 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 106- Vue de détail .....	158
Figure 69 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 104.....	160
Figure 70 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration DBO5.....	160
Figure 71 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Matières en Suspension (MES) – Vue globale.....	161
Figure 72 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Matières en Suspension (MES) – Vue de détail.....	161
Figure 73 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration PT – Vue de détail .....	162
Figure 74 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration NGL.....	162
Figure 75 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 106 - Vue globale .....	163
Figure 76 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 106- Vue de détail .....	163
Figure 77 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h – Rejet : 109- Vue globale .....	164

Figure 78 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 109- Vue de détail .....	164
Figure 79 : Pleine capacité + vent - Concentration DBO5 .....	166
Figure 80 : Pleine capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES).....	166
Figure 81 : Pleine capacité + vent - Concentration PT.....	167
Figure 82 : Pleine capacité + vent - Concentration NGL .....	167
Figure 83 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106 .....	168
Figure 84 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 104 .....	168
Figure 85 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 106.....	169
Figure 86 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 104.....	169
Figure 87 : Demi capacité + vent - Concentration DBO5.....	170
Figure 88 : Demi capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES).....	170
Figure 89 : Demi capacité + vent - Concentration PT.....	171
Figure 90 : Demi capacité + vent - Concentration NGL .....	171
Figure 91 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106 .....	172
Figure 92 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 104.....	172
Figure 93 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 106.....	172
Figure 94 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 104.....	173
Figure 95 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration DBO5.....	174
Figure 96 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Matières en Suspension (MES) .....	174
Figure 97 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration PT.....	175
Figure 98 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration NGL .....	175
Figure 99 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106.....	176
Figure 100 : Demi capacité + vent/ sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 109.....	176
Figure 101 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 106.....	177
Figure 102 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 109.....	177
Figure 103 : Implantation des profils en travers.....	185
Figure 104 : Profil en travers de la Kwalé et niveaux des marées théoriques .....	185
Figure 105 : Fréquence des mesures des différents paramètres (minima réglementaire)- capacité de traitement supérieure ou égale à 1800 kg/j de DBO5 et inférieure à 3000 kg/j de DBO5.....	196

## TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des intervenants mobilisés.....	8
Tableau 2 : Charges polluantes en entrée de station .....	13
Tableau 3 : Performances minimales des stations devant traiter une charge brute de pollution organique de plus de 120 kg DBO5/jour .....	13
Tableau 4 : Classement des eaux de baignades (selon l'annexe I de la nouvelle directive 2006/7/CE) .....	14
Tableau 5 : Normes de qualité des eaux de baignade et des piscines (décret n°2008-990 du 18/09/2008).....	14
Tableau 6 : Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées .....	16
Tableau 7 : Contraintes d'usage.....	17
Tableau 8 : Contraintes de distance .....	17
Tableau 9 : Fréquence de surveillance.....	18
Tableau 10 : Qualité des eaux de la rivière Kwalé 2011 – station RCS de la Kwalé aval (Source ; DEAL Mayotte – 2012) .....	33
Tableau 11 : Caractéristiques des analyses de qualité de l'eau de la rivière Kwalé.....	35
Tableau 12 : Qualité des eaux de la rivière Kwalé en saison humide - étude rivière - 2012.....	38
Tableau 13 : Qualité des eaux de la rivière Kwalé après un épisode pluvieux intense - étude rivière - 2012.....	39
Tableau 14 : Qualité des eaux de la rivière Kwalé en saison sèche – étude rivière - 2012.....	40
Tableau 15 : Analyse des sédiments de la rivière Kwalé en aval du village de Kwalé – Asconit Consultant - 2004 .....	43
Tableau 16 : Caractéristiques des analyses de qualité des sédiments de la Kwalé – étude rivière - 2012.....	44

Tableau 17 : Qualité des sédiments de la rivière Kwalé – étude rivière - 2012.....	45
Tableau 18 : Répartition des habitats de la mangrove de Tsoundzou 1 .....	58
Tableau 19 : Répartition des espèces de crabes par familles systématiques .....	65
Tableau 20 : Synthèse des travaux réalisés et calendrier.....	72
Tableau 21 : Vitesses moyennes, minimales et maximales.....	77
Tableau 22 : Synthèse des informations concernant les suivis de drogues.....	78
Tableau 23 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé - résultats des analyses physico-chimiques – saison chaude et pluvieuse (22 février 2012).....	86
Tableau 24 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé - résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques– saison chaude et pluvieuse (23 février 2012).....	87
Tableau 25 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé - résultats des analyses physico-chimiques – saison chaude et pluvieuse (24 février 2012).....	88
Tableau 26 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé - résultats des analyses physico-chimiques – saison froide (24 juillet 2012) .....	89
Tableau 27 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé – suite des résultats des analyses physico- chimiques – saison froide (24 juillet 2012) .....	90
Tableau 28 : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques des eaux lagonaires – Campagne du 24 juillet 2012.....	97
Tableau 29 : Différences des paramètres physico-chimiques des eaux de sub-surface entre la saison chaude et la saison froide (juillet 2012) ; .....	103
Tableau 30 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, les 21 & 24/02/2012 : Variations des stocks sédimentaires depuis l'embouchure (P0) vers les stations les plus éloignées, à 300 m de celle-ci (P31 à P35).....	104
Tableau 31 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, 21 et 24 février 2012 : Modes des 4 cohortes de grains constituant les sédiments, depuis l'embouchure (P0) et les stations les plus éloignées, à 300 m de celle-ci (P31 à P35). .....	105
Tableau 32 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, 21 et 24 février 2012 : teneurs en arénites et lutites, carbone organique (C org.), azote total Kjeldhal (N total) et phosphore total (P total).....	106
Tableau 33 : Teneurs en C org., N total et P total dans les sédiments par le travers de l'embouchure de la Kwalé (extrait d'ASCONIT, 2004).....	106
Tableau 34 : Flux actuel dans la Kwalé au droit de la future station .....	128
Tableau 35 : Charges polluantes en entrée de station – phasage en deux tranches.....	129
Tableau 36 : Niveau de rejet et performance de la STEP.....	129
Tableau 37 : Estimation du flux rejeté par la future STEP en fonction de la filière de traitement.....	129
Tableau 38 : Estimation des concentrations à l'aval du rejet de la STEP – Etiage .....	130
Tableau 39 : Estimation des concentrations à l'aval du rejet de la STEP - Saison humide .....	130
Tableau 40 : Estimation des concentrations à l'aval du rejet de la STEP - Episode pluvieux intense.....	131
Tableau 41 : Rejets annuels en kilos dans le milieu récepteur.....	138
Tableau 42 : Paramètres pour les effluents rejetés à Tsoundzou dans le cours aval de la Kwalé .....	149
Tableau 43 : Paramètres pour les effluents rejetés à Tsoundzou dans le cours aval de la Kwalé .....	149
Tableau 44 : Paramètres pour les effluents rejetés à Tsoundzou dans le cours aval de la Kwalé .....	150
Tableau 45 : Paramètres pour les effluents rejetés à Tsoundzou dans le cours aval de la Kwalé .....	150

## PHOTOS

Photo 1 : Point de rejet envisagé dans la rivière Kwalé.....	5
Photo 2 : Embouchure de la Kwalé.....	21
Photo 3 : Activités humaines dans la rivière Kwalé.....	23
Photo 4 : Station de prélèvement AEP Kwalé bas .....	26
Photo 5 : Faciès lotique type escalier (à gauche) et faciès lentique type plat lent (à droite) sur la Kwalé en mars 2012 .....	27
Photo 6 : La rivière Kwalé sur le secteur médian avec substrats grossiers (à gauche) et sur le secteur aval sous influence maritime avec substrats fins (droite) .....	28
Photo 7 : La rivière Kwalé en saison des pluies à l'étape de basse mer et de pleine mer (en haut) et en saison sèche (en bas) – photographie prise depuis le pont de la RN 2 .....	30
Photo 8 : Stations de prélèvement de gauche à droite : amont (K1), médiane (K2) et aval (K3).....	34

Photo 9 : Station de prélèvement K1 à 0,553 m <sup>3</sup> /s (saison des pluies).....	36
Photo 10 : Station de prélèvement K1 à ≈ 3-4 m <sup>3</sup> /s (après un épisode pluvieux intense).....	36
Photo 11 : Station de prélèvement K1 à 0,032 m <sup>3</sup> /s (saison sèche).....	37
Photo 12 : Inventaires réalisés par le Parc Marin sur le cours aval de la Kwalé – juillet 2012 – BRLi.....	54
Photo 13 : Mangrove de Tzoundzou-Passamainty.....	57
Photo 14 : Principaux habitats de la mangrove de Tzoundzou I - De gauche à droite : secteur de tanne à <i>Avicennia marina</i> épars et mangrove supralittorale à <i>Avicennia marina</i> , Mangrove perhaline interne dense à <i>Avicennia marina</i> et <i>Ceriops tagal</i> .....	61
Photo 15 : <i>Neosarmatium meinerti</i> (à gauche) et <i>Uca vocans</i> (à droite).....	66
Photo 16 : Mangrove perhaline de front de mer à <i>Sonneratia alba</i> dépérissante.....	69
Photo 17 : Coupes de bois près du village de Tzoundzou 1 / Régénération d' <i>Avicennia</i> <i>marina</i> broutée régulièrement par des zébus .....	69
Photo 18 : Exutoires d'eaux pluviales du village de Tzoundzou 1 dans la mangrove.....	70
Photo 19 : Régénération d' <i>Avicennia marina</i> à l'ouest de la mangrove.....	70
Photo 20 : Carottages de sédiments sur l'estran à marée basse de vives-eaux .....	84
Photo 21 : Différents faciès rencontrés – de la gauche vers la droite : Faciès à <i>Acropores</i> <i>digités</i> , Faciès à <i>Porites</i> massif, <i>Ripple mark</i> et granulométrie variée du platier et colonie de <i>Favia stelligira</i> .....	110
Photo 22 : Récif frangeant de Mamoudzou - Genre dominant observé chez les <i>Alcyonaires</i> : <i>Sinularia</i> <i>spp.</i> (à gauche), petites colonies d' <i>Acropores digités</i> envahies par le turf algal (au centre) et anémone ( <i>Heteractis magnifica</i> ) et hydraire ( <i>Macrorhynchia sp.</i> )(à droite).....	111
Photo 23 : Faciès dominants du récif de Passamainty : 1 - Faciès à <i>Acropores digités</i> ( <i>Acropora spp.</i> ) à gauche - 2 : Faciès à <i>Porites</i> massif (du groupe <i>lutea-solida</i> ) au centre -3 : Faciès à <i>Galaxea astreata</i> à droite .....	113
Photo 24 : Substrat meuble – terriers de la faune endogée (à gauche) – tâches de cyanobactéries (au centre) - <i>Ripple mark</i> et granulométrie variée du platier (0 à - 1 CM) (à droite) .....	115
Photo 25 : <i>Phanérogames marines</i> - Espèce la plus abondante : <i>Halophila ovalis</i> (à gauche) - Zone à <i>H. ovalis</i> et <i>Halodule uninervis</i> , cette dernière étant régulièrement épiphytée par des cyanobactéries algales (au centre) - Brins de <i>Halophila stipulacea</i> (à droite).....	115
Photo 26 : Cyanobactéries filamenteuses observées ponctuellement sur le récif de Tzoundzou.....	116
Photo 27 : De gauche à droite : Faciès à <i>Porites cylindrica</i> , Coraux solitaires ( <i>Herpolita sp</i> & <i>Fungia spp.</i> ), <i>Porites submassif</i> ( <i>P. rus</i> ), Colonie de <i>Favia stelligira</i> et <i>Alcyonaire</i> encroutant (cf. <i>Rhystima sp.</i> ).....	117
Photo 28 : Vitalité remarquable (70%) des faciès d' <i>Acropores</i> sur les récifs internes (à gauche), Peuplement de <i>Nephtheidés</i> (coraux mous) au pied des récifs internes (au centre), Colonie de <i>Plerogyra cf. sinuosa</i> (à droite) .....	119
Photo 29 : Secteur d'étude couvert par le modèle hydrodynamique.....	144
Photo 30 : Configuration de l'embouchure de la Kwalé et de son écoulement à travers la mangrove jusqu'au lagon .....	182
Photo 31 : Exemples de tranchées sous pression ou de tunnel d'épandage pour infiltration des eaux traitées.....	191



# 1. Rappel du contexte et des objectifs de l'étude

## 1.1 CONTEXTE GENERAL

La gestion des eaux usées domestiques constitue à Mayotte un problème majeur vis-à-vis des milieux aquatiques et des ressources associées.

La situation de l'assainissement est particulièrement préoccupante. Les dispositifs d'assainissement, lorsqu'ils existent, sont jusqu'à présent essentiellement semi-collectifs ou autonomes : les lotissements et équipements publics sont équipés de mini-stations dont plus d'une centaine sont à l'abandon, les habitations de particuliers possèdent des puisards et des fosses septiques, seules quelques stations sont en état de fonctionner mais sous chargées... Les eaux usées sont ainsi le plus souvent évacuées directement dans les rivières ou le lagon.

Les dispositifs de collecte et de traitement des eaux usées sont donc encore aujourd'hui très largement absents et/ou défaillants sur le territoire et peuvent être à l'origine de réels risques sanitaires pour la population, ainsi que d'une dégradation de la qualité des cours d'eau et du lagon. Les eaux de surface et souterraines en zones urbanisées sont de plus en plus contaminées d'un point de vue microbiologique. Les collecteurs d'eau fluviale, qui collectent aussi certains rejets d'assainissements, autonomes ou autonomes-regroupés, en plus des eaux de ruissellement, sont également contaminés<sup>1</sup>.

Mayotte connaît une explosion démographique qui implique une pression très importante sur des milieux très sensibles comme les sols, les rivières, le lagon et les mangroves (le taux d'accroissement naturel moyen de la population est parmi le plus élevé au monde : +5,7% /an). Le raccordement progressif des populations à l'eau potable générera de plus un accroissement des volumes d'eaux ménagères et eaux usées rejetées sans traitement.

En 2006, le schéma directeur de l'assainissement marque le démarrage d'actions significatives en matière d'assainissement. L'assainissement de Mayotte, en tant que mesures contre la pollution, est devenu une des priorités de la collectivité et s'inscrit dans le XI<sup>e</sup> Contrat de plan et dans la convention de développement économique et social. La mise en place des équipements d'assainissement collectif est en cours mais doit tenir compte de nombreuses contraintes. Le manque de foncier, la fragilité des milieux récepteurs, le coût des équipements, un débit des rivières faible ralentissent la mise en place d'un réseau de traitement des eaux usées sur l'ensemble de l'île.

Suite aux orientations du Schéma directeur d'assainissement de la commune de Mamoudzou<sup>2</sup> et dans le cadre de la planification des investissements liés à l'assainissement de la commune, le SIEAM envisage des travaux d'assainissement pour la partie Sud de la commune de Mamoudzou.

Jusqu'à l'élaboration de la mise à jour du schéma en 2006, la station de Baobab (capacité de traitement de 10 000 habitants) constituait le seul et unique centre d'épuration vers lequel convergeaient les effluents de la commune de Mamoudzou.

Le schéma directeur d'assainissement de 2006 a permis de proposer :

- Un zonage d'assainissement du territoire communal,
- Un scénario de collecte et de traitement.

<sup>1</sup> Schéma d'assainissement - BRLi 2000

<sup>2</sup> dont la première version a été réalisée en 2000 par BRL puis réactualisée

Selon le document de zonage de la commune de Mamoudzou (ENTECH-SEGC, 2006), la totalité du territoire communal est classée en « tout collectif ». Ainsi, le SIEAM souhaite raccorder l'ensemble des villages de la partie Sud de la commune, soit un taux de raccordement de 100%.

Concernant l'architecture de collecte et de traitement, celle-ci a été définie selon deux grandes unités :

- Un pôle d'épuration Nord / Centre : de Majicavo Lamir à la rivière Majimbini de M'tsapéré.  
Pour ce pôle le traitement s'effectue sur la STEP de Baobab étendue en capacité sur le site actuel. La capacité de la station devenant insuffisante (première tranche à 10 000 Habitants), le schéma retient la création d'une deuxième tranche de 30 000 Habitants, puis d'une troisième à 20 000 Habitants pour atteindre une capacité de 60 000 Habitants à terme (échéance 2025).
- Un pôle d'épuration Sud : de la rivière Majimbini de M'tsapéré à Tsoundzou II, en incluant Vahibé. Pour ce pôle, le schéma envisage la création d'une station d'épuration d'une capacité de 60 000 Habitants.

La mise en place de ce scénario a démarré. En effet, pour le pôle Nord/Centre, la station d'épuration de Baobab est actuellement dans sa deuxième tranche de travaux (30 000 Habitants supplémentaires) et les raccordements et extensions du réseau sont en cours.

Les études de définition de l'assainissement des eaux usées de Mamoudzou Sud ont débutées par la réalisation, en mars 2010 par le groupement EGIS Eau et ENTECH Ingénieurs conseils, du diagnostic de la zone et de l'étude de faisabilité (Phase 1). Une étude écologique du site d'implantation de la STEP de Mamoudzou Sud a été également réalisée en mai 2012 par le bureau d'étude ESPACES.

Il convient de noter également qu'une doctrine d'assainissement et un nouveau schéma directeur d'assainissement de Mayotte sont en cours de réalisation.

## 1.2 L'ASSAINISSEMENT SUR LA ZONE DE MAMOUZOU SUD

L'assainissement sur la zone d'étude Mamoudzou Sud est encore très peu développé. Le secteur de Mamoudzou Sud ne dispose pas en effet à ce jour de système d'assainissement collectif. Le traitement des eaux usées sur le secteur est principalement caractérisé par de l'assainissement non-collectif et par du « semi-collectif » pour la plupart en dysfonctionnement. Quelques quartiers sont cependant déjà équipés de réseaux de collecte et de branchements en attendant leur raccordement au réseau collectif à venir<sup>3</sup>.

## 1.3 LE PROJET DE STATION D'EPURATION DE MAMOUZOU SUD

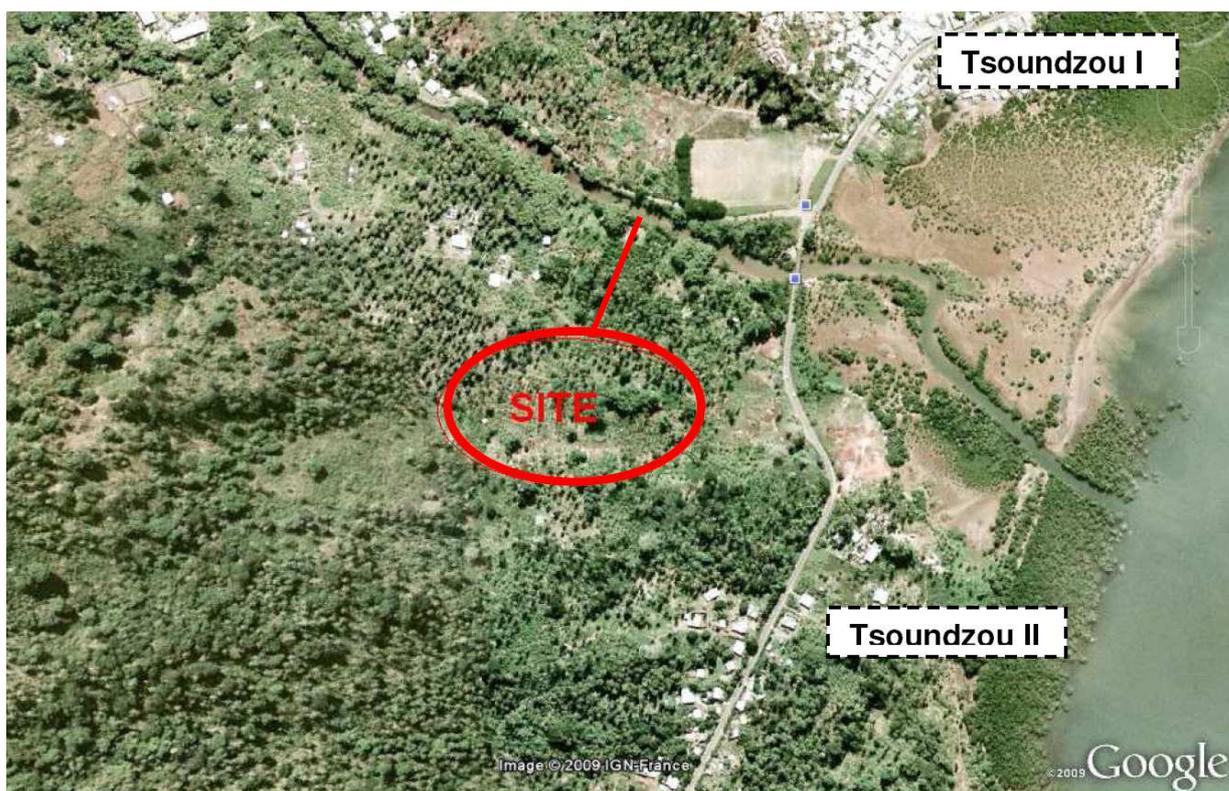
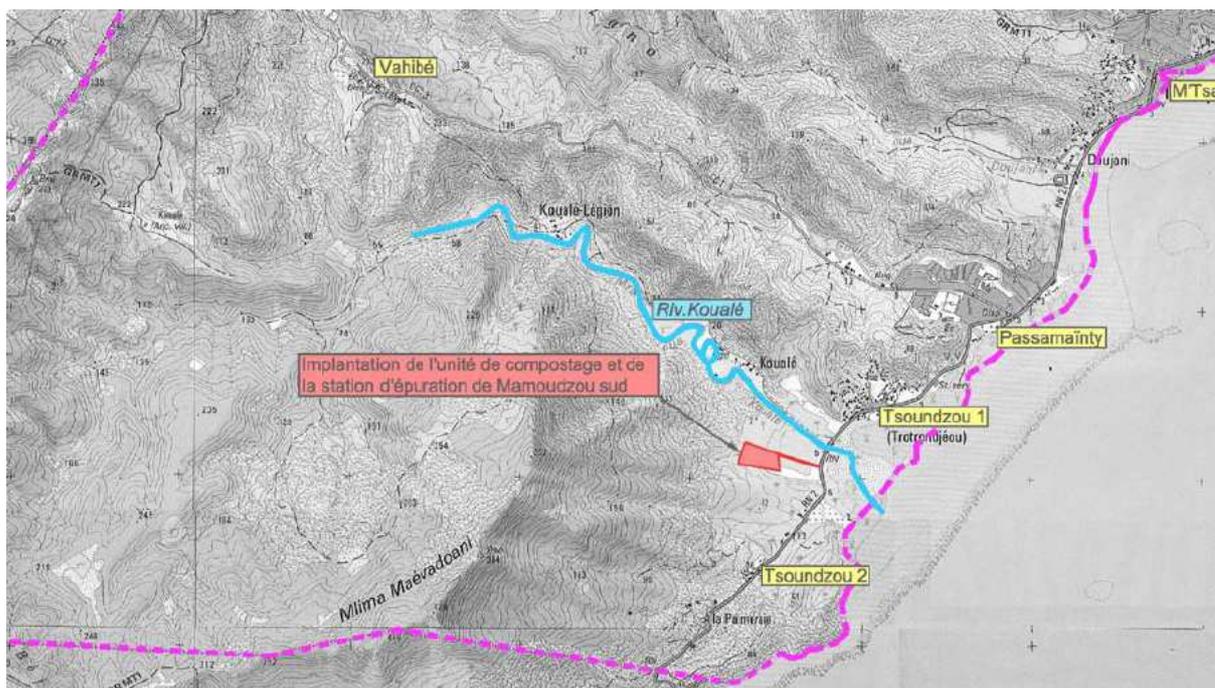
La réalisation d'une station d'épuration de type boues activées faible charge ou de type filière membranaire, d'une capacité de 70 000 habitants, est ainsi prévue pour le traitement des eaux usées du secteur qui s'étend de la rivière M'tsapéré à Tsoundzou 2 en incluant Vahibé.

### 1.3.1 Localisation

Le site proposé pour l'implantation de cette nouvelle STEP est situé sur le village de Tsoundzou II, en fond de vallée de la rivière Kwalé (rive droite) (cf. carte ci-dessous). Le site d'implantation de la future STEP est situé à près de 250 m de la RN2, à 200 m au sud de la rivière Kwalé, à plus de 300 m de la mangrove et à moins de 1000 m des eaux du lagon. Les premières habitations « en dur » sont localisées à environ 100 m au nord de la parcelle.

<sup>3</sup> EGIS Eau-ENTECH Ingénieurs Conseils, mars 2010. Etude de définition de l'assainissement des eaux usées de Mamoudzou Sud – Phase 1 : Diagnostic de la zone et étude de faisabilité.

Figure 1 : Localisation de la future STEP de Mamoudzou Sud et du point de rejet envisagé



## 1.3.2 Caractéristiques de la future station d'épuration

### 1.3.2.1 Villages raccordés

La commune de Mamoudzou est le chef-lieu et la capitale administrative de Mayotte, située au Nord-est de la Grande-Terre. D'une superficie de 41,94 km<sup>2</sup>, elle est composée des villages suivants: Kawéni, Mamoudzou, Kavani, M'tsapéré, Doujani, Vahibé, Passamaïnty, Tsoundzou 1 et Tsoundzou 2. Les villages soulignés (au nombre de 6) sont ceux concernés par la future station d'épuration de Mamoudzou Sud.

La commune compte également quelques îlots d'habitations avec pour la zone Sud : les lieux dits Kwalé et Kwalé Légion. A l'exception de Vahibé situé dans les terres, ces villages sont implantés sur la frange littorale.

La zone appelée « Mamoudzou Sud » s'étend de la rivière Majimbini de M'Tsapéré à Tsoundzou II, en incluant le village de Vahibé.mars

### 1.3.2.2 Capacité de traitement

L'échéance du projet est 2034. Les charges à traiter ont par conséquent été dimensionnées sur la base des estimations de populations à l'horizon 2020 et 2034 dans l'étude de faisabilité de 2010<sup>4</sup>.

Les charges qui ont été considérées dans le dimensionnement de la STEP de Mamoudzou Sud à l'horizon 2034 sont les suivantes :

- La charge liée à la population = 53 000 Habitants ;
- La charge liée aux activités = 3 000 Habitants ;
- ⇒ Soit 56 000 Habitants sur le secteur Sud de la commune.
- Les charges provenant d'un basculement d'une partie des eaux usées de Mamoudzou Nord (M'Tsapéré Nord + Cavani) soit 13 000 Habitants ont également été intégrées.
- ⇒ soit une capacité totale de 69 000 Habitants.

La capacité de traitement proposée pour le secteur de Mamoudzou sud est donc de 70 000 Habitants<sup>5</sup>.

Un phasage en deux tranches identiques de 35 000 Habitants chacune est proposé au regard des résultats des études de l'évolution démographique attendue sur la zone de Mamoudzou<sup>3</sup>.

### 1.3.2.3 Filières de traitements proposées

Le projet comprend la réalisation d'une station d'épuration de type boues activées faible charge suivi d'un traitement tertiaire ou de type membranaire. Ces deux filières ont été retenues au vu de l'ensemble des contraintes locales suivantes :

- Les niveaux de rejet souhaités qui imposent un traitement très poussé compte tenu de la sensibilité du milieu récepteur final et de la possibilité de répondre aux exigences de qualité liées à la réutilisation des eaux épurées,
- Le caractère domestique des effluents,
- La capacité nominale de l'installation,
- La fiabilité du processus épuratoire,

<sup>4</sup> EGIS Eau-ENTECH Ingénieurs Conseils, mars 2010. Etude de définition de l'assainissement des eaux usées de Mamoudzou Sud – Phase 1 : Diagnostic de la zone et étude de faisabilité.

<sup>5</sup> A noter que cette capacité est supérieure de 10 000 Habitants à celle proposée dans le schéma directeur de la commune (2006), qui prévoyait une station d'épuration de 60 000 Habitants.

- L'emprise nécessaire en rapport avec les superficies aménageables.

La solution 1 envisagée est donc le procédé de type boues activées suivi d'un traitement tertiaire qui comprend notamment un traitement biologique composé d'une zone anaérobie et d'une zone d'aération et dégazage, un procédé de clarification des eaux ainsi qu'un traitement tertiaire de désinfection.

La filière N°2 proposée est de type bioréacteur à membranes immergées dans un carter (ou une cassette) placé à l'extérieur du bioréacteur.

Pour les deux solutions la mise en place d'un bassin tampon vers lesquels seront redirigés les effluents en sortie de station est envisagé. Ce bassin en béton permettra de stocker les effluents avant leur rejet en rivière et/ou avant leur intégration dans un éventuel réseau d'irrigation (si mise en place de celui-ci). Le dimensionnement du bassin a été réalisé en prenant en compte un débit journalier de 14 000 m<sup>3</sup>/j correspondant à 16h de débit moyen temps sec et 8h de débit de pointe temps de pluie.

L'ensemble de ces procédés est décrit en détail dans l'étude de faisabilité de ENTECH de 2010.

**Les deux procédés épuratoires seront étudiés dans le cadre de la présente étude de milieu afin de valider d'un point de vue environnemental la solution préférentielle de traitement.**

#### 1.3.2.4 Point de rejet envisagé

Le rejet est initialement envisagé au droit de la STEP dans la rivière, en dehors du domaine public maritime (en amont de la zone des Pas géométriques) (cf. carte précédente)

*Photo 1 : Point de rejet envisagé dans la rivière Kwalé*



Source : SIEAM

## 1.4 OBJET DE LA PRESTATION

La mise en place d'un nouveau système de collecte des eaux usées et d'une station d'épuration doit tenir compte des sensibilités liées au milieu naturel. Une attention toute particulière doit donc être donnée à la localisation des rejets et au niveau de qualité de rejet des effluents traités au vu des caractéristiques du milieu récepteur.

Selon les conclusions de l'étude du contexte environnemental réalisée au sein de l'étude de faisabilité en mars 2010<sup>6</sup>, les sensibilités communales à prendre en compte dans le projet d'assainissement sont les suivantes :

- La mangrove, en tant que milieu naturel remarquable principalement au niveau de Tsoundzou 1 et 2 et Kawéni ;
- Le lagon en tant qu'espace naturel remarquable et milieu récepteur final des eaux épurées ;
- L'alimentation en eau potable (zones sensibles sur la Kwalé et la Gouloué) ;
- Les usages domestiques liés à l'eau des rivières de façon générale (lessives, hygiène...).

Figure 2 : Carte des sensibilités communales



Sources : Plan de Gestion du Lagon de Mayotte 2002 et PADD projet 2004.

BRLi a par conséquent été chargé par le SIEAM (Syndicat Intercommunal d'Eau et d'Assainissement de Mayotte) d'étudier de manière approfondie les milieux récepteurs de la future station de Mamoudzou Sud (rivière Kwalé, mangrove et lagon) dans le but d'orienter la définition du point de rejet, les modalités de rejet et le niveau de traitement requis au regard des sensibilités environnementales locales. Le terme environnemental est à considérer ici au sens large et intègre aussi bien les aspects écologiques que les contraintes associées aux usages des milieux.

Cette étude intervient en complément de l'étude de faisabilité du projet de STEP de Mamoudzou Sud réalisée par ENTECH en 2010 et doit permettre de préciser les modalités préférentielles de rejet. Elle a plus précisément pour objectifs :

- de déterminer les contraintes du milieu récepteur et les objectifs de conservation eu égard aux usages et enjeux écologiques;
- de déterminer la faisabilité d'un rejet dans la rivière Kwalé ;
- d'orienter la définition du point de rejet et les modalités de rejet et le niveau de traitement afin que ce dernier soit acceptable pour le milieu et compatible avec les enjeux réglementaires et environnementaux et les usages du site ;
- d'évaluer l'impact du rejet sur le milieu récepteur ;
- de proposer les mesures compensatoires à mettre en œuvre pour que le rejet soit acceptable.

<sup>6</sup> EGIS Eau-ENTECH Ingénieurs Conseils, mars 2010. Etude de définition de l'assainissement des eaux usées de Mamoudzou Sud – Phase 1 : Diagnostic de la zone et étude de faisabilité.

Le présent rapport a été réalisé par le bureau d'étude BRL ingénierie sur la base d'études bibliographiques, de la réalisation de campagnes de terrains ainsi que des contributions des prestataires spécialisés sollicités dans le cadre de cette étude en particulier pour les expertises du milieu marin et de la mangrove (cf. paragraphe 2.2).

## 2. Prestations réalisées et équipes mobilisées

### 2.1 APPROCHE GENERALE

En première approche, il convient d'envisager la possibilité d'un rejet des eaux traitées de la future STEP de Mamoudzou Sud dans la rivière au droit de la station d'épuration. Cette hypothèse est en effet à privilégier par rapport à un rejet par émissaire en mer, compte tenu de son plus grande facilité et plus faible coût de mise en œuvre et au regard des orientations des documents cadres sur l'eau.

L'étude se décompose en 6 prestations différentes :

- Etude de la rivière Kwalé :
  - ▶ Usages de la rivière
  - ▶ Hydromorphologie et hydrologie
  - ▶ Qualité des eaux et des sédiments
  - ▶ Hydrobiologie
- Etude de la mangrove de Tzoundzou 1 :
  - ▶ Caractérisation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux et sédiments
  - ▶ Etat de santé de la végétation
  - ▶ Caractérisation de la faune (avifaune et crabe)
  - ▶ Impacts attendus et mesures proposées
- Etude du milieu marin
  - ▶ Etude bathymétrique et courantologique
  - ▶ Caractérisation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux et des sédiments marins
  - ▶ Caractérisation de la matière vivante du lagon
- Modélisations de la dispersion du panache relatif au rejet d'effluents en rivière

### 2.2 EQUIPES MOBILISEES

BRLi a mobilisé en interne des ingénieurs ayant des compétences dans les différentes thématiques abordées dans le cadre de la prestation : environnement, milieu littoral, hydrobiologie, hydromorphologie, assainissement (cf. tableau ci-dessous).

BRLi s'est de plus associé à différents partenaires locaux ou ayant une très bonne connaissance du territoire de Mayotte afin d'assurer les prestations dans les domaines spécifiques suivants : expertise milieu marin (physique et biologique), étude mangrove et modélisation de la dispersion du panache d'effluents.

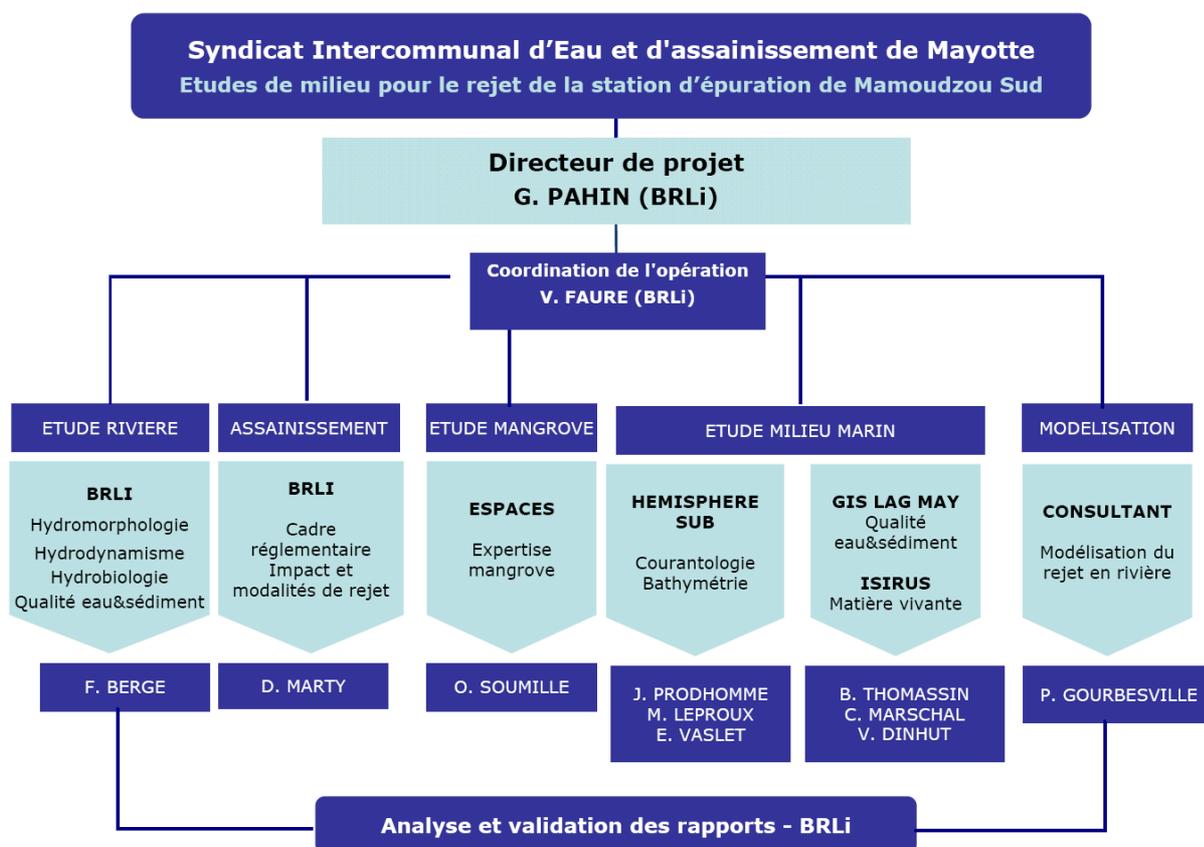
L'ensemble des équipes mobilisées est présenté dans le tableau suivant. L'organisation et la répartition des tâches sont précisées dans l'organigramme ci-après.

Tableau 1 : Liste des intervenants mobilisés

Intervenants	Qualification	Tâches
<b>BRLI – Ingénierie de l'eau et de l'environnement</b>		
<b>Gilles PAHIN</b>	Directeur de projet – Environnement	Directeur de projet Direction de l'étude et coordination de l'équipe Orientation et contrôle/validation de la qualité de la production
<b>Valérie FAURE</b>	Ingénieur Environnement Chargée d'étude <i>Evaluation environnementale et milieu marin</i>	Chef de projet Suivi et coordination des prestations Analyse et rédaction du rapport global Relation privilégiée avec le Client
<b>Frédéric BERGE</b>	Ingénieur Hydrobiologiste <i>Spécialiste du fonctionnement des hydrosystèmes d'eaux douces</i>	Expert hydrobiologiste Etude rivière : Hydromorphologie Hydrodynamisme et hydrobiologie du cours d'eau
<b>Delphine MARTY</b>	Ingénieur Hydraulique urbaine <i>Spécialiste des ouvrages d'assainissements</i>	Expert assainissement Expertise du projet d'assainissement
<b>Julien FOURNIER</b>	Géographe et cartographe <i>Spécialiste en gestion BDD et SIG</i>	Cartographie
<b>ESPACES - Ingénierie de l'Environnement - Mayotte</b>		
<b>Olivier SOUMILLE</b>	Fondateur et Gérant d'ESPACES <i>Etudes scientifiques et diagnostics sur les milieux naturels et en particulier les mangroves de l'île</i>	Etude de la mangrove
<b>ISIRUS – Expertise environnementale - Mayotte</b>		
<b>Vincent DINHUT</b>	Consultant en environnement marin	Etude de la matière vivante du lagon
<b>HEMISPHERE SUB - Spécialiste en océanographie et environnement</b>		
<b>Johan PRODHOMME</b>	Directeur	Direction générale de la société
<b>Magali LEPROUX</b>	Ingénieur d'étude	En charge d'études & de projets Coordination de la partie mesures physiques en mer et prélèvements Cartographie
<b>Emilie VASLET</b>	Technicienne en ATD + Master en géosciences	Acquisition et traitement des données Construction des cartes Prélèvements

Intervenants	Qualification	Tâches
<b>GIS LAG MAY - Groupement d'Intérêt Scientifique « Environnement marin et littoral de l'île de Mayotte »</b>		
<b>Bernard THOMASSIN</b>	Océanographe biologiste et écologiste <i>Milieux côtiers notamment tropicaux</i>	Pilotage et coordination des campagnes d'analyses de la qualité du milieu marin et rédaction du rapport d'analyse associé
<b>Christian MARSHAL</b>	Assistant Ingénieur CNRS <i>Mesures en mer et analyses</i>	Campagnes de mesures du milieu marin
<b>Consultant Université de Nice</b>		
<b>Philippe BOURGESVILLE</b>	Directeur de Polytech'Nice-Sophia et Professeur des Universités – Université de Nice - Sophia Antipolis & Polytech'Nice - Sophia. <i>Modélisation numérique</i>	Modélisation du panache relatif aux rejets de la STEP en rivière

## 2.3 ORGANIGRAMME



## 2.4 PLANNING

- L'étude s'est déroulée à compter du mois de décembre 2011 et ce sur une période de un an, conformément au cahier des charges. Les campagnes de terrain de saison chaude ont été réalisées en février et mars 2012 et les campagnes de saison froide en juillet-août 2012.
- Les dates de campagnes ont été adaptées au cours de l'étude afin de prendre en compte les contraintes de terrain et notamment les coefficients de marées, les caractéristiques météorologiques (l'année 2012 présentant une saison des pluies tardive et longue), la disponibilité des données (courants et bathymétrie...)...

## 3. Contexte réglementaire

Le projet de station d'épuration de Mamoudzou Sud doit répondre aux exigences réglementaires du domaine de l'environnement. Le contexte réglementaire général applicable au territoire de Mayotte puis celui plus spécifiquement lié à l'assainissement sont par conséquent rappelés ci-après ainsi que les exigences qui en découlent pour la mise en œuvre du projet.

### 3.1 UN CONTEXTE INSTITUTIONNEL EN PLEINE EVOLUTION

Le cadre légal et réglementaire applicable à Mayotte a fortement évolué ces dernières années.

#### 3.1.1 Un nouveau statut de DOM

En effet, après l'approbation de la départementalisation de Mayotte (référendum du 29 mars 2009), son statut a évolué en 2011 de « collectivité départementale » de l'article 74 de la Constitution à celui de Département et Région d'Outre-mer. Mayotte est ainsi, depuis le 31 mars 2011 (date de renouvellement du Conseil général), le 101<sup>e</sup> département français et le 5<sup>ème</sup> département de la Région d'Outre-mer de France. Elle a désormais un statut de collectivité unique de l'article 73 exerçant les compétences des départements et régions d'outre-mer, la même assemblée exerçant les compétences du conseil général et celles du conseil régional.

#### 3.1.2 Le statut de région ultrapériphérique de l'Union européenne

Enfin, les Etats membres de l'Union européenne ont adopté le 11 juillet 2012 l'accession de Mayotte au statut de région ultrapériphérique (RUP) de l'Union européenne à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2014.

En sa qualité de RUP, Mayotte pourra alors bénéficier des fonds structurels de l'union européenne, notamment le Fonds européen de développement régional (FEDER) et les fonds social européen (FSE). Ce statut permettra d'accroître le développement économique de l'île et, via les fonds européens, de financer notamment les grands travaux d'infrastructures nécessaires.

En contrepartie, la législation et droit communautaire sera appliqué, à l'exception de certains aspects liés au statut et spécificités du territoire qui seront discutés par les autorités européennes dans les prochains mois<sup>7</sup>. Les RUP bénéficient en effet d'une approche différenciée des politiques de l'Union (article 349 du traité de fonctionnement de l'Union européenne), et donc de subventions et d'instruments de financement spécifiques de l'Union, compte tenu des caractéristiques de ces RUP (éloignement du continent européen, insularité, faible superficie, relief et climat difficiles, dépendance économique vis-à-vis d'un faible nombre de produits...).

## 3.2 REGLEMENTATION APPLICABLE : LE DROIT COMMUN

### 3.2.1 Législation et droit commun

En application de l'Article 72-3 de la Constitution de la Cinquième République française, Mayotte, département et région d'outre-mer, est régi par l'article 73 de la Constitution. Le régime d'identité législative de cet article 73 implique que « *dans les départements et région d'outre-mer, les lois et règlements sont applicables de plein droit...* ».

Le droit commun de l'environnement codifié dans le code de l'environnement est donc applicable à Mayotte. Tous les articles sont applicables sans modification, sauf quelques uns qui nécessitent une adaptation le plus souvent d'ordre terminologique. Il en résulte que de nombreux textes, transcrivant en droit national des directives européennes, se trouvent être applicables à Mayotte alors que le contexte est très différent de celui prévalant en métropole, d'où des difficultés certaines (par exemple échéance 2015 pour la DCE, mise en œuvre de la transposition en droit national de la directive eaux résiduaires urbaines...).

Si l'article 73 de la constitution prévoit une application du droit commun dans les départements et région d'outre-mer, il préserve en effet les possibilités d'adaptations au contexte local. Ainsi il prévoit que « *certaines textes peuvent néanmoins faire l'objet **d'adaptations tenant compte des caractéristiques et contraintes particulières** de ces collectivités* ».

Ces adaptations peuvent être mises en place par les collectivités elles-mêmes dans les matières où elles sont compétentes ; cette auto-adaptation est toutefois subordonnée à une habilitation législative préalable. En outre, les collectivités régies par l'article 73 peuvent, « *pour tenir compte de leurs spécificités* », être habilitées par le législateur à fixer elles-mêmes les règles applicables sur leur territoire, sauf dans certaines matières (nationalité, droits civiques, garanties des libertés publiques, état et capacité des personnes, organisation de la justice, droit pénal, procédure pénale, politique étrangère, défense, sécurité et ordre publics, monnaie, droit électoral).

De plus, Mayotte aura sous peu (2014) un statut de RUP et le droit communautaire y sera à ce titre également applicable car les RUP font partie du territoire de l'Union. L'Union européenne devrait toutefois reconnaître la encore la nécessité d'adapter les politiques communautaires aux réalités et contraintes de Mayotte. Les RUP peuvent en effet bénéficier de mesures spécifiques en leur faveur, en raison de leur caractère ultrapériphérique par rapport à l'Union et de leurs contraintes propres, qui constituent un handicap pour leur développement économique et social. Le traité instituant la Communauté européenne permet ainsi de tenir compte « des caractéristiques et contraintes particulières des RUP sans nuire à l'intégrité et à la cohérence de l'ordre juridique communautaire ».

**Les réglementations métropolitaine et européenne sont donc applicables à Mayotte.**

<sup>7</sup> <http://www.ndjema.com/ads/mayotte-rup-infos/>

## 3.2.2 Principales législations relatives à l'assainissement

### 3.2.2.1 Principaux textes

La réglementation française sur l'assainissement est principalement régie par les textes suivants :

■ La **Directive Cadre sur l'eau 2000/60/CE (DCE)** du 23 octobre 2000 qui constitue le cadre réglementaire de la politique communautaire de l'eau, impose des objectifs environnementaux. La déclinaison française de cette directive est la Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques (loi LEMA).

Elle fixe un objectif clair et ambitieux : atteindre le bon état des eaux souterraines, superficielles et côtières en Europe en 2015 (sauf dérogations). Ce bon état est défini par des paramètres écologiques, chimiques et quantitatifs et s'accompagne :

- ▶ d'une réduction ou d'une suppression des rejets de certaines substances classées comme dangereuses ou dangereuses prioritaires ;
- ▶ d'absence de dégradation supplémentaire pour les eaux de surface et les eaux souterraines ;
- ▶ du respect des objectifs dans les zones protégées (zones où s'appliquent déjà des textes communautaires dans le domaine de l'eau).

La Directive Cadre sur l'eau instaure dans ses fondements le principe de non détérioration des milieux aquatiques et le principe de correction des atteintes à l'environnement par des actions prioritairement à la source des dommages. Elle inscrit ainsi des objectifs du traitement des eaux usées dans la perspective d'un retour à des situations de « référence » des milieux récepteurs aquatiques « très peu anthropisés » (et qui restent à définir) et dans l'optique de traitements ultérieurs minimaux pour une réutilisation (le cas de la production d'eau potable est le plus nettement exprimé dans ce sens).

Cette directive européenne sur la protection de l'environnement fixe notamment des normes de rejet dans le milieu naturel, et recommande un rendement épuratoire minimum de 70% avant rejet en milieu naturel (sol ou rivière). Les niveaux de traitement requis sont fixés en fonction de la taille des agglomérations d'assainissement et de la sensibilité du milieu récepteur du rejet final.

■ Ces obligations sont actuellement inscrites dans le code général des collectivités territoriales (articles R.2224-6 et R.2224-10 à R.2224-17 relatifs à la collecte et au traitement des eaux usées) et **l'arrêté du 22 juin 2007** relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux dispositions d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 120 kg/j de DBO<sub>5</sub>.

L'arrêté du 22 juin 2007 regroupe l'ensemble des prescriptions techniques applicables aux ouvrages d'assainissement (conception, dimensionnement, exploitation, performances épuratoires, auto-surveillance, contrôle par les services de l'Etat) ; il concerne tous les réseaux d'assainissement collectifs et les stations d'épuration des agglomérations d'assainissement ainsi que tous les dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge supérieure à 120 kg/j de DBO<sub>5</sub> (cf. arrêté en annexe 1).

Cet arrêté impose en particulier des exigences en termes de règles de conception (article 9), de modalités de rejets notamment en rivière (article 10), d'implantation des stations d'épuration (article 13), de performances du traitement (article 15) mais aussi de surveillance de l'influence des rejets sur le milieu récepteur (article 20)... La **circulaire du 15 février 2008** est relative aux instructions pour l'application de l'arrêté interministériel du 22 juin 2007.

L'article 10 de l'arrêté du 22 juin 2007, fournit les éléments suivants :

« Les dispositifs de rejet en rivière des effluents traités ne doivent pas faire obstacle à l'écoulement des eaux, ces rejets doivent être effectués dans le lit mineur du cours d'eau, à l'exception de ses bras morts. Les rejets effectués sur le domaine public maritime doivent l'être au-dessous de la laisse de basse mer. Toutes les dispositions doivent être prises pour limiter l'érosion de fond ou des berges, assurer le curage des dépôts et limiter leur formation ».

### 3.2.2.2 Performances minimales de la station

L'application de la réglementation européenne et nationale en vigueur impose un certain nombre d'exigences vis-à-vis du projet de STEP.

La STEP de Mamoudzou Sud dimensionnée à terme pour traiter 70 000 habitants, devrait rejeter les effluents traités dans la rivière Kwalé un peu en amont de son embouchure dans la mangrove. Ce secteur, ainsi que la mangrove toute proche, n'est pas considéré comme zone sensible. Aucun traitement de l'azote et du phosphore n'est par conséquent exigé par la réglementation en vigueur.

Compte tenu de la capacité élevée de la station et des données existantes sur la qualité du milieu (SDAGE, étude sur l'usage des lessives à Mayotte), un traitement de l'azote et du phosphore a cependant été préconisé dès l'étude de faisabilité (ENTECH, 2010).

Les charges polluantes attendues en entrée de station pour les deux tranches de 35 000 habitants et de 70 000 habitants sont précisées dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Charges polluantes en entrée de station

Charges de pollution en entrée de STEP	35 000 habitants	70 000 habitants	Charge polluante par habitant à Mahorais g/j
DCO (kg/j)	1 575	3 150	45
DBO <sub>5</sub> (kg/j)	3 500	7 000	100
MES (kg/j)	2 100	4 200	60
NGL (kg/j)	350	700	10
PT (kg/j)	35	70	1

Les normes de rejet sont définies par l'arrêté du 22 juin 2007 pour les ouvrages recevant une charge polluante brute de plus de 120 kg/j de DBO<sub>5</sub> (ce qui est le cas pour la future station de Mamoudzou Sud qui recevra une charge polluante de DBO<sub>5</sub> de 3500 à 7000 kg/j respectivement pour des capacités de 35 000 et 70 000 habitants). Les échantillons moyens devront respecter les valeurs de concentration ou de rendement fixées dans les tableaux suivants.

Tableau 3 : Performances minimales des stations devant traiter une charge brute de pollution organique de plus de 120 kg DBO<sub>5</sub>/jour

Paramètre	Charge brute de pollution organique reçue (kg/j de DBO <sub>5</sub> )	Concentration maximale à ne pas dépasser	Rendement minimum à atteindre	Concentration rédhibitoire
DBO <sub>5</sub>	> 120 et ≤ 600 > 600	25 mg/l	70% 80%	50 mg/l
DCO	Toutes charges	125 mg/l	75%	250 mg/l
MES	Toutes charges	35 mg/l *	90%	85 mg/l
NGL (en zone sensible)	> 600 et ≤ 6000 > 6000	15 mg/l 10 mg/l	70%	-
Pt (en zone sensible)	> 600 et ≤ 6000 > 6000	2 mg/l 1 mg/l	80%	-

\* 150 mg/l pour les rejets issus de lagunage

### 3.2.2.3 Exigences associées aux usages

Un certain nombre d'exigence en termes de qualité notamment bactériologique des eaux découlent des usages du milieu récepteur ou encore du devenir des eaux usées (réutilisation éventuelle pour l'irrigation). Les usages les plus contraignants sont l'alimentation en eau potable, la production halieutique, la baignade ou encore la réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation de cultures.

Les usages répertoriés au niveau de la rivière Kwalé et de son embouchure sont précisés au paragraphe 5.1.1.2 du présent document. Les principaux usages de la rivière recensés sont : les lessives, baignades et jeux aquatiques, lavages des véhicules, usage AEP (en amont du point de rejet), toilette corporelle, nettoyage des produits de la pêche et du marché local, futur rejet de la STEP Tsoundzou I...

**Le point de rejet envisagé est situé en aval des sites de captage AEP. Des activités de baignade et de jeux aquatiques sont en revanches observées à proximité de l'embouchure. Les normes de qualité en vigueur pour les eaux de baignade devront donc être respectées.**

#### QUALITE DES EAUX DE BAIGNADE

- Directive 2006/7/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 février 2006 concernant la gestion de la qualité des eaux de baignade et abrogeant la directive 76/160/CEE du 8 décembre 1975 – Eaux côtières et de transition

Le point de rejet envisagé se situe dans une zone de la rivière non loin de l'embouchure en mer et donc soumise à une forte influence des marées. Les normes pour les eaux côtières et de transitions sont donc applicables.

Les contraintes en termes de qualité bactériologique des eaux de baignade sont les suivantes :

Tableau 4 : Classement des eaux de baignades (selon l'annexe I de la nouvelle directive 2006/7/CE)

Pour les eaux cotières et les eaux de transition (eaux de mer)

Paramètre	Excellente qualité	Bonne qualité	Qualité suffisante	Méthodes de référence pour l'analyse
1 Entérocoques intestinaux (UFC/100ml)	100 *	200 *	185 **	ISO 7899-1 ou ISO 7899-2
2 <i>Escherichia coli</i> (UFC/100ml)	250 *	500 *	500 **	ISO 9308-3 ou ISO 9308-1

\* Evaluation au 95<sup>e</sup> percentile.

\*\* Evaluation au 90<sup>e</sup> percentile.

Entérocoques intestinaux					
E s c h e r i c h i a  c o l i		Percentile 95 < 100	100 < Percentile 95 < 200	Percentile 95 > 200 et Percentile 90 < 500	Percentile 90 > 500
	Percentile 95 < 250	Excellente	Bonne	Suffisante	Insuffisante
	250 < Percentile 95 < 500	Bonne	Bonne	Suffisante	Insuffisante
	Percentile 95 > 500 et percentile 90 < 500	Suffisante	Suffisante	Suffisante	Insuffisante
	Percentile 90 > 500	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante

Pour les projets de STEP, la qualité bactériologique est généralement suivie au vu des concentrations en *Escherichia coli*.

- Le Décret n° 2008-990 du 18 septembre 2008 impose des exigences de gestion de la qualité des eaux de baignade et des piscines

Tableau 5 : Normes de qualité des eaux de baignade et des piscines (décret n°2008-990 du 18/09/2008)

Paramètre	Normes guides	Normes impératives
Coliformes totaux (/100 ml)	500	10 000
Coliformes fécaux (/100 ml)	100	2 000
Streptocoques fécaux (/100 ml)	100	/
Salmonelles (/1 l)	/	0
Entérovirus (/10 l)	/	0

Le nombre guide caractérise une bonne qualité pour la baignade vers laquelle il faut tendre. Le nombre impératif constitue la limite supérieure au-delà de laquelle la baignade est considérée de mauvaise qualité.

### CONCERNANT LA REUTILISATION DES EAUX TRAITEES ISSUES DE STATIONS DE TRAITEMENT

La possibilité de réutilisation des eaux traitées par la nouvelle STEP est une solution qu'il convient d'explorer, bien que non privilégiée pour le moment par rapport à un rejet dans les eaux superficielles, afin de minimiser l'impact sur la rivière et le lagon. Le SDAGE préconise d'ailleurs d'étudier la faisabilité d'un recyclage des eaux usées dans la conception des projets de STEP de plus de 2000 EH.

Les pratiques agricoles à Mayotte sont cependant essentiellement des cultures vivrières ne nécessitant pas de pratiques d'irrigation intensive. Les cultures situées dans le bassin concerné par la STEP bénéficient de plus de la proximité de la Kwalé (prélèvements généralement directement en rivière) ainsi que de la présence d'une nappe souterraine peu profonde (présence de puits)<sup>8</sup>. Les besoins en eau ne seraient donc à priori pas une contrainte majeure sur le secteur de la Kwalé.

En l'absence de recensement précis des pratiques agricoles, il est cependant difficile d'évaluer les besoins en eau associés. Une connaissance des besoins en eau liés à l'agriculture sur le secteur serait nécessaire pour déterminer si la solution de réutilisation des eaux traitées est pertinente ou non dans le contexte local au vu des réels besoins de l'agriculture, des exigences de qualité requises et des aménagements à mettre en place (réseau d'irrigation).

Une telle solution de réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation pourra éventuellement être envisagée dans le futur notamment quand le schéma directeur hydraulique agricole sera disponible.

Cette solution impose des normes de qualité des eaux très exigeantes en particulier pour l'irrigation des cultures maraichères (niveau de qualité A), qui imposerait la mise en place de traitement de pointe avant réutilisation. Les textes réglementaires en vigueur sont les suivants :

- **Arrêté du 2 août 2010** relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (JO n°0201 du 31 août 2010).
- Un projet d'arrêté qui abrogerait l'arrêté du 2 août 2010 est actuellement en cours de rédaction et devrait sortir début 2013, il modifierait la procédure de suivi des paramètres analytiques et encadrerait davantage les usages.

Les eaux usées épurées des STEP dont la charge brute de pollution organique est supérieure à 1,2kg de DBO<sub>5</sub> par jour sont concernées par l'arrêté. Ce seuil correspondant à 20 équivalents-habitants, l'ensemble des STEP, y compris de petites installations de lagunage, sont potentiellement concernées.

<sup>8</sup> ENTECH. 2010. Etude de définition de l'assainissement des eaux usées de Mamoudzou Sud. Phase 1 : Diagnostic de la zone et étude de faisabilité.

Cet arrêté (joint en annexe 1) fixe les prescriptions sanitaires et techniques applicables à l'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation de cultures ou d'espaces verts. Ces dispositions visent à garantir la protection de la santé publique, de la santé animale et de l'environnement ainsi que la sécurité sanitaire des productions agricoles.

L'application des réglementations générales ou particulières concernant la protection des ressources en eau, l'irrigation de cultures ou d'espaces verts par des eaux usées traitées doit respecter, en fonction du niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées tel que défini en annexe I, les contraintes d'usage (maraîchage, grandes cultures, prairies, golfs, forêts...), de distance et de terrain définies en annexe II.

Les différentes qualités des eaux usées, définies dans l'annexe I de cet arrêté, sont les suivantes :

*Tableau 6 : Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées*

PARAMÈTRES	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/l)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/l)	< 60			
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-

*Les eaux usées traitées sont classées dans le niveau de qualité qui correspond au classement du paramètre le plus défavorable.*

*Pour les stations d'épuration dont la qualité des eaux usées traitées varie dans l'année, il convient de prendre en compte les résultats d'analyses relatives au dénombrement d'*Escherichia coli* précédant la campagne d'irrigation.*

*Les abattements sont mesurés entre l'eau entrant dans la station d'épuration et l'eau usée traitée sortant de la station d'épuration ou de la filière de traitement complémentaire, le cas échéant.*

Tableau 7 : Contraintes d'usage

TYPE D'USAGE	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Cultures maraîchères, fruitières et légumières non transformées par un traitement thermique industriel adapté	+	-	-	-
Cultures maraîchères, fruitières, légumières transformées par un traitement thermique industriel adapté	+	+	-	-
Pâturage	+	+ (1)	-	-
Espaces verts et forêts ouverts au public (notamment golfs)	+ (2)	-	-	-
Fleurs vendues coupées	+	+	-	-
Autres cultures florales	+	+	+ (3)	-
Pépinières et arbustes	+	+	+ (3)	-
Fourrage frais	+	+ (1)	-	-
Autres cultures céréalières et fourragères	+	+	+ (3)	-
Arboriculture fruitière	+	+	+ (3)	-
Forêt d'exploitation avec accès contrôlé du public	+	+	+ (3)	+ (3)

+ : autorisée, - : interdite.  
 (1) Sous réserve du respect d'un délai après irrigation de dix jours en l'absence d'abattoir relié à la station d'épuration et de vingt et un jours dans le cas contraire.  
 (2) Irrigation en dehors des heures d'ouverture au public.  
 (3) Uniquement par irrigation localisée, telle que définie à l'article 2.

En annexe II sont présentées les contraintes de distance et de terrain associées :

■ Contraintes de distance

Les distances minimales à respecter (en mètres) entre l'irrigation par des eaux usées traitées et les activités à protéger figurent dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Contraintes de distance

NATURE DES ACTIVITÉS À PROTÉGER	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES		
	A	B	C ET D
Plan d'eau (1)	20 m	50 m	100 m
Bassin aquacole (à l'exception des coquillages filtreurs) Pisciculture y compris pêche de loisir	20 m	50 m	100 m
Conchyliculture Pêche à pied des coquillages filtreurs	50 m	200 m	300 m
Baignades et activités nautiques	50 m	100 m	200 m
Abreuvement du bétail	50 m	100 m	200 m

(1) A l'exception du plan d'eau servant d'exutoire au rejet de la station d'épuration et des plans d'eau privés où l'accès est réglementé et où aucune activité telle que baignade, sport nautique et aquatique, pêche ou abreuvement du bétail n'est pratiquée.

### ■ Contraintes de terrain

Dans le cas d'un terrain dont la pente est supérieure à 7 %, seule l'irrigation localisée, telle que définie à l'article 2, est autorisée.

L'irrigation par des eaux usées traitées de terrains saturés en eau est interdite de manière à éviter tout ruissellement d'eaux usées traitées hors du site.

En milieu karstique, l'irrigation n'est possible qu'avec des eaux de qualité A et B et seulement sur des terrains comportant un sol épais avec un couvert végétal. En outre, si la pente de ces terrains excède 3 %, l'irrigation doit être localisée.

Tableau 9 : Fréquence de surveillance

USAGE REQUÉRANT A MINIMA (1) une eau de qualité sanitaire	FRÉQUENCE D'ANALYSES	VALEUR LIMITE À RESPECTER en <i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)
A	1 par semaine	≤ 250
B	1 tous les 15 jours	≤ 10 000
C et D	1 par mois	≤ 100 000

(1) Selon le tableau de l'annexe I.

## 3.3 LES DOCUMENTS D'ORIENTATIONS

### 3.3.1 Les orientations du P.A.D.D.

Le Plan d'Aménagement et de Développement Durable de Mayotte (PADD) représente un document politique exprimant le projet de la collectivité locale en matière de développement économique et social, d'environnement et d'urbanisme. Le PADD est un outil essentiel au développement de l'île et des communes. Il a été adopté par le Conseil Général en février 2008, et donne des prescriptions de développement à l'échéance 2017.

Dans le cadre des priorités pour la mise en œuvre des politiques d'adduction en eau potable et en assainissement, le PADD prévoit :

- Le raccordement prioritaire au système d'assainissement collectif des zones urbanisées existantes qui sont raccordées au réseau d'adduction d'eau potable (lorsque celui-ci est techniquement possible à un coût raisonnable)
- La préservation de la qualité des eaux en amont des captages situés sur les bassins versants de la Kwalé et de la Gouloué. « Le village de Vahibé doit être équipé d'un système d'assainissement collectif raccordé au réseau de Mamoudzou » ;

« Cela signifie que seules sont autorisées les zones d'extension urbaines ne rejetant aucun effluent sur les bassins versants de la Gouloué et de la Kwalé, en amont des points de captages ».

- Concernant les projets d'infrastructures pour l'assainissement :
  - ▶ « Des priorités en matières de protection des espaces sensibles au titre de la protection de la ressource en eau, en y incluant la problématique spécifique des rejets dans le lagon. »
  - ▶ « Développer des systèmes d'assainissements collectifs en priorité dans les principaux pôles urbains et dans les villages où les risques de pollution des eaux superficielles ou souterraines sont importants ».
- Concernant les orientations relatives au milieu littoral et au milieu marin :
  - ▶ « Limiter les impacts de pollution sur le lagon » ;
  - ▶ « S'agissant de l'évacuation des eaux usées et traitées des villages littoraux, les systèmes d'assainissement devront prévoir des rejets en mer suffisamment éloignés des côtes pour ne pas affecter les autres usages côtiers la lagon (baignade...) ».

## 3.3.2 Le SDAGE de Mayotte

### 3.3.2.1 Les orientations du SDAGE

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) de Mayotte définit « les grandes orientations pour une gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que les objectifs de qualité et de quantité des eaux à atteindre pour Mayotte » (application de l'article L.212-1 du code de l'environnement).

Ainsi, le SDAGE 2010-2015 fixera la politique locale dans le but d'améliorer la qualité des eaux et des milieux aquatiques à Mayotte. Ces objectifs, fonctions du contexte local, s'inscrivent dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (Directive européenne 2000/60/CE) qui impose aux états membres l'atteinte du « bon état » écologique de tous les milieux aquatiques d'ici 2015.

Le SDAGE 2010-2015 de Mayotte est la troisième version. Cette version intègre les modifications apportées à la version 2 soumise à la consultation du public (15 décembre 2008 au 15 juin 2009) et aux amendements et avis proposés par l'ensemble des acteurs du schéma (dont le bureau du Comité du bassin). La version 3 a été soumise, début juillet, au Conseil Général et aux Chambres consulaires, qui disposent d'un délai de 4 mois pour adresser leur avis.

Le SDAGE (version 3, Juillet 2009) fixe 7 orientations fondamentales permettant de définir les grandes lignes directrices de la gestion de l'eau et les règles du jeu en matière d'urbanisme :

1. Protéger la santé en protégeant l'eau ;
2. Développer la culture de tout le domaine de l'eau ;
- 3. Lutter contre les pollutions ;**
4. Gérer les risques naturels (inondation, ruissellement, érosion, submersion marine,...) ;
- 5. Conserver, restaurer et entretenir les milieux et la biodiversité ;**
6. Doter Mayotte d'outils de gestion performants (connaissance technique, financier,...) ;
7. Partager la ressource en eau entre les différents usages.

Certaines orientations concernent plus spécifiquement :

- l'assainissement et les projets d'infrastructures :
  - ▶ « doter Mayotte d'un réseau d'assainissement à la hauteur des enjeux environnementaux et de son patrimoine naturel » (Orientation 3.1) ;
  - ▶ « Lutter contre les pollutions domestiques » avec la mise en place d'un SPANC et des études sur les filières d'assainissement non collectifs adaptées à Mayotte (Orientation 3.2) ;
  - ▶ « Anticiper et réduire les pressions polluantes dues au développement des infrastructures économiques de l'île » (Orientation 3.7) ;
  - ▶ « Réduire voire supprimer les émissions de substances polluantes dangereuses » (Orientation 3.3).
- la protection des milieux:
  - ▶ « la préservation des milieux aquatiques, du lagon en particulier et limiter les effets aggravants du point de vue des risques naturels et sanitaires » (Orientation 3.6) ;
  - ▶ « renforcer la protection effective des milieux remarquables les plus exposés, en particulier les mangroves » (Orientation 5.6).
- les rejets des effluents issus des stations de traitement des eaux usées :
  - « Les rejets d'effluents traités issus des STEP doivent tenir compte de la sensibilité du milieu naturel récepteur (cours d'eau, nappes et lagon) et des objectifs de non dégradation et de conservation de sa qualité. Pour réduire les pressions sur le milieu liées à ces rejets, les mesures suivantes sont à privilégier :

- ▶ réduire les volumes des rejets du réseau collectif en développant en parallèle l'assainissement non collectif;
- ▶ réaliser autant que possible un traitement poussé des effluents et un suivi de l'évolution du milieu récepteur dans le cadre des mesures compensatoires;
- ▶ privilégier les rejets en milieu terrestre pour minimiser le nombre d'émissaires de rejets directs en mer;
- ▶ étudier les possibilités de recours à l'infiltration dans les sols lorsque les débits des cours d'eau sont insuffisants pour assurer une dilution suffisante des effluents;
- ▶ pour les stations d'épuration de plus de 2 000 EH, étudier la faisabilité d'un recyclage des eaux usées dans la conception du projet en concertation avec le milieu agricole, artisanal ou industriel. »

### 3.3.2.2 Les objectifs du SDAGE

La DCE fixe pour l'ensemble des états membres l'objectif de « bon état des eaux souterraines et superficielles ». Le SDAGE de Mayotte a ainsi fixé pour l'ensemble des cours d'eau de l'île les objectifs environnementaux à atteindre.

La rivière Kwalé (son bassin versant au sens large) est classé dans l'hydro écorégion (HER) Est de Grande Terre. Le code de la masse d'eau comprenant la rivière Kwalé est nommé FRMR20, avec un statut de masse d'eau naturelle (MEN) en raison des faibles aménagements anthropiques existants.

**Il est demandé un report de délai en 2021 pour l'atteinte du bon état global** notamment pour l'acquisition de connaissance sur une problématique physico-chimique et sur le temps de réponse nécessaire du milieu vis-à-vis de hydro-morphologique (affluent ensablé).

### 3.3.3 Le plan de gestion du lagon de Mayotte

Le plan de gestion du lagon de Mayotte, établi en 2002, préconise un certain nombre de recommandations mais aucune ne concerne à notre connaissance le secteur de l'embouchure de la Kwalé.

### 3.3.4 Le plan de gestion du Parc Naturel Marin de Mayotte

Le Parc naturel marin de Mayotte a été créé par décret le 18 janvier 2010. C'est le premier parc naturel marin créé en outre-mer. Fixées par le décret de création, les objectifs du Parc résultent de deux ans d'études et de concertation avec les usagers de la mer. Le Plan de gestion est en cours de validation finale et les résultats ne peuvent être publiés à ce jour.

**Les préconisations inscrites dans ces documents cadres devront être prises en considération dans la définition du point de rejet et des modalités préférentielles de rejet de la future STEP.**

## 4. Aire d'étude

La définition de l'aire d'étude est un élément important car elle détermine le champ d'investigation spatiale. Elle dépend des différentes composantes de l'environnement mais aussi de la nature du projet et de ses effets potentiels.

La zone d'étude ne se limite pas au seul secteur au droit de la future station d'épuration puisque les effets fonctionnels peuvent aller au-delà de ces limites (dispersion du panache dans la mangrove et en mer...). Elle portera ainsi sur le point de rejet du projet mais aussi sur tous les espaces susceptibles d'être influencés par ce dernier : secteur de la rivière depuis l'amont du point de rejet jusqu'à l'embouchure, la mangrove et le lagon.

*Photo 2 : Embouchure de la Kwalé*



*Source : BRLI*

L'aire d'étude a été déterminée au vu des connaissances du secteur d'étude et de la problématique de rejet de STEP ainsi que des observations de terrain (notamment pour l'étude rivière pour laquelle les points de mesures amont et aval ont été déterminés au vu des caractéristiques hydrologiques et hydromorphologiques). Une aire d'étude a été définie indépendamment pour chacune des études spécifiques menées sur les différents milieux récepteurs (rivière, mangrove et lagon) et sur les différents compartiments (eau, sédiments, matière vivante...).

L'aire d'étude globale intègre l'ensemble de ces secteurs d'étude. Elle s'étend ainsi depuis l'amont du point de rejet en rivière jusqu'au front externe du récif frangeant au large de l'embouchure de la Kwalé intégrant les secteurs de récifs depuis Mamoudzou jusqu'à la pointe Ironi.

## 5. Etat des lieux des milieux récepteurs

### 5.1 ETUDE DE LA RIVIERE KWALE

L'étude de la rivière a été réalisée sur la base de recherches bibliographiques complétées par des campagnes de terrains menées en saison chaude et hiver austral.

#### 5.1.1 Description des usages de la rivière

##### 5.1.1.1 Préambule

Les rivières de Mayotte constituent un « espace d'activités » autour de l'eau :

- Un site de lessives,
- Un lieu pour la toilette corporelle : la toilette est souvent associée à la lessive pour les femmes. Elle reste toutefois un usage très dépendant de l'intimité offerte par le site de lavage,
- Un site de baignade et de jeux aquatiques pour les enfants : les plus jeunes enfants (< 15 ans) accompagnent les femmes venues pour la lessive. Les garçons plus âgés se baignent, jouent, et lavent leurs vêtements,
- Un lieu de rencontre pour les femmes.

##### 5.1.1.2 Usages de la Kwalé sur le secteur d'étude

Les usages du milieu récepteur et des abords de la rivière Kwalé et les contraintes associées ont été répertoriées sur la base des informations disponibles dans la bibliographie et de visites sur site.

Les berges de la rivière Kwalé, facile d'accès, sont très fréquentées une population délocalisée provenant principalement des quartiers Sud de Mamoudzou (Cavani à Tsoundzou I).

La rivière fait l'objet de nombreux usages domestiques liés principalement aux habitudes culturelles : lessive (4 sites de lessive dont 1 proche du point de rejet vers Kwalé village), vaisselle, lavage de véhicules (2 sites de lavages de véhicules), toilette corporelle, lavage des produits de la pêche et du marché local....mais aussi usages récréatifs : baignade et jeux aquatiques...

### LESSIVES

Les lessives sont traditionnellement faites dans les rivières mahoraises. Cet usage constitue une activité particulièrement développée, si bien que, dans le cadre de la protection des captages d'alimentation en eaux potables, un diagnostic de cet usage a été établi (SIEAM, 2003<sup>9</sup>). Elle a été complétée en 2005 par un bilan de l'usage (distribution, usagers, produits), l'évaluation de son impact sur la rivière Kwalé et la proposition de mesures d'accompagnement visant à réduire les impacts de cette pollution (DAF, 2004<sup>10</sup>). La composition des lessives utilisées, généralement bon marché, ne correspond généralement pas aux exigences européennes en termes de réduction des phosphates dans les lessives.

<sup>9</sup> Etude pour la protection des zones de captage d'eau potable à Mayotte. Diagnostic, propositions. SIEAM, ISM, 2003.

<sup>10</sup> Usage des lessives à Mayotte et pollutions en rivière et au Lagon. Aide à la décision et programme d'action. DAF, ASCONIT Consultants, 2004.

*Photo 3 : Activités humaines dans la rivière Kwalé*

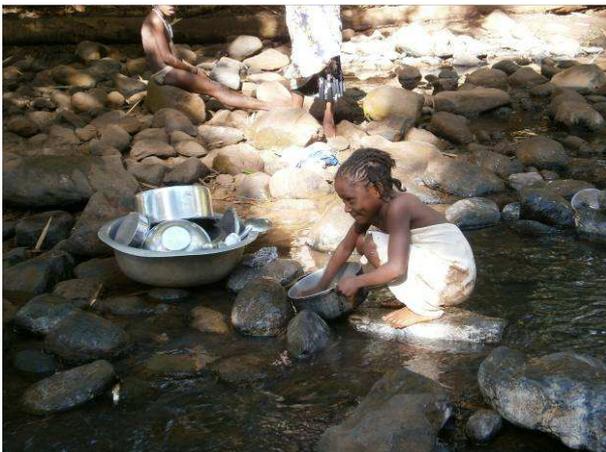
*Baignade et jeux aquatiques non loin du point de rejet envisagé*



*Lessive*



*Vaisselle (point de mesure K2 en amont du point de rejet)*



*Lavage de véhicules au niveau du village de Kwalé Légion*



*Lavoir aménagé au niveau de la station de pompage AEP de Kwalé bas*



*Lavage des produits de la pêche*

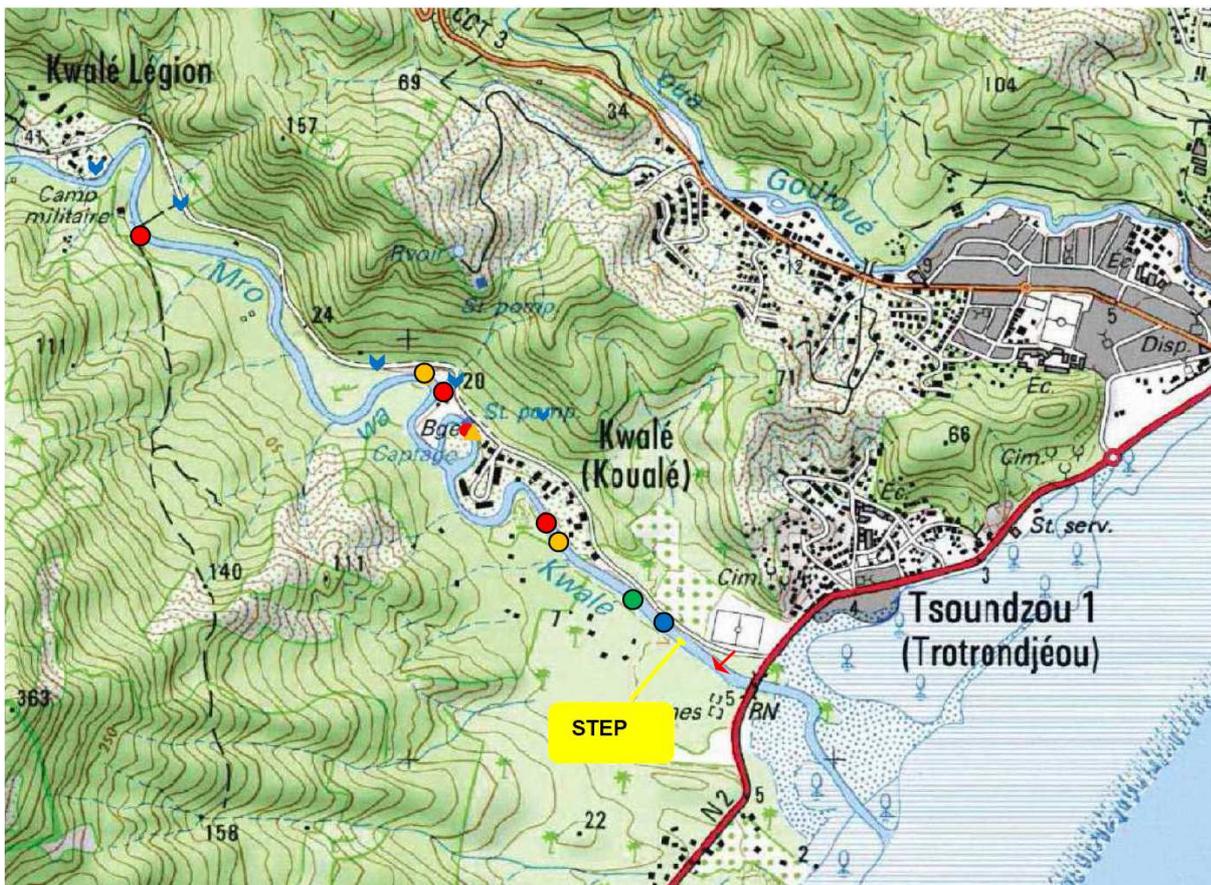


Source : BRLi, décembre 2011, mars et juillet 2012

L'activité de lessive est un usage important à souligner car elle conditionne notamment la qualité de l'eau des rivières. Quatre principaux points de lavage ont été identifiés le long de la rivière Kwalé<sup>11</sup> sur le secteur d'étude :

- Le point principal : à l'emplacement du lavoir, au niveau du barrage situé en amont du lotissement.
- Le premier point de repli : en aval du lotissement, au niveau d'un gué. Les mêmes espaces sont investis par les hommes et les femmes. Le passage continu (zones cultivées sur la rive opposée) ne permet pas l'intimité des femmes.
- En amont du point principal : zone plus difficile d'accès, fréquentée par les jeunes garçons pour laver le linge, se baigner et jouer.
- Le captage est aujourd'hui déserté des usagers.

Figure 3 : Localisation des principaux usages



Fleche bleu : point d'accès rivière

Triangle orange : captage AEP

Point rouge : principaux sites de lessive sur le secteur d'étude

Point orange : lavage de véhicules

Point bleu : baignade observée

Point vert : vaisselle

Secteur jaune : STEP et point de rejet des effluents initialement proposé

Flèche rouge : rejet de la STEP de Tsoundzou I

<sup>11</sup> SDAGE - Etat des lieux décembre 2006. Partie 1 - Caractérisation du bassin

La zone de la Kwalé du fait de sa configuration naturelle est favorable à une organisation de type traditionnel mais les conflits d'usages ne le permettent pas. Ces conflits sont liés à la présence d'une zone de lavage de véhicules en amont des aires de lavage domestique.

L'impact de l'usage lessive a été abordé sur la rivière Kwalé et le lagon associé. Le diagnostic hydroécologique a mis en évidence que ces milieux sont très perturbés. Compte tenu des pressions significatives exercées par d'autres activités du bassin versant, il est difficile d'attribuer les perturbations au seul usage lessive, même si l'usage lessive est certainement à l'origine de certains dysfonctionnements. Plusieurs activités anthropiques et des pratiques liées à l'eau sont responsables de la dégradation de ces milieux aquatiques.

Différents facteurs concourent au maintien de l'usage lessives en rivière :

- La majorité des usagers n'a pas accès à l'eau potable à l'intérieur de son logement (40% en comptabilisant les branchements sauvages comme un accès à l'eau potable). Quand la ressource est disponible, la situation sociale et économique des usagers est faible voire précaire, ce qui ne permet pas d'utiliser l'eau du réseau pour tous les usages. ;
- Le prix de l'eau à Mayotte reste dissuasif pour de nombreux ménages même si la tarification de l'eau potable est modulée de manière rendre les premiers mètres cubes indispensables à la consommation domestique accessibles aux plus défavorisés ;
- Les produits électroménagers sont aujourd'hui peu abordables pour les usagers des rivières qui sont souvent en situation précaire. La taxation douanière, déséquilibrée entre les différents produits électroménagers, ne favorise pas le développement du marché des machines à laver le linge : les réfrigérateurs, congélateurs ou gazinières sont taxés à 5% contre 41% pour les machines à laver le linge.

Dans le cadre des réflexions et des débats ont été menés sur les problèmes liés à l'activité de lessive en rivière à Mayotte. Des points de lavage ont été aménagés de manière, notamment, à préserver la ressource, sous la forme d'espaces de lavage dans le lit de la rivière ou de lavoirs. Si ces points rassemblent l'activité, ils n'éliminent pas le risque de pollution des cours d'eau puisqu'ils ne disposent pas de système de récupération et de traitement des eaux de lavage. Des lavoirs ont été mis en place mais ne s'avèrent pas toujours adaptés aux habitudes mahoraises et sont alors désertés. L'étude sur les aspects sociologiques liés à ces pratiques a été abordée par le SIEAM dans le cadre de la protection zones de captages AEP.

Dans ce même cadre, un lavoir a été notamment construit en aval immédiat du captage de Mroalé. Le lavoir est très fréquenté, créant une concurrence entre les usagers. Une règle tacite veut que les usagers français soient prioritaires sur ce site. Des points de repli forment alors des points de lavage successifs en fonction de la disponibilité de place, sur l'ensemble de Mroalé, voire au-delà de l'espace villageois.

Le lavage des voitures dans les rivières s'observe régulièrement dans les zones accessibles (gués)(Cf. carte précédente).

### **BAGNADES ET JEUX AQUATIQUES**

Le secteur aval de la Kwalé n'est pas répertorié comme lieu de baignade mais on note cependant la présence régulière d'enfants qui se baignent. Les activités de baignade représentent des contraintes à la qualité de l'eau de rivière.

La forte fréquentation des rives et la présence d'embarcations traditionnelles de pêcheurs sur les berges (cf. photo précédente) laisse penser que l'eau de la rivière est sans aucun doute également utilisée à des fins de lavage des produits de la pêche. De même, les produits et ustensiles du marché local de fruits et légumes tout proche (au niveau du stade près du pont de la Kwalé) sont ils sans doute lavés dans la rivière.

## PRELEVEMENTS

La rivière fait également l'objet de prélèvements à usage Alimentation en Eau Potable : 2 prises d'eau sont présentes à Kwalé haut et Kwalé bas (au niveau de la station d'étude rivière amont K1 à environ 1 km en amont du pont de la RN2).

*Photo 4 : Station de prélèvement AEP Kwalé bas*



Source : BRLI, 2012

Mayotte doit se doter à cours terme d'outils règlementaires de protection de l'ensemble de ses captages pour l'eau potable (captages superficiels et forages). Les études de définition sont en cours pour permettre la protection de 24 captages prioritaires (étude d'ARTELIA), dont le captage de la Gouloué.

Le projet de création de la station d'épuration de Mamoudzou Sud et les futurs rejets de celle-ci se situent sur le bassin versant de la rivière Kwalé, en aval des points de captages et hors des bassins d'alimentation.

### 5.1.1.3 Contraintes de qualité associées

Les activités de baignades sont les plus contraignantes au regard de la qualité des eaux de la rivière sur le secteur aval au futur point de rejet et imposent des normes de qualité bactériologique. Les normes en vigueur sont présentées au paragraphe 5.1.1.3.

La Kwalé présente un profil en long classique avec une pente qui décroît de l'amont vers l'aval, sans présenter de rupture de pente majeure (absence de chute/cascade importante)(cf. figure ci-dessous).

Le cours moyen/supérieur est caractérisé par une pente moyenne de 42 ‰ soit deux fois plus importante que le cours inférieur avant influence marine (21,3‰). Les faciès d'écoulement sont de type radier, faciès d'escalier, petite chute, mouille, plat lentique et lotique.

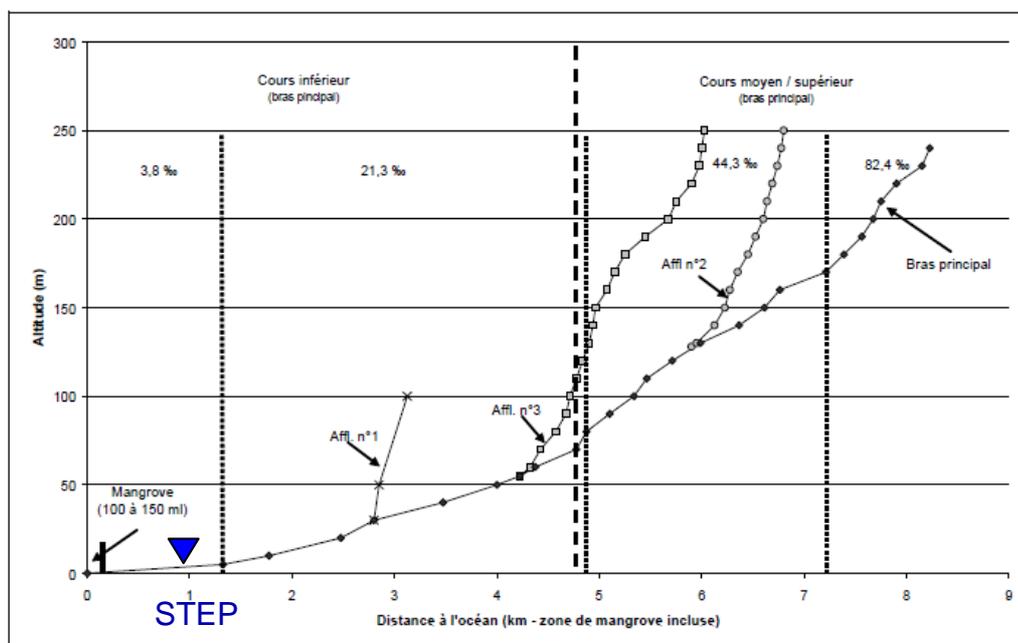
Le secteur sous influence marine (environ 1,2 km dont 100-150 m au sein de la mangrove) présente une pente de 3,8 ‰. Les faciès d'écoulement sont de type plat lentique, chenal lentique, radier et mouille.

Photo 5 : Faciès lotique type escalier (à gauche) et faciès lentique type plat lent (à droite) sur la Kwalé en mars 2012



Source : BRLi

Figure 4 : Profil en long de la Kwalé



Source : ARDA-MNHN/DAF Mayotte, 2006

La largeur moyenne de la Kwalé sur le cours moyen/supérieur est d'environ 2 à 4 mètres. Sur le cours inférieur, la largeur dépasse rarement 6 mètres en raison de son encaissement. Sur le cours inférieur sous influence marine, la largeur du lit mouillé dépend du niveau de la marée : à l'étalement de pleine mer<sup>12</sup>, la largeur de la Kwalé peut atteindre 15-20 mètres alors qu'à l'étalement de basse mer et à l'étiage, elle présente un lit de 3 à 6 mètres. La granulométrie est corrélée à la pente : les substrats sont majoritairement grossiers sur les secteurs amonts et médians (gros blocs, pierres, galets). Des sédiments plus fins (sables grossiers) sont également présents dans les faciès d'écoulement lenticulaires permettant leurs dépôts.

<sup>12</sup> Etalement de pleine mer ou de haute mer : lorsque la marée est totalement haute

*Photo 6 : La rivière Kwalé sur le secteur médian avec substrats grossiers (à gauche) et sur le secteur aval sous influence maritime avec substrats fins (droite)*



Source : Photo BRLi, 2012

Le cours aval de la Kwalé sous influence marine présente un lit couvert d'une couche de sédiments fins de type sables fin/limons/vases issus des terrains érodés du bassin versant. Ces sédiments sont partiellement remis en mouvement à chaque cycle de marée selon les forces tractrices de la marée et du débit de la Kwalé.

La végétation des berges est altérée de Kwalé Légion jusqu'au village de Kwalé en raison des aménagements pour les accès au cours d'eau et des quelques habitations en bordure de rivière. Entre le village de Kwalé et le pont de la RN2, la ripisylve est constituée par un cordon réduit en raison d'exploitations vivrières en rive droite et de la présence d'une route longeant la Kwalé en rive gauche, qui limitent le développement de la végétation. Sur de nombreux secteurs, les berges sont soumises à des phénomènes d'érosion, dégradant même ponctuellement la structure de la chaussée. En aval de la RN2, la végétation de berge est éparse voir absente en raison du surpâturage des zébus et de la coupe de bois de chauffage.

Les berges présentent des profils variables selon les caractéristiques des terrains rencontrés plus ou moins érodables. De façon générale, les berges présentent des profils peu à moyennement abrupts sur le cours amont et médian avec un cours d'eau de faible largeur. Sur le cours aval, le phénomène de marnage lié au mouvement des marées ont façonné un lit encaissé avec des berges abruptes à subverticales de plusieurs mètres sur lesquelles se développe une végétation instable. La pente se réduit ensuite à 1/2 à 1/4 pour former le chenal.

### 5.1.1 Hydrologie

*Les éléments présentés ci-après sont issus du rapport de définition des débits de référence pour les rivières de Mayotte (étude des QMNA5), SOGREAH/ASCONIT de juin 2008 ainsi que des données hydrologiques transmises par la DEAL de Mayotte.*

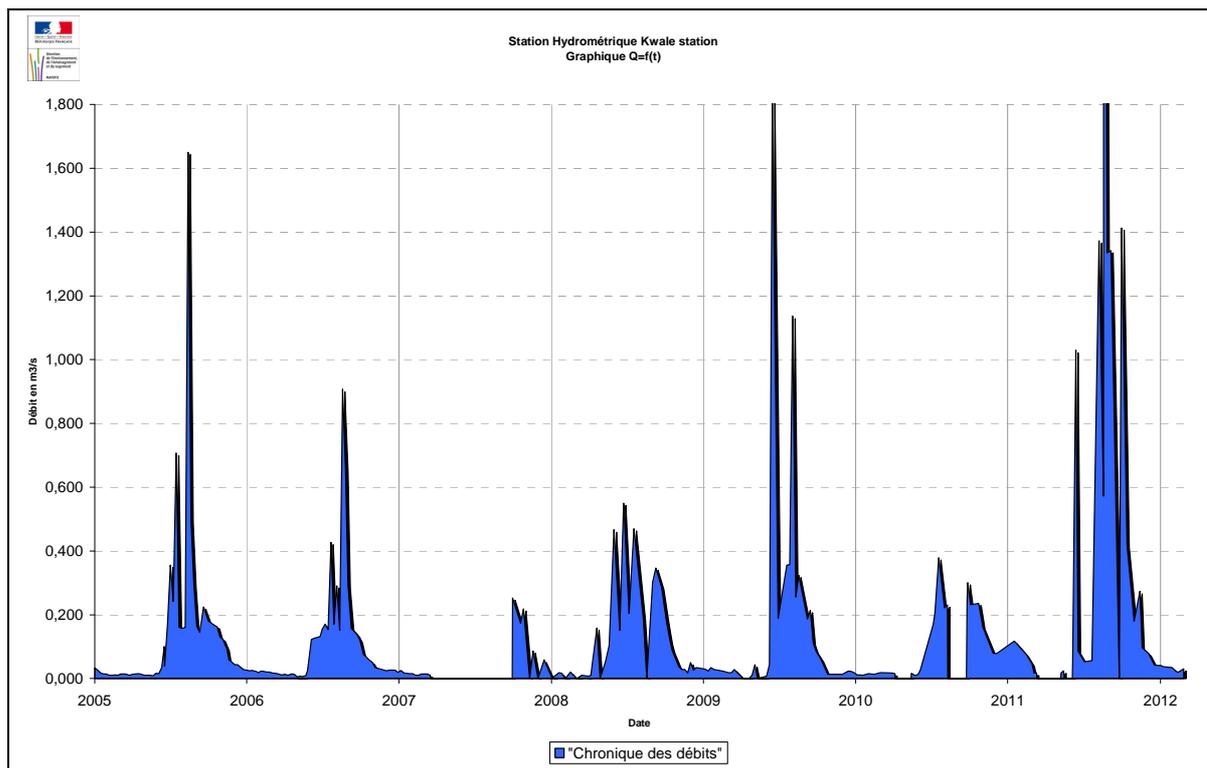
Le bassin versant de la Kwalé présente à son exutoire une surface de 15,5 km<sup>2</sup> pour un temps de concentration estimé à 100 min (soit 1h40). Les versants présentent des pentes importantes expliquant la rapidité des transferts et des ruissellements entre les terrains boisés ou agricoles et le cours d'eau. Cette problématique, bien connue à Mayotte, explique en partie les phénomènes d'érosions et d'apports en charge solide lorsque les terrains sont de mauvaise qualité (badlands).

L'hydrologie de la Kwalé est fonction de la pluviométrie : elle n'est que très peu soutenue par des aquifères sur le haut bassin. Elle alterne donc entre une période de forte hydrologie lors de la saison chaude et une hydrologie présentant une faible ressource lors de la saison froide.

Le débit de la rivière Kwalé fait l'objet d'un suivi par la DEAL de Mayotte (« Kwalé station »), à raison d'une mesure par semaine environ. Cette acquisition de connaissance permet de caractériser le « débit de base » de la rivière mais ne permet pas d'intégrer les variations en rapport avec la forte réactivité du bassin versant. Lors de la saison humide, le débit de la Kwalé peut en effet être multiplié par un coefficient important (10, 20 ou plus) puis revenir à son niveau de base initial en quelques heures. Ces variations hydrologiques ne sont pas à ce jour enregistrées.

La figure ci-après présente les données des chroniques hydrologiques de la Kwalé de 2005 à 2012. Ces données sont donc à considérer avec précaution puisqu'elles n'intègrent pas l'ensemble des variations épisodiques (ou drastiques) de débits à l'échelle journalière ou infra-journalière.

Figure 5 : Hydrologie de la Kwalé de 2005 à 2012



source : DEAL Mayotte

Les débits caractéristiques à retenir pour le bassin de la Kwalé à son exutoire (15,5 km<sup>2</sup>) sont les suivants :

- Q10 : 150 m<sup>3</sup>/s
- Q100 : 350 m<sup>3</sup>/s
- QMNA5 : 12 l/s
- Débit médian (Q50) : 40 l/s
- Débit moyen (module) : 70 l/s
- Débit moyen hiver austral à partir des données DEAL : 50 l/s
- Débit moyen été austral à partir des données DEAL : 320 l/s

Ces éléments mettent en lumière la forte variabilité hydrologique de la Kwalé ( tout comme les autres cours d'eau de Mayotte) entre la saison froide et la saison chaude (cf. photos ci-après).

Les valeurs du débit médian, du débit moyen en période d'hiver austral et du QMNA5 traduisent la faiblesse de la ressource au moins sur la moitié de l'année (été austral) et par conséquent la faible capacité de dilution de rejets potentiels dans la Kwalé au droit du projet pendant cette période.

L'influence du milieu marin de le secteur aval de la Kwalé rend encore plus complexe la notion de « débit » du cours d'eau. Lors du flot, le sens du courant de la Kwalé est inversé : la marée remonte dans la Kwalé et d'importants volumes d'eau remplissent alors le chenal pouvant participer de façon non négligeable à une dilution d'effluents (voir illustrations ci-après). L'impact maritime sur la Kwalé dépend du coefficient de marée ; un chapitre spécifique est consacré ci-après.

*Photo 7 : La rivière Kwalé en saison des pluies à l'étale de basse mer et de pleine mer (en haut) et en saison sèche (en bas) - photographie prise depuis le pont de la RN 2*



Source : BRLi, 2012

## 5.1.2 Qualité des eaux

### 5.1.2.1 Synthèse bibliographique- Réseau de suivi DCE

#### MISE PLACE DU RESEAU DE SURVEILLANCE DCE A MAYOTTE

Conformément aux exigences de la DCE, les Etats Membres doivent disposer de réseaux pour surveiller le « bon état » écologique des masses d'eau (article 8) notamment sur la base de critères biologiques, chimiques et hydromorphologiques pour les masses d'eau superficielles (continentales ou côtières). La DCE exige la construction d'un réseau de surveillance basé sur deux niveaux de contrôle distincts:

- le réseau de contrôle de surveillance (RCS) : il s'applique à l'ensemble des masses d'eau et a pour objectif de suivre l'état général des eaux continentales et côtières.

- le réseau de contrôle opérationnel (RCO) : il s'applique aux masses d'eau pour lesquelles un risque de non atteinte du bon état en 2015 a été identifié. Il a pour objectif d'établir l'état chimique et/ou biologique et de suivre la tendance d'évolution des paramètres responsables de ce risque.

Le district hydrographique de Mayotte, sous pilotage DEAL/BRGM, a donc mis en place un réseau de surveillance de l'état écologique des masses d'eau continentales et côtières en établissant un réseau de contrôle de surveillance (RCS) à Mayotte. Les réseaux de contrôle opérationnel (RCO) seront définis par la suite en fonction de l'évolution de l'état qualitatif des masses d'eau et d'une caractérisation précise des pressions. Ce réseau de suivi a été établi conformément à la réglementation en vigueur mais adapté aux spécificités locales tant environnementales (lagon, climat, faune et flore tropicale) que socioculturelles (lessives en rivière, assainissement, décharges sauvages, ...) ou géoéconomiques (éloignement de la métropole, capacités analytiques locales). Les indicateurs écologiques recommandés en métropole<sup>13</sup> pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau ne sont pas directement reproductibles à Mayotte. Le contexte insulaire tropical demeure en effet trop spécifique et les données sont encore trop parcellaires pour qu'il soit possible de s'appuyer sur ces méthodes d'évaluation.

Mayotte s'est donc associé aux réflexions inter-DOM initiées récemment sur l'application ou l'aménagement de la DCE aux particularités de l'outremer<sup>14</sup> qui visent à définir des indicateurs spécifiques aux environnements tropicaux.

Les premières données ont été acquises entre 2008 et 2010 afin de positionner les stations d'inventaires écologiques et de déterminer les méthodes les plus adaptées. Depuis 2010-2011, le RCS fournit annuellement les données de l'état des masses d'eau. Le volet « chimie sur les sédiments » dont la mise en œuvre engendre des coûts très importants à Mayotte (l'absence de laboratoire local imposant l'expédition des échantillons à la Réunion voire en Métropole) n'a pas été retenu.

## CARACTERISTIQUES DU RESEAU DE CONTROLE DE SURVEILLANCE EN PLACE

### Stations de suivi

Le RCS dispose de 10 stations de suivi physico-chimique des eaux de surface réparties sur l'île dont 3 stations sur la Kwalé (amont, intermédiaire et aval). L'état chimique est destiné à vérifier le respect de la Norme de Qualité Environnementale (NQE) définie dans les textes réglementaires en vigueur (arrêté du 25 janvier 2010).

### Paramètres mesurés

Pour mémoire, les définitions des différents paramètres analysés sur l'eau brute ainsi que leurs fonctions et incidences potentielles sur l'hydrosystème sont présentées ci-après :

Paramètre	Fonctions / incidences
<b>Température de l'eau (°C)</b>	Facteur régissant les différents cycles chimiques de l'eau et jouant un rôle sur la distribution spatio-temporelle des espèces aquatiques, Elle évolue au cours des saisons et de la journée car fortement corrélée avec la température de l'air. La ripisylve joue un rôle de tampon et limite l'incidence de l'ensoleillement.
<b>pH</b>	Il intègre la concentration d'un liquide en ion H <sup>+</sup> et permet d'évaluer l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. La gamme viable pour les espèces aquatique est de 6 à 9.

<sup>13</sup> Annexe V de l'arrêté du 25 janvier 2010 en application de l'article R. 212-22 : méthodes utilisées pour le contrôle des éléments de qualité : IBD pour le phytobenthos, IBMR pour les macrophytes, IPR pour l'ichtyofaune.

<sup>14</sup> Référence à la mission ONEMA/DAST sur la mise en œuvre de la DCE aux DOM, au sous-groupe de travail DOM à la DEB, à l'état des lieux sur les eaux littorales réalisé par l'IFREMER.

Paramètre	Fonctions / incidences
<b>Oxygène dissous (mg/l d'O<sub>2</sub>)</b>	L'oxygène est particulièrement soluble dans l'eau. Il dépend des paramètres de pression atmosphérique, température de l'eau, mais également de l'activité biologie (production par photosynthèse et consommation par respiration). L'apport de matières oxydables ou de fertilisants auront pour conséquence une modification des concentrations en oxygène par phénomène d'autoépuration et d'eutrophisation.
<b>Conductivité (µS/cm)</b>	La conductivité dépend de la minéralisation de l'eau. Elle a tendance à augmenter de l'amont vers l'aval au fur et à mesure qu'elle se charge en éléments dissous. Elle est un traceur de rejets diffus ou directs dans le système et de l'influence du milieu marin aux embouchures.
<b>Matière en suspension (MES en mg/l)</b>	Les MES modifient les conditions de vie des milieux aquatiques par l'effet de colmatage des habitats, lésions sur les branchies des poissons et modification des conditions de luminosité. Elles peuvent être le vecteur de pollutions organiques ou chimiques qui s'y fixent. Leurs concentrations dépendent principalement dans le contexte mahorais du ruissellement et des érosions des terrains.
<b>DBO5 et DCO (mg/l)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La DBO5 (demande biologique en oxygène) traduit la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes aérobies (dégradation des composés organiques) pendant 5 jours. Elle traduit une teneur de matière organique dans les eaux.</li> <li>La DCO (demande chimique en oxygène) correspond à la quantité total d'oxygène pour oxyder l'ensemble des matières oxydables, Dans un milieu naturel, les concentrations sont faibles hormis sur des secteurs présentant des forts dépôts de litières ou sur des secteurs de zones humides très riche en matières organiques.</li> </ul>
<b>Composés azotés (mg/l)</b>	<p>On distingue principalement 3 formes minérales de l'azote : le NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ion amonium), le NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (ion nitrite), le NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ion nitrate), Le NKJ (azote Kjekdahl) représente la forme réduite de l'azote à savoir le NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et l'azote organique. Indispensable pour l'ensemble des organismes, les effets des différentes formes d'azote sont très différents:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> : sa présence traduit un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il est réoxydable en NO<sub>2</sub> et NO<sub>3</sub> par processus de nitrification. A des concentrations de 0,5 à 1 mg/l pour un pH compris entre 6 et 9, il perturbe la vie aquatique</li> <li>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> : élément indésirable pour l'écosystème, il est rapidement oxydé en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans un milieu présentant une bonne autoépuration. Il présente un danger par risque d'asphyxie (réduction du pouvoir d'absorption de l'oxygène par le sang)</li> <li>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> : A forte concentration, il est souvent le traceur d'une pollution diffuse d'origine agricole (fertilisant). Cette forme d'azote n'est pas toxique mais favorise un milieu eutrophe.</li> </ul>
<b>Composés phosphatés (mg/l)</b>	Le phosphore est un des composants essentiels de la matière vivante (énergie sous forme d'ATP). Il est fourni naturellement par le milieu naturel (érosion des roches) ou par apports anthropique (rejets domestique, engrais, lessive, détergents). Un excès de phosphore dans le milieu (à partir de 0,5-1 mg/l) entraîne une eutrophisation rapide en présence d'énergie lumineuse.

### Fréquence de suivi

Les paramètres indicateurs de la qualité physico-chimique générale sont à suivre chaque année à raison de :

- 6 fois par an pour les groupes 1 et 2 ;
- 2 fois par an pour le groupe 3.
- Pour mémoire :
  - ▶ Groupe 1 : paramètres mesurés in-situ : température, conductivité, potentiel d'oxydo-réduction, oxygène dissous

- ▶ Groupe 2 et 2 bis : DBO5, DCO, Azote Kejldahl, phosphore total, MES, turbidité, chlorophylle a, phéopigments, nitrates, ammonium, nitrite, phosphates, COD, silice dissoute ;
- ▶ Groupe 3 : hydrogène carbonate, carbonates, chlorures, sulfates, calcium, magnésium, sodium, potassium, dureté TH et TAC.

## BILAN DCE DE LA QUALITE PHYSICO-CHEMIE DE LA KWALE

L'ensemble de la communauté scientifique et des gestionnaires de la ressource en eau s'accordent sur le fait que les grilles d'interprétation en vigueur sont peu adaptées au contexte Mahorais (ainsi qu'aux autres DOM). Un travail d'adaptation des grilles de qualité (physico-chimie et biologique) est en cours de réalisation par l'INRA (financement de l'ONEMA) afin d'aboutir, courant 2013, à des référentiels mieux adaptés aux DOM.

A ce jour, en l'absence de ces éléments, il a été choisi de conserver les grilles d'interprétation actuelles (SEQ EAU V2 et SEEE) et d'y ajouter un travail d'interprétation « à dire d'expert ».

Le tableau ci-après présente les données de physico-chimie générale de la Kwalé en 2011 sur le secteur d'étude, issues du réseau DCE (voir localisation ci-après). La station (code : MAY00009, noté KWA-AV) est située en aval du village de Kwalé mais au-dessus du secteur soumis à l'influence marine. Elle intègre l'ensemble des activités impactant le cours d'eau dont l'assainissement des villages de Kwalé Légion et Kwalé et les nombreux sites de lessives ponctuant le linéaire (voir chapitre consacré aux usages de la rivière).

Tableau 10 : Qualité des eaux de la rivière Kwalé 2011 - station RCS de la Kwalé aval (Source : DEAL Mayotte - 2012)

Année 2011- Kwalé aval (MAY00009) - Réseau DCE						
DATE HEURE	07/02/2011 14:10	04/04/2011 16:30	06/06/2011 13:00	01/08/2011 16:30	03/10/2011 14:00	05/12/2011 13:45
TEMP	26,5	26,7	25,4	24,2	26,6	27,3
PH	8,04	7,83	7,91	7,76	7,52	7,54
COND	196,3	213	242	297	331	340
O2_%	130,1	98,6	89,3	57,5	17,2	16,3
O2_MGL	10,27	8,06	7,39	4,84	1,39	1,32
MES	6	< 2	0,001	< 2	< 2	< 2
DCO	32,65	< 30	< 5	< 30	57,02	192
DBO5	< 3	< 3	N/A	3,54	N/A	< 3
COT	3	1,5	1,7	2,7	6,3	5,9
NKJ	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	1,7
P_TOT	0,09	< 0,05	0,06	0,1	0,08	0,16
NO2	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
NO3	0,8	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
PO4	0,25	0,12	< 0,15	0,16	< 0,15	< 0,15
NH4	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,64

Limites des classes d'état  
 très bon    bon    moyen    médiocre    mauvais

La qualité est jugée comme globalement bonne à très bonne pour la plupart des paramètres mesurés :

- La température des eaux est peu significative puisqu'elle est en relation directe avec celle de l'air. Les variations observées sont donc avant tout représentatives des variations saisonnières. La température est comprise entre 27,3 et 24,2 °C.
- Le pH diminue légèrement entre la saison humide et la saison sèche (compris entre 8,04 et 7,54). Il n'est pas limitant pour la faune aquatique ;
- La plus basse conductivité mesurée est enregistrée en fin de saison des pluies. Elle augmente légèrement en saison sèche témoignant d'un enrichissement progressif en cations et anions sans atteindre de valeurs importantes (comprise entre 196 et 340 µS/cm). Les eaux sont peu minéralisées ;
- Les concentrations en oxygène présentent des valeurs fortes en période d'été austral (hydrologie soutenue) mais faibles en période d'hiver austral et début d'été (jusqu'à décembre) : les mesures réalisées font alors état d'un milieu proche de l'anoxie (pourcentage de saturation inférieur à 20 et moins de 1,5 mg/l d'oxygène dissous en octobre et décembre).

- Cette évolution est à mettre en relation avec les mesures en DCO et COT témoignant d'un enrichissement du milieu en matières à oxyder au fur et à mesure de l'hiver. Cette observation est également enregistrée sur d'autres cours d'eau Mahorais.
- Les concentrations en matières azotées et phosphorées sont faibles hormis une mesure d'ion ammonium en décembre (0,64 mg/l) déclassant la qualité des eaux en « moyenne » pour ce paramètre.

### Synthèse :

La qualité physico-chimique globale de la Kwalé, hors zone d'influence marine, peut être qualifiée de bonne à très bonne hormis pour la concentration en oxygène dissous et matières oxydables en fin d'hiver austral et début d'été austral: ces paramètres risquent d'être des facteurs limitant pour le développement de la faune aquatique.

La problématique d'assainissement reste difficilement mise en évidence par les données du réseau DCE en raison d'une fréquence de mesures probablement non adaptée au caractère « flash » des flux de pollution vraisemblablement corrélés avec les ruissellements lors des fortes pluies (lessivages) ainsi que la non analyse des paramètres bactériologiques.

## 5.1.2.2 Diagnostic de la qualité physico-chimique à partir des campagnes de prélèvements 2012

### DESCRIPTION DES CAMPAGNES

#### ■ Dates des campagnes

Pour les besoins de l'étude milieu, les données déjà disponibles sur la qualité physico-chimique des eaux de la Kwalé ont été complétées par trois campagnes d'analyses : l'une en saison chaude (mars 2012), une deuxième après un épisode pluvieux significatif (mars 2012) et une troisième en période d'hiver austral (juillet 2012).

Les prélèvements ont été réalisés en basse mer afin de prélever préférentiellement des eaux issues du bassin versant (eau douce) et non du milieu marin (saumâtre ou salin).

Des analyses spécifiques sur la mangrove et sur le lagon ont été réalisées par ailleurs pour qualifier la qualité des eaux et des sédiments de ces milieux.

#### ■ Points de prélèvements

Les campagnes d'analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la rivière Kwalé ont été réalisées au niveau de trois sites, choisis comme représentatifs des conditions du milieu sur la zone d'étude :

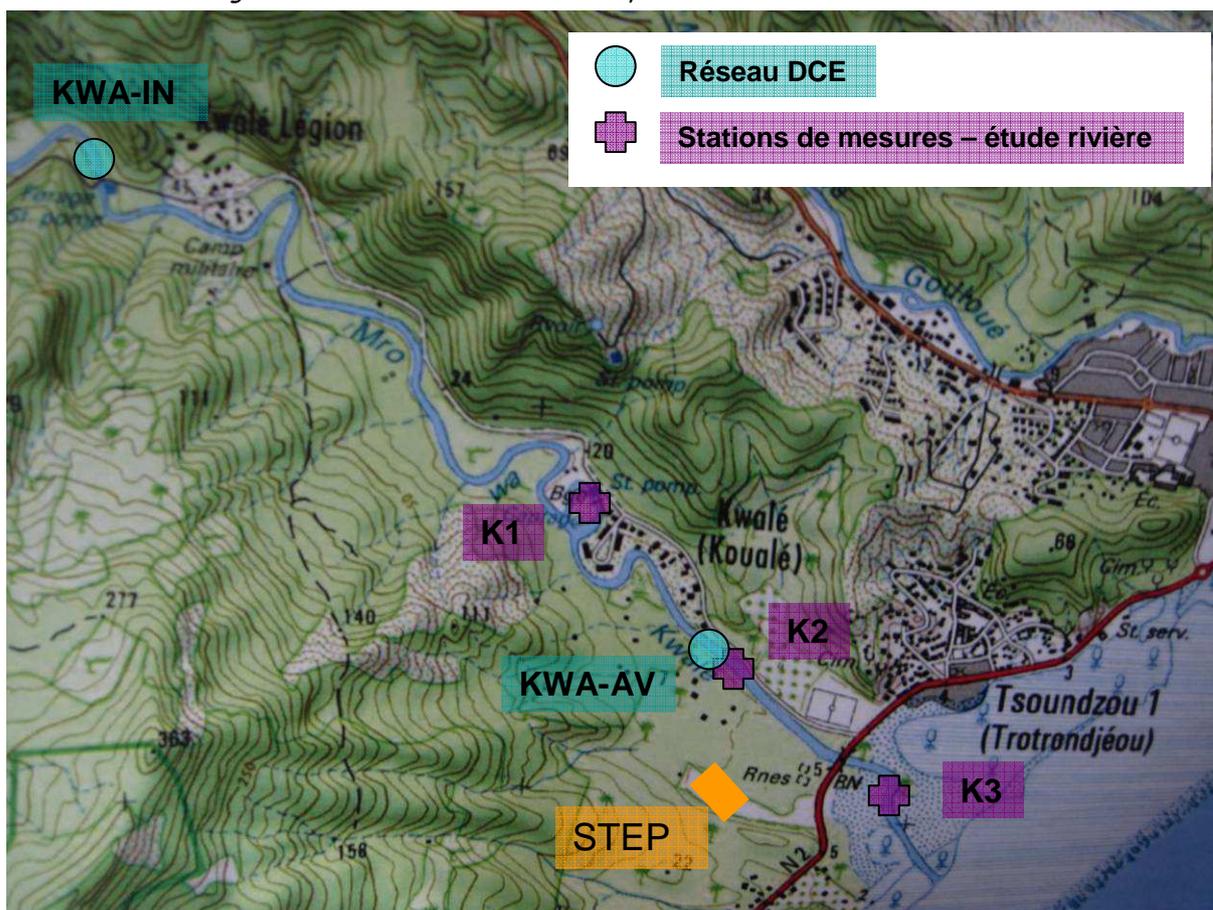
- ▶ Une station amont (K1) correspondant à la Kwalé hors influence marine située en aval immédiat du prélèvement AEP, en amont du village de Koualé ;
- ▶ Une station médiane (K2) située en limite d'influence marine en aval du village de Koualé. Cette station est située une centaine de mètres en aval de la station de suivi RCS KWA-AV (code station MAY00009) ;
- ▶ Une station aval (K3) située une centaine de mètres en aval du pont de la RN 2, dans le secteur fréquemment soumis à l'influence des marées ;

La figure ci-après localise les différentes stations de prélèvement en rivière. Pour mémoire, sont également indiquées les stations de suivi RCS.

Photo 8 : Stations de prélèvement de gauche à droite : amont (K1), médiane (K2) et aval (K3)



Figure 6 : Stations de mesures de la qualité des eaux de la rivière Kwalé



### Paramètres mesurés

Les paramètres température, pH, conductivité, oxygène dissous ont été mesurés *in situ* à l'aide de deux appareils multiparamètres WTW multi 340i avec sondes associées.

Tableau 11 : Caractéristiques des analyses de qualité de l'eau de la rivière Kwalé

Type de mesures	Paramètres mesurés	Date de réalisation de la campagne
Analyses physico-chimiques	Température, pH, conductivité, oxygène dissous, MES, turbidité, ammonium, nitrates, nitrites, phosphates, DBO5, DCO	12 mars 2012 de 8h à 9h30 (saison des pluies) 12 mars 2012 de 11h à 12h (après un épisode pluvieux intense)
		20 juillet 2012 de 8h à 9h30 (saison sèche)
Analyses bactériologiques	Coliformes totaux, Escherichia coli, entérocoques	12 mars 2012 de 8h à 9h30 (saison des pluies) 12 mars 2012 de 11h à 12h (après un épisode pluvieux intense)
		20 juillet 2012 de 8h à 10h (saison sèche)

Les paramètres MES, turbidité, ammonium, nitrates, nitrites, phosphates, DBO5, DCO, coliformes totaux, Escherichia coli et entérocoques ont été mesurés au Laboratoire Vétérinaire et d'Analyses Départemental (LVAD) de Mayotte. Les prélèvements ont été transmis au laboratoire dans les 3 heures qui ont suivi l'échantillonnage en rivière.

Le flaconnage pour les différents prélèvements (flaconnage spécifique pour les paramètres bactériologiques) a été fourni par ce même laboratoire.

Pour resituer les prélèvements dans leur contexte hydrologique, des mesures du débit ont également été réalisées sur certaines stations au cours des campagnes à l'aide d'un courantomètre électromagnétique FLO-MATE 2000.

### Conditions hydrologiques des campagnes

La figure ci-après resitue les campagnes de prélèvements dans le contexte hydrologique de la Kwalé :

- Les points bleus correspondent aux données de la station « Kwalé station » gérée par la DEAL de Mayotte ;
- Les points rouges correspondent aux débits mesurés par BRLi lors des campagnes de prélèvement à la station K1 (située proche de « Kwalé station »).

On observe :

- Un débit de la campagne « saison des pluies » assez faible comparativement à l'hydrologie enregistrée par la DEAL (facteur 3). Cette différence est sans aucun doute liée au fait que la mesure a été réalisée tôt le matin (8h) avant les épisodes pluvieux de la matinée généralement observés vers 10-11h alors que les mesures de la DEAL ont probablement été réalisées pendant ou après ces épisodes de pluies ;
- Un débit de la campagne « après un épisode pluvieux intense » bien supérieur à l'hydrologie de base enregistrée par la DEAL ;
- Un débit de la campagne « saison sèche » très proche des débits enregistrés par la DEAL.

Ces éléments illustrent et confirment la forte variabilité des débits en saison humide en raison de la soudaineté et de l'intensité des épisodes pluvieux et de la réactivité associée du bassin versant de la Kwalé (temps de concentration  $T_c$  : 100 min). Ils confirment également la faiblesse des débits lors des prélèvements de saison sèche.

*Photo 9 : Station de prélèvement K1 à 0,553 m<sup>3</sup>/s (saison des pluies)*

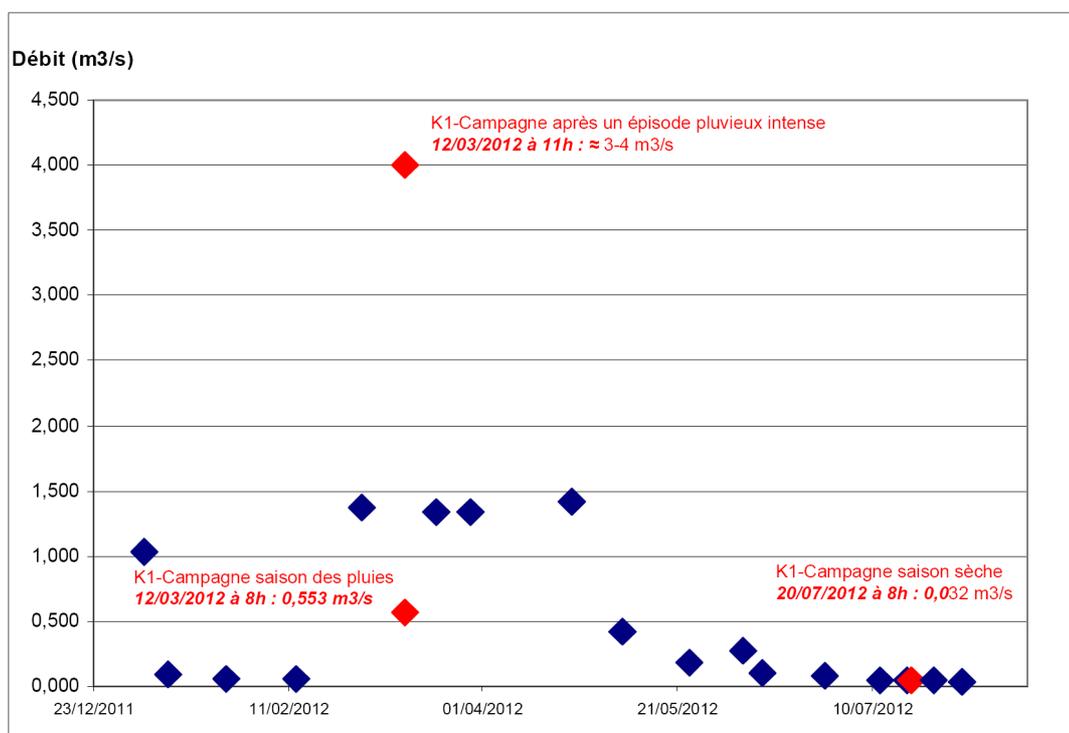


*Photo 10 : Station de prélèvement K1 à ≈ 3-4 m<sup>3</sup>/s (après un épisode pluvieux intense)*



Photo 11 : Station de prélèvement K1 à 0,032 m<sup>3</sup>/s (saison sèche)

Figure 7 : Hydrologie de la Kwalé lors des campagnes de prélèvement de l'étude de milieu rivière - 2012



### Synthèse :

Les débits mesurés lors de la campagne de saison sèche et de la campagne saison humide se différencient d'un facteur 13. Les débits enregistrés lors de la campagne de saison humide et la campagne « après un épisode pluvieux intense » se différencient approximativement d'un facteur 8. Les campagnes ont donc bien été réalisées pour des niveaux hydrologiques suffisamment différents, bien représentatifs des caractéristiques hydrologiques des différentes saisons et événements à étudier, conformément au cahier des charges.

### RESULTATS DES CAMPAGNES DE QUALITE DES EAUX DE LA RIVIERE KWALE

Les résultats d'analyse des prélèvements d'eaux sont présentés ci-après. On distingue les 3 campagnes d'analyse afin d'apporter une interprétation spécifique à chaque période hydrologique. Les résultats sont analysés similairement aux résultats issus du réseau RCS.

Une synthèse est proposée en fin de chapitre afin de conclure sur les évolutions spatiales et temporelles de l'état chimique de la Kwalé.

### Campagne de saison humide

Les résultats des différentes analyses réalisées sur les eaux de la rivière Kwalé durant la saison humide sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 12 : Qualité des eaux de la rivière Kwalé en saison humide - étude rivière - 2012

Qualité des eaux de la Kwalé – Saison humide – 12/03/2012			
	K.1	K.2	K.3
	Amont	Médian	Aval
<b>Débit (m3/s)</b>	<b>0,553</b>	<b>0,572</b>	<b>nm</b>
<b>Physico-chimie</b>			
pH	8,1	8,2	8,3
T° (°C)	25	25	25,5
Conductivité (µS/cm)	180	275	310
O2 (mg/l)	6,9	6,5	5,9
MES (mg/l)	<2	58	<2
Turbidité (NFU)	9	126	11,3
Ammonium (mg/l)	0,08	0,3	0,11
Nitrates (mg/l)	0	0,02	0,01
Nitrites (mg/l)	0	0	0
Orthophosphates (mg/l)	0,64	0,23	0,26
DCO (mg/l)	<30	<30	<30
DBO5 (mg/l)	<3	<3	<3
<b>Bactériologie</b>			
Coliformes totaux (col/100 ml)	tapis bactérien	tapis bactérien	tapis bactérien
Escherichia coli (col/100 ml)	44290	132300	101600
Entérocoques (col/100 ml)	11070	594700	313900

Limites des classes d'état :

très bon   bon   moyen   médiocre   mauvais

On observe :

- Des débits similaires entre les stations en raison des faibles apports intermédiaires entre chaque station (bassin versant semblable). La station K3 n'a pas pu faire l'objet d'une mesure du débit en raison du caractère particulièrement vaseux des fonds empêchant une traversée à pied du lit ;
- Une conductivité qui augmente de l'amont vers d'aval (de 180 à 310 µS/cm) mettant très probablement en évidence l'influence des entrées maritimes dans la Kwalé au droit des stations K2 et K3 ;
- De faibles concentrations en azote et en matières oxydables ;
- Une concentration particulièrement élevée en orthophosphates sur la station K1 qui n'est pas retrouvée sur les stations en aval ;
- De très forte concentration en bactéries témoignant d'un lessivage de terrains contaminés par des matières fécales et par l'absence ou la défaillance des systèmes d'assainissement Et les autres paramètres ? MES, ammonium, O2...Campagne réalisée « après un épisode pluvieux intense »

## Campagne après un épisode pluvieux intense

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques réalisées sur les eaux de la rivière Kwalé après un épisode pluvieux significatif sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13 : Qualité des eaux de la rivière Kwalé après un épisode pluvieux intense - étude rivière - 2012

Qualité des eaux de la Kwalé – Episode pluvieux intense – 12/03/2012			
	K.1	K.2	K.3
	Amont	Médian	Aval
<b>Physico-chimie</b>			
pH	7,7	7,7	7,8
T° (°C)	25,2	25,3	25,5
Conductivité (µS/cm)	165	180	185
O2 (mg/l)	5,5	5,1	5,1
MES (mg/l)	69	78,6	101
Turbidité (NFU)	186	99,2	182
Ammonium (mg/l)	0,48	0,18	0,35
Nitrates (mg/l)	0,49	0,08	0
Nitrites (mg/l)	0	0	0
Orthophosphates (mg/l)	0,46	1,12	2,84
DCO (mg/l)	<30	<30	<30
DBO5 (mg/l)	<3	<3	<3
<b>Bactériologie</b>			
Coliformes totaux (col/100 ml)	tapis bactérien	tapis bactérien	tapis bactérien
Escherichia coli (col/100 ml)	139920	412000	53120
Entérocoques (col/100 ml)	72140	334200	20800

Limites des classes d'état :

très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais
----------	-----	-------	----------	---------

On observe :

- Une conductivité stable (entre 165 et 185 µS/cm) entre les 3 stations témoignant de forts apports d'eau douce. L'influence maritime est peu visible sur ces stations en raison des forts débits d'eau douce de la Kwalé;
- Des concentrations en oxygène dissous assez faibles (comprises entre 5,5 et 5,1 mg/l d'O2);
- Une forte augmentation de la turbidité et des MES comparativement à la campagne « période des pluies » témoignant d'une érosion intense des terrains et d'un transfert des matières dans le cours d'eau suite à l'épisode pluvieux. Il est mesuré jusqu'à 101 mg/l de MES sur la station K3. On note également une augmentation de l'amont vers l'aval pouvant être dû à une remobilisation des sédiments stockés dans le lit du cours d'eau;
- De faibles teneurs en composés azotés ;
- Une très forte augmentation de l'amont vers l'aval des concentrations en orthophosphates. Ces dernières sont vraisemblablement corrélées avec la quantité de matières en suspension probablement issues d'une remobilisation des limons/vases du lit ou de phénomènes de bioturbation liés aux activités des plantes et de la macrofaune dans le secteur de mangrove (com. Pers : M. Thomassin). Un phénomène d'oxydation des limons/vases avec relargage du phosphore peut également expliquer ces observations ;
- D'une forte contamination bactérienne d'origine fécale, en comparaison moins importante cependant que celle enregistrée lors de la campagne de saison humide.

## Campagne de saison sèche

Les résultats des différentes analyses réalisées sur les eaux de la rivière Kwalé durant la saison sèche sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14 : Qualité des eaux de la rivière Kwalé en saison sèche - étude rivière - 2012

Qualité des eaux de la Kwalé – Saison sèche – 20/07/2012			
	K.1	K.2	K.3
	Amont	Médian	Aval
<b>Débit (m3/s)</b>	<b>0,032</b>	<b>0,044</b>	<b>nm</b>
<b>Physico-chimie</b>			
pH	7,8	7,9	7,9
T° (°C)	21,2	21,3	23,2
Conductivité (µS/cm)	322	452	522
O2 (mg/l)	6,3	6,1	5,8
MES (mg/l)	14	11	13
Turbidité (NFU)	0,97	6,45	29,9
Ammonium (mg/l)	0,1	0,11	0,83
Nitrates (mg/l)	0,18	0,12	0,09
Nitrites (mg/l)	0	0,04	0,03
Orthophosphates (mg/l)	0,38	0,32	0,24
DCO (mg/l)	96	47	95
DBO5 (mg/l)	<3	<3	<3
<b>Bactériologie</b>			
Coliformes totaux (col/100 ml)	tapis bactérien	tapis bactérien	tapis bactérien
Escherichia coli (col/100 ml)	255	1843	1491
Entérocoques (col/100 ml)	781	1672	604

Limites des classes d'état :

très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais
----------	-----	-------	----------	---------

Ces résultats montrent :

- Une forte augmentation de la température à l'aval en raison de l'incidence des rayonnements lumineux sur un lit large et peu couvert par la ripisylve ;
- Une augmentation de la conductivité de l'amont vers d'aval (de 322 à 522 µS/cm) mettant très probablement en évidence l'influence des entrées maritimes dans la Kwalé au droit des stations K2 et K3. En comparaison, cette conductivité est près de deux fois supérieure à la valeur enregistrée lors de la campagne de saison humide ;
- Une concentration en oxygène conforme au développement de la vie aquatique sur les stations K1 et K2 mais plus faible en K3 sans pour autant être caractéristique d'un milieu anoxique (5,8 mg/l) ;
- Des concentrations en MES et une turbidité faible comparativement aux campagnes précédentes mettant en lumière les faibles apports diffus en saison sèche ;
- Une forte concentration en ammonium à l'aval dont l'origine peu être relié à des rejets domestique plus ou moins diffus ou un phénomène de réduction des matières azotées. On observe également quelques centièmes de mg/l de nitrites sur les stations K.2 et K.3 mettant en évidence une oxydation incomplète de matières azotés ;
- Des concentrations en orthophosphates assez élevés et ce dès la station amont K1. Il n'est pas observé d'évolution amont/aval ;
- De très forte concentrations en matières oxydables (DCO comprise entre 47 et 96 mg/l). Ce paramètre est particulièrement déclassant sur la qualité de l'eau globale. Son origine est à relier à des rejets domestiques plus ou moins diffus ou à la décomposition de matières organiques végétales accumulés dans le cours d'eau (litières, branches...).

- Une contamination en E. coli et entérocoques bien inférieure à celle observée lors des campagnes période des pluies et « après un épisode pluvieux intense ».

## Synthèse :

Les 3 campagnes de prélèvements mettent en évidence des évolutions temporelles et spatiales de la qualité physico-chimique de la Kwalé :

### 1 - Evolution temporelle :

- Les concentrations en MES sont faibles quelque soit la saison hormis pendant ou après un épisode pluvieux d'une intensité suffisante pour lessiver et éroder les sols ;
- La qualité bactériologie est très dégradée en période de pluie alors qu'elle est comparativement peu dégradée en saison sèche (absence de lessivage des terrains contaminés) ;
- la saison sèche présente en revanche une qualité d'eau physico-chimique plus dégradée qu'en saison humide en relation avec une surconcentration en éléments dissous (débits faibles) et une forte concentration en éléments oxydables favorisant la présence de formes réduites (ex : ion ammonium) peu favorables à la vie aquatique.

### 2 - Evolution spatiale :

- l'incidence du milieu marin commence à se faire sentir sur les paramètres physico-chimiques (ex : conductivité) à partir de la station K2. Morphologiquement, cette station correspond à la limite amont du chenal soumis au marnage des marées ;
- sur le secteur soumis à l'influence marine, le lessivage et la remise en suspension des sédiments fins (type vase) des rives et du lit lors des épisodes de flot et jusant participe à l'augmentation des taux de MES dans les eaux de la Kwalé. Une remobilisation du phosphore des sédiments vers les eaux et probable sur ce secteur.

La complexité physico-chimique du système (nombreux paramètres environnementaux qui interagissent) est difficile à approcher via le protocole défini dans le cahier des charges. La mesure de paramètre en continu permettrait de mieux comprendre les variations infra-journalières, de mieux aborder les phénomènes de dégradation complexe - autoépuration/dilution ainsi que du transfère entre eau et sédiment.

### 5.1.3 Qualité des sédiments de la rivière Kwalé

#### 5.1.3.1 Méthodologie

- Les sédiments sont utilisés en écologie aquatique pour traduire l'historique des perturbations physicochimiques qu'a pu subir un écosystème aquatique. Ainsi, même lorsque des rejets sont stoppés ou traités, les sédiments conservent pendant plusieurs années voir dizaines d'années selon leur temps de renouvellement, les traces de ces perturbations dans leurs compositions.
- La qualité des sédiments est habituellement utilisée pour mettre en évidence les incidences des secteurs industriels ou urbains. Dans le cas présent, il est intéressant de faire un « point zéro » de la qualité des sédiments avant la réalisation d'un projet d'assainissement afin d'évaluer la sensibilité et les incidences sur le milieu à moyen et long terme.

L'absence de passé industriel à Mayotte permet également de définir le « bruit de fond géochimique » du bassin versant de la Kwalé.

L'évaluation de la qualité des sédiments en cours d'eau reste à ce jour complexe selon les problématiques et enjeux. Parmi les outils disponibles, on peut distinguer :

- Le SEQ plan d'eau qui avait l'avantage de proposer une évaluation de la qualité des sédiments notamment des nutriments (N et P) mais également des métaux et micropolluants de type PCB ou hydrocarbures (HAP). Il n'a pu voir le jour en partie du fait de la refonte des systèmes d'évaluation de l'état des masses d'eaux (SEEE). Le nouveau système en vigueur à ce jour ne prend pas encore en compte la qualité des sédiments. SEEE ou SEQ plan d'eau ne sont de plus pas encore validés pour les contextes tropicaux des DOM.
- Arrêté du 9 août 2006 relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extrait de cours d'eau ou canaux : il définit des niveaux de qualité des produits de dragage en fonction des teneurs en contaminants qui s'y trouvent. Cet arrêté se réfère au décret n°93-743 du 29 mars 1993 relatifs à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration prévue aux articles L.214-1 à L.214-6 du code de l'environnement et en application de la Loi sur l'Eau.
- La qualité des sédiments est alors apprécié vis-à-vis des opérations de dragage (rubrique 4.1.3.0.) ou d'entretien de cours d'eau/canaux (rubrique 3.2.1.0.) : les paramètres considérés sont les métaux et micropolluants type PCB et HAP.
- Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues de stations d'épuration sur les sols agricoles : les paramètres considérer sont les métaux et les HAP.

En toute rigueur, aucune grille d'analyse ou seuils ne convient pour donner une classe de qualité des sédiments de la Coconi. Pour autant, on retiendra pour quelques paramètres certains de ces seuils afin d'avoir une échelle de comparaison. On privilégiera dans l'analyse ci-après les arguments mettant en lumière les liens entre paramètres et les évolutions spatiales.

#### 5.1.3.2 Qualité sédimentaire de la Kwalé à partir de données historiques

Le district hydrographique de Mayotte, sous pilotage DEAL/BRGM, a mis en place un réseau de surveillance de l'état écologique des masses d'eau continentales et côtières en établissant un réseau de contrôle de surveillance (RCS) à Mayotte. **En raison des difficultés techniques (transports des sédiments à la Réunion ou en Métropole pour analyses) et des coûts associés, les sédiments en cours d'eau ne font pas l'objet de suivi.**

Les uniques données relatives à la qualité des sédiments de la Kwalé recensées à ce jour sont issues de l'étude sur l'usage des lessives à Mayotte de 2004 réalisée pour le compte de la DAF par Asconit Consultant. Un seul prélèvement avait été réalisé dans le cadre de cette étude en aval du village de Koualé correspondant géographiquement à la station K.2 de la présente étude.

Tableau 15 : Analyse des sédiments de la rivière Kwalé en aval du village de Kwalé - Asconit Consultant - 2004

Paramètres	Unités	Concentrations	
		Classe de qualité	
période		novembre 2004	
Matières sèches	% MB*	54.33	-
Humidité	% MB	45.50	-
Matières volatiles	% MB	4.20	-
	% MS	7.70	-
Matières minérales	% MB	50.33	-
	% MS**	92.30	-
Azote total	% MS	0.13	-
	% MB	0.07	-
	kg/t MB	0.70	-
Phosphore total	% MS	0.22	-
	% MB	0.12	-
	kg/t MB	1.2	-
Carbone organique	% MS	3.71	-
Mercure total	mg/kg MS	0.14	■
Arsenic total	mg/kg MS	6.13	■
Cadmium total	mg/kg MS	< 0.5	■
Chrome total	mg/kg MS	354	■
Cuivre total	mg/kg MS	77	■
Nickel total	mg/kg MS	130	■
Plomb total	mg/kg MS	< 5	■
Sodium total	mg/kg MS	4632.12	-
	mg/kg MB	2525.9	-
Zinc total		137	■
HAP (6 substances)	mg/kg MS	< 0.127	■
PCB (7 substances)	mg/kg MS	< 0.015	■
Somme de 7 PCB	mg/kg MS	< 0.105	■

\* : MB : matière brute - \*\* : MS : matière sèche

Les sédiments collectés étaient principalement de composition minérale (92% du poids sec total). Au regard du SEQ plan d'eau, la qualité des sédiments était « bonne » pour l'azote total et le carbone organique particulaire et « mauvaise » pour le phosphore total pour lequel la concentration atteignait 2,2 mg P / g MS.

Concernant les teneurs en métaux, chrome total et nickel, déclassent la qualité physico-chimique du sédiment vers une classe « médiocre ». La provenance de ces deux éléments restait à déterminer (sols naturellement riche en chrome et nickel, apports exogènes,...). Les concentrations en cuivre et zinc étaient assez élevées (respectivement 77 et 137 mg/kg MS) correspondant à une classe « moyenne » du SEQ plan d'eau.

Enfin, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ou les polychlorobiphényles (PCB) présentaient des teneurs très faibles, inférieures aux seuils de détection du laboratoire, et ne déclassant pas la qualité physicochimique du sédiment.

### Synthèse :

L'étude de la qualité physico-chimique des sédiments de la Kwalé réalisée en 2004 attestait d'une forte concentration en phosphore probablement d'origine anthropique (lessive).

On peut supposé à ce stade une forte concentration de fer dans les sédiments issu de l'altération des sols (origine volcanique). Le processus de fixation du phosphore avec les hydroxydes de fer disponibles peut alors expliquer les fortes teneurs de phosphore dans les sédiments avec un risque de relargage du phosphore en condition d'anoxie ou de remobilisation des sédiments dans le milieu. Pour rappel, le phosphore est l'un des principal facteur de l'eutrophisation avec l'azote.

Pour confirmer cette hypothèse, la mesure des concentrations en fer fut réalisée dans le cadre des prélèvements de sédiments spécifique à la présente étude

Les teneurs en micropolluants font état d'une contamination en métaux (chrome, nickel) pouvant être d'origine naturelle (bruit de fond géochimique). Les teneurs en PCB et HAP font état de l'absence d'impact d'activité anthropique (absence d'industrie, zone urbaine...).

### 5.1.3.3 Diagnostic de la qualité sédimentaire à partir de la campagne de prélèvements 2012 de l'étude rivière

#### METHODOLOGIE

Les sédiments étant intégrateurs des perturbations passées, ils ne sont pas soumis à une variabilité saisonnière. De fait, une seule campagne de prélèvement a été réalisée.

Les paramètres retenus pour évaluer la qualité des sédiments sont la composition physique (granulométrie), la nature (particules organiques, minérales), les concentrations en nutriments (azote, phosphore...), la toxicité à travers l'analyse de 14 métaux, 7 PCB et 13 autres micropolluants organiques.

Etant donné l'absence de laboratoire local agréé pour l'analyse des échantillons de sédiments, ces derniers ont été analysés par le laboratoire LCA de La Rochelle agréé COFRAC. Le flaconnage a été fourni par ce même laboratoire et les échantillons ont été stockés dans une glacière avec pains de glace pour transport jusqu'en métropole

Les prélèvements ont été réalisés sur les 3 stations K1, K2, K3 définies préalablement. Sur chacune d'elle, 4 à 5 placettes ont été échantillonnées à l'aide d'une petite pelle à main dans les 30 premiers centimètres de sédiment afin de constituer un échantillon moyen. Les prélèvements ont été réalisés le 14 mars 2012.

Tableau 16 : Caractéristiques des analyses de qualité des sédiments de la Kwalé - étude rivière - 2012

Type de mesures	Paramètres mesurés	Date de réalisation de la campagne
Analyses de la qualité des sédiments	Matière sèche, humidité et pH Perte au feu de la M.S. Matières minérales Azote Kjeldahl Rapport MO/N organique Azote ammoniacal Phosphore, Potassium, Magnésium, Calcium, Sodium, Soufre, Fer, Manganèse, Chrome, Cuivre, Nickel, Zinc, Cadmium, Plomb, Mercure Molybdène Arsenic, Cobalt PCB, HAP Carbone organique	14 mars 2012

**QUALITE DES SEDIMENTS DE LA RIVIERE KWALE**

- Une synthèse des résultats des analyses de qualité des eaux et des sédiments est présentée ci-après.

Tableau 17 : Qualité des sédiments de la rivière Kwalé - étude rivière - 2012

<b>SEDIMENT - Kwalé</b>							
	unités	K.1		K.2		K.3	
		résultats exprimés sur		résultats exprimés sur		résultats exprimés sur	
		sec	brut	sec	brut	sec	brut
<b>Valeur agronomique</b>							
<b>Matière sèche</b>	%		61,8		58,7		47,6
<b>Humidité</b>	%		38,2		41,3		52,4
<b>pH</b>	%	7,5		7,7		7,6	
<b>Composition</b>							
Perte au feu de la M.S.	%	8,8		10,8		14,8	
Perte au feu de la M.S.	%		5,4		6,3		7
Matières minérales	%	91,20	56,4	89,2	52,4	85,2	40,6
Azote Kjeldahl	%	0,03	0,02	0,08	0,05	0,1	0,05
Rapport MO/N organique	%	1716		192		214	
Azote ammoniacal	%	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
Phosphore	%	0,64	0,4	0,6	0,36	0,62	0,29
Potassium	%	0,23	0,14	0,29	0,17	0,38	0,18
Magnésium	%	2,32	1,43	2,05	1,2	1,44	0,68
Calcium	%	0,95	0,59	0,7	0,41	0,52	0,25
Sodium	%	0,06	0,04	0,19	0,11	1,39	0,66
Soufre	mg.kg <sup>-1</sup>	0,03	0,02	0,11	0,07	0,6	0,28
Fer	mg.kg <sup>-1</sup>	215 467		207 307		155 807	
Manganèse	mg.kg <sup>-1</sup>	2 732		2 538		1 548	
Chrome	mg.kg <sup>-1</sup>	566		508		297	
Cuivre	mg.kg <sup>-1</sup>	93		93,8		108	
Nickel	mg.kg <sup>-1</sup>	237		236		198	
Zinc	mg.kg <sup>-1</sup>	274		283		227	
Cr+Cu+Ni+Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	1170		1 122		830	
Cadmium	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,13		<0,15		0,1	
Plomb	mg.kg <sup>-1</sup>	19,1		15		26,5	
Mercuré	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,1		<0,1		<0,1	
Molybdène	mg.kg <sup>-1</sup>	1,8		2,2		3,1	
Arsenic	mg.kg <sup>-1</sup>	1,2		<01,2		5,4	
Cobalt	mg.kg <sup>-1</sup>	137		123		81,7	
<b>Micropolluants organiques</b>							
7 PCB	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,01		<0,01		<0,01	
HAP	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,05 à 0,1		<0,05 à 0,1		<0,05 à 0,1	
<b>Autres</b>							
Carbone organique	%	0,88	0,54	2,19	1,29	3,45	1,64
<b>Granulométrie</b>							
refus à 2 mm	%	1		3,1		5,3	
sup. 200 µm	%	47,8		32,7		2,3	
200 à 50 µm	%	27,4		27,5		9,2	
50 à 20 µm	%	5		8,7		9,8	
20 à 2 µm	%	8,6		13,4		29,3	
inf, à 2 µm	%	11,2		17,5		49,5	

On observe :

- La part fine de la granulométrie qui augmente de l'amont vers l'aval. Près de 50% des sédiments en K3 (station aval) présente une granulométrie inférieure à 2 µm correspondant à la vase observée sur le terrain facilement remobilisable avec le cycle des marées et des forces tractrices du cours d'eau ;
- Des teneurs en matières minérales qui diminuent de l'amont vers l'aval à l'inverse des matières/carbone/azote organique engendrant un rapport MO/N organique se réduisant de l'amont vers l'aval ;
- Des concentrations en formes azotées faibles et globalement stables de l'amont vers l'aval ;
- De très fortes concentration en phosphore (6 à 6,4 mg P205 / g MS correspondant à 2,6 à 2,8 mg P / g MS) déclassant la qualité des sédiments en « mauvaise » selon le SEQ plan d'eau. Ces concentrations sont légèrement supérieures à celle de 2004. Il n'est pas distingué de gradient amont/aval ;
- D'importantes concentrations en fer issues du fond géo-chimique local (terrains volcaniques érodés de l'île). Ces fortes concentrations en fer ont une forte capacité à fixer le phosphore dans un milieu oxydé. On notera également les fortes concentrations en manganèse, également d'origine naturelle ;
- Des concentrations en chrome, nickel et zinc métaux élevées déclassant la qualité des sédiments en médiocre ou mauvais sans distinguer de gradient amont/aval. On notera une légère augmentation de ces teneurs comparativement à 2004.
- Absence de contamination de micro-polluants organiques de type PCB ou HAP, similairement à 2004.

#### Synthèse :

Similairement à l'étude de 2004, les résultats d'analyse de la qualité physico-chimique des sédiments de la Kwalé révèlent de fortes teneurs en phosphore, facilement fixé par le fer présent en très grande quantité dans les sédiments. Il n'est pas noté de forte concentration en azote ou matières organiques.

Il n'est pas mesuré de gradient amont/aval des micropolluants. Il est probable que le bruit de fond géochimique soit la principale raison des concentrations observées. L'absence de traces de PCB et HAP font état d'une pression industrielle nulle et de non impacts de la part des activités urbaines (résidus d'hydrocarbures...) sur la Kwalé.

### 5.1.4 Synthèse de la qualité physico-chimique de l'eau et des sédiments de la Kwalé

**Les analyses réalisées sur la Kwalé montrent deux états de qualité distincts selon la saison :**

- Une saison des pluies qualifiée par des débits de bases élevés. La qualité physico-chimique de l'eau est globalement « bonne » hormis pour la contamination bactériologique qui reste élevée en raison :
  - ▶ de la température élevée de l'eau, favorable au développement bactérien ;
  - ▶ des apports domestiques contaminés qui ponctuent la Kwalé et ses affluents (traversées de villages...) ;
  - ▶ d'un important lessivage des terres souillées.
- Il est enregistré d'importantes variations infra-journalières des débits liées aux épisodes pluvieux intenses. La qualité de l'eau se dégrade par une augmentation de la contamination bactériologique et du taux de MES. Il est également probable que les forces tractrices du cours d'eau, amplifier ou non par les mouvements de la marée dans le chenal, entraînent une remobilisation des sédiments fins accumulés sur les berges et dans le fond du lit. Le phosphore contenu dans les sédiments est alors transféré dans les eaux via les MES ;
- Une saison sèche qualifiée par des débits faibles, présentant peu de variations inter-journalières. Le dépôt de matières organiques, principalement d'origine végétale, engendre une consommation de l'oxygène dissous rendant le milieu proche de l'anoxie.

- La faible agitation des eaux engendrée par les faibles débits ne peut apporter au milieu l'oxygène nécessaire pour oxyder complètement ces matières organiques. Aussi, il est mesuré des formes réduites de l'azote (ion ammonium) et des teneurs assez élevée en phosphore issu probablement du relargage par les sédiments (conditions d'anoxie). Ces conditions peuvent être considérées comme limitantes pour le développement de la faune aquatique.
- Les sédiments présentent la marque du « bruit de fond » géochimique de l'île caractérisé par des teneurs en fer importante ainsi que quelques concentrations en métaux élevées (zinc, chrome, nickel). Il n'est pas enregistré de déclassement des sédiments par les HAP ou PCB.

## 5.1.5 Hydrobiologie

### 5.1.5.1 Sources bibliographiques

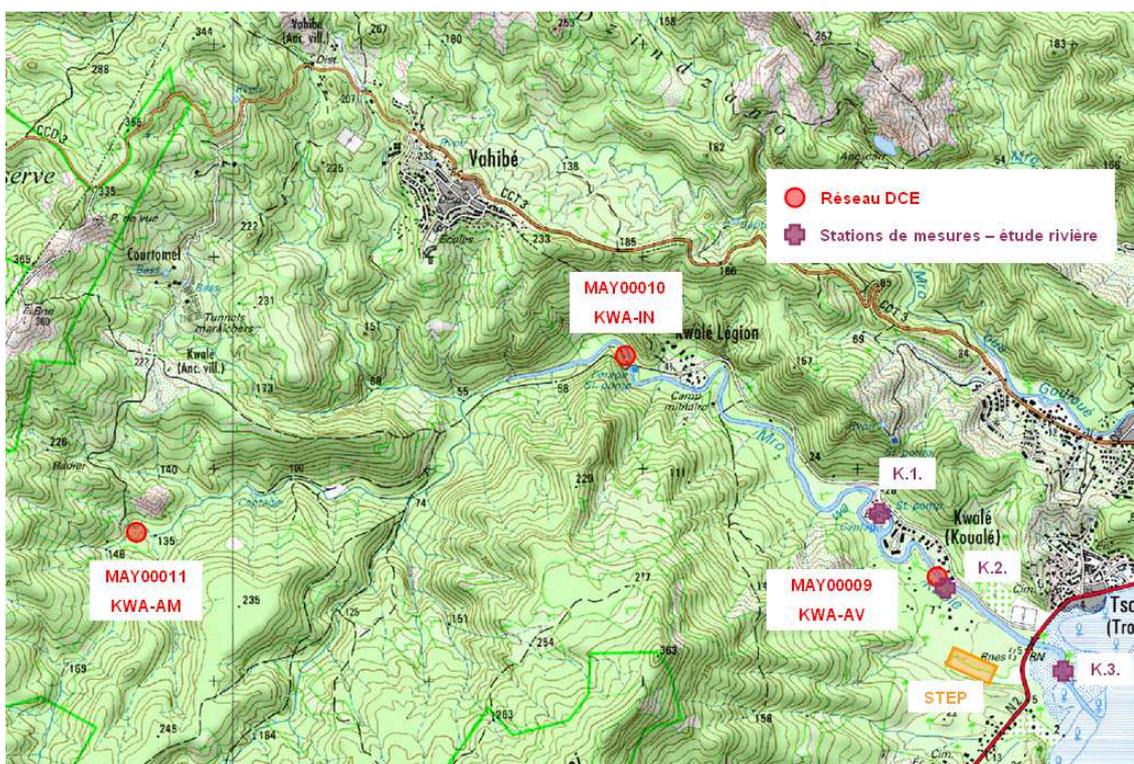
#### RESEAU DCE

Le district hydrographique de Mayotte, sous pilotage DEAL/BRGM, a mis en place un réseau de surveillance de l'état écologique des masses d'eau continentales et côtières en établissant un réseau de contrôle de surveillance (RCS) à Mayotte. Les réseaux de contrôle opérationnel (RCO) seront définis par la suite en fonction de l'évolution de l'état qualitatif des masses d'eau et d'une caractérisation précise des pressions.

Les premières données ont été acquises entre 2008 et 2010 afin de positionner les stations d'inventaires écologiques et de déterminer les méthodes les plus adaptées. Depuis 2010-2011, le RCS fourni annuellement les données de l'état des masses d'eau. Le RCS dispose de 21 stations de suivi biologique dans les eaux de surface réparties sur l'île dont 3 stations sur la Kwalé réparties respectivement sur :

- le secteur amont (code station : MAY00011, notée KWA-AM),
- le secteur médian (code station : MAY00010, notée KWA-IN),
- le secteur aval (code station : MAY00009, notée KWA-AV). Cette station est positionnée quelques dizaines de mètres en amont de la station K.2.

Figure 8 : Stations de mesures DCE (réseau RCS) de la Kwalé



Les compartiments diatomées (algues), macro-benthos et macro-crustacés/poissons sont inventoriés 1 fois par an sur l'ensemble de ces stations. Les prélèvements sont réalisés en période de basses eaux, entre septembre et octobre pour les diatomées et en juillet/aout pour le macro-benthos/macro-crustacés/poissons.

L'ensemble de la communauté scientifique et des gestionnaires s'accordent sur le fait qu'il n'existe pas de grille d'interprétation adaptée au contexte Mahorais (ainsi qu'aux autres DOM) sur les compartiments biologiques. Un travail d'adaptation des grilles de qualité (physico-chimie et biologique) est en cours de réalisation par l'INRA (financement de l'ONEMA) afin d'aboutir à des référentiels adaptés courant 2013.

Aussi, à ce jour, une analyse à dire d'expert et le choix de quelques variables robustes (nombre d'espèces, taxons indicateurs...) permettent d'évaluer l'état de qualité biologique des masses d'eau.

## ETUDE SUR L'IMPACT DES LESSIVES DE 2004

Dans le cadre de l'étude sur l'usage des lessives à Mayotte réalisée en 2004 pour le compte de la DAF par Asconit Consultant, une évaluation de la qualité algale de la Kwalé avait été réalisée sur 3 stations. La station aval était située au sud du village de Koualé, correspondant géographiquement à la station du réseau DCE KWA-AV (voir localisation ci-avant).

Seul le compartiment diatomées avait fait l'objet d'investigation dans le cadre de cette étude (absence d'analyse pour le macro-benthos, macro-crustacés/poissons).

### 5.1.5.2 Les compartiments biologiques étudiés : intérêt et rôle

#### COMPARTIMENT DIATOMEES

Les diatomées sont des algues microscopiques couramment utilisées en tant que bioindicateurs de la qualité des eaux. Elles sont connues pour réagir **aux altérations de la qualité des eaux** par des modifications quantitatives et qualitatives des peuplements tels que :

- Régression du nombre de taxons et baisse de la diversité spécifiques (pollutions toxiques) ;
- Remplacement des formes les plus sensibles par des espèces plus résistantes ou indifférentes ;
- Prolifération d'espèces présentant des affinités pour un type d'altération (formes saprohiles ou hétérotrophes pour les pollutions organiques, halophiles pour la présence de sel...)
- Diminution de la taille des espèces et présence de formes anormales.
- Aussi, l'analyse des diatomées confirment généralement les analyses physico-chimiques sur l'eau et permet d'évaluer la réponse biologique aux altérations de cette dernière (rejet domestique, présence de matière organique, apports de nutriments, micro-polluants...).
- Les notes indicelles obtenues par le calcul de deux indices diatomiques couramment utilisés en métropole (IPS et IBD) permettent d'aborder deux méthodes courantes d'évaluation de la qualité biologique des eaux. **Pour autant, si le calcul fiable de ces indices en métropole est issu du retour d'expérience et de la validation des méthodes à travers l'exploitation de chroniques, les calculs d'indices ne sont que trop récemment utilisés à Mayotte, non validés scientifiquement en milieu tropical et doivent impérativement être accompagnés d'une analyse du contexte et d'une interprétation à dire d'expert.**

#### COMPARTIMENT MACROBENTHOS

Les macro-invertébrés benthiques représentent un ensemble d'organismes dont la taille en fin de développement larvaire est supérieure au millimètre. Cette faune comprend deux grands groupes d'organismes : des animaux dont le développement est strictement aquatique tels les oligochètes (vers), les mollusques et les crustacés et des animaux dont le développement larvaire se passe en milieu aquatique et la phase adulte en milieu aérien. Ce dernier groupe concerne la majorité des insectes aquatiques.

Le macro-benthos est un compartiment intégrateur des fonctionnalités des milieux aquatiques au travers :

- Des conditions hydrodynamiques : ces dernières dépendent principalement de la pente et des faciès d'écoulement qui en découlent ainsi que de l'hydrologie (débit). On distingue ainsi les espèces réophiles inféodées aux milieux courants (radiers, cascades, plats courant...) des espèces lentiques (plat profond, vasques, mouilles). Ainsi, on constate dans les rivières mahoraises le développement d'espèces différentes selon la saison en lien avec les modifications des conditions hydrodynamiques ;
- Des conditions physico-chimiques : les flux de nutriments, sels, MES, micropolluants et autres composés dissous favorisent ou au contraire contraignent le développement des espèces. On distingue les espèces polluo-sensibles des espèces tolérantes voir résistantes ;
- Des paramètres physiques : la granulométrie et l'organisation des substrats forment avec les conditions hydrodynamiques les micro-habitats colonisés par le macro-benthos. Chaque espèce a ses propres exigences selon sa taille, son mode d'alimentation, sa stratégie de déplacement... A noter que les dépôts de matières organiques d'origine végétale (exemple des litières) ou minérale (vases, limons...) sur les substrats modifient de façon majeur les caractéristiques des habitats engendrant une sélection forte sur les espèces.

Le protocole d'échantillonnage utilisé à Mayotte dans le cadre du RCS est adapté à partir de celui de l'Indice Biotique de la Nouvelle-Calédonie (Mary, 1999) et des recommandations de la circulaire DCE 2007/22 du 11 avril 2007 relative au prélèvement et au traitement des échantillons d'invertébrés pour la mise en œuvre du programme de surveillance sur cours d'eau. Il respecte la norme XP T90-333 (septembre 2009) concernant le protocole de prélèvement de la macrofaune benthique. L'échantillonnage est effectué dans les secteurs lotiques (faciès courants) et lentiques (faciès calmes).

## COMPARTIMENT MACRO-CRUSTACES ET POISSONS

De la même manière que les macro-invertébrés benthiques, les macro-crustacés et les poissons sont intégrateurs de l'ensemble des paramètres du milieu : conditions hydrodynamiques, physico-chimiques et physiques.

Les inventaires sont réalisés par pêche électrique selon la méthode de pêche totale ou par ambiances selon les caractéristiques des stations.

Les peuplements observés en rivière sont majoritairement composés d'espèces migrant alternativement en eau douce et en eau salée (espèces migratrices diadromes) suivant les périodes de leur vie afin d'accomplir leur cycle biologique. On y distingue :

- Les espèces catadromes : la vie se déroule majoritairement en eau douce et les adultes migrent en mer pour s'y reproduire. A Mayotte, il s'agit du Poisson plat (*Kuhlia* sp.), des anguilles...
- Les espèces amphidromes : la reproduction et la ponte des adultes se déroulent en eau douce. Les larves sont entraînées par le courant vers la mer (le plus souvent pendant la saison humide) où elles se développent. Les juvéniles retournent par la suite en eau douce pour achever leur croissance et atteindre leur maturité sexuelle. Il s'agit de la stratégie la plus commune des espèces rencontrées dans les cours d'eau mahorais : cabots (*Gobiidae* et *Elotridae*) et macrocrustacés.

Les analyses réalisées depuis 2008 sur les peuplements mahorais ont permis de mettre en évidence deux caractéristiques fortes :

- Une forte corrélation entre les différents peuplements rencontrés et les types de bassins versants, de milieux et d'habitats ;
- Une structure longitudinale des peuplements à l'échelle d'un bassin versant donné, incluant notamment un gradient amont/aval en terme d'abondance et d'occurrence des espèces.

### 5.1.5.3 Qualité biologique de la Kwalé

#### COMPARTIMENT DIATOMÉES

Les diatomées contactées sur la Kwalé sont typiques des régions calcaires moyennement minéralisées, les espèces étant majoritairement alcaliphiles.

Au droit de la station K.2, les diatomées sont caractérisées majoritairement par des taxons halophiles (optimum de développement pour une salinité comprise entre 0,9 et 1,8 ‰), représentées essentiellement par *Nitzschia bulnheimiana* et indiquant la présence de sels dissous. Ce résultat confirme biologiquement l'influence marine qui s'étend jusqu'à la station K.2.

Le groupe le plus représenté sur la station en aval du village de Koualé sont les *Bacillariaceae*, espèces habituellement saprophytes<sup>15</sup> ou N-hétérotrophes. La diversité spécifique y est particulièrement faible comparativement aux stations situées plus en amont.

Les taxons inventoriés sur l'ensemble du cours de la Kwalé indique un milieu eutrophe (« bien nourri »), témoignant d'apports réguliers en nutriments. Les nutriments disponibles dans le milieu sont probablement issus des apports domestiques et des produits de lessives (phosphore). Les concentrations relativement réduites en NKJ dans les eaux sont confirmées par l'affinité modérée des taxons pour l'azote organique. L'affinité vis-à-vis des matières organiques est forte sur la Kwalé aval (classée  $\beta$ -mésosaprobe) comparativement aux stations plus en amont, témoignant d'un enrichissement progressif vers l'aval. Ce gradient amont-aval de matières organiques est également observé dans les sédiments.

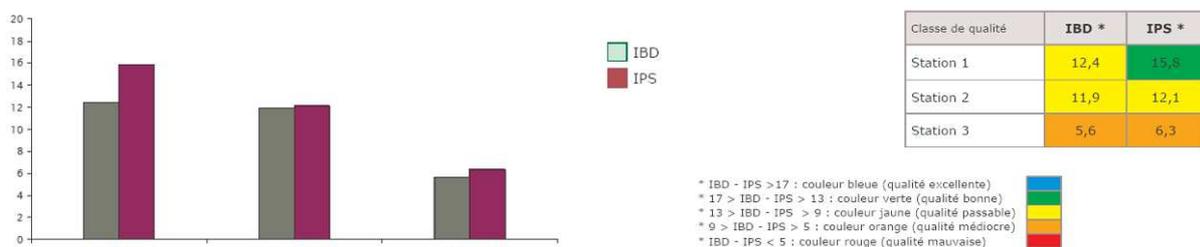
Sur le secteur non soumis à influence marine, un développement d'algues filamenteuses peut être observé sur les substrats grossiers de types galets et blocs. Dans la zone sous influence marine (en aval du village de Koualé, station K.2.), **les dépôts de vases sur les substrats limitent considérablement le développement d'algues.** Le marnage régulier ainsi que l'influence saline réduisent également la colonisation d'algues dulçaquicoles<sup>16</sup>.

Les figures ci-après présentent les valeurs de ces indices mesurées en 2004 (étude lessives) sur 3 stations du bassin ainsi que les résultats de l'année 2010 issus du RCS.

On regroupe spatialement les stations de ces deux réseaux de la façon suivante :

- « Station 1 » correspond à « KWAM »
- « Station 2 » correspond à « KWIN »
- « Station 3 » correspond à « KWAV ». Correspond à quelques dizaines de mètres près à la station K.2 de la présente étude.

Figure 9 : Calcul de l'IBD et de l'IPS sur 3 stations de la Kwalé - étude lessives - 2004



<sup>15</sup> Saprophyte : qualifie toute espèce qui apprécie un milieu riche en matière organique putréfiée

<sup>16</sup> Dulçaquicole : qui vit en eau douce.

Figure 10 : Calcul de l'IBD et de l'IPS sur 3 stations de la Kwalé - réseau RCS - 2010

Kwalé	amont	<b>KWAM</b>	15,3	15,6
	intermédiaire	<b>KWIN</b>	14,9	16,7
	aval	<b>KWAV</b>	14,3	17,1

On constate certaines disparités dans le calcul des indices IBD et IPS :

- Sur les stations amont et intermédiaire, la qualité évaluée varie de « moyenne » à « bonne ». La variation interannuelle d'une classe de qualité sur un compartiment biologique est classique et ne nécessite pas de commentaire particulier ;
- Sur la station aval, la qualité évaluée varie de « médiocre » à « bonne », voir « très bonne » sur l'IPS. Les premières données RCS acquises en 2008 classaient même l'IPS de la station Kwalé aval en « mauvaise » lors d'un prélèvement en octobre. En terme d'interprétation, il est probable que ces variations de l'indice diatomique soient liées aux différences du régime hydrologique des 2-3 mois précédents les prélèvements ayant pour conséquence de faire varier « artificiellement » les proportions de taxons plus ou moins polluo-sensibles. Une hydrologie soutenue a pour effet de favoriser les taxons rhéophiles souvent classés comme plus polluo-sensibles.

### COMPARTIMENT MACROBENTHOS

Les éléments présentés ci-après sont issus du rapport 2010 du réseau RCS.

Les analyses soulignent une nette différence de la composition des peuplements benthiques à l'étiage et en période de moyennes eaux.

En effet, le nombre d'individus prélevés a été deux fois et demi plus important à l'étiage, saison où les organismes strictement aquatiques sont dominants (vers, Némertiens, crustacés ostracodes, hydracariens, mollusques). En revanche, la proportion d'insectes a été deux fois moindre durant cette période. Les insectes diptères dominent largement les peuplements benthiques aux deux saisons, et les éphéméroptères sont mieux représentés en période de moyennes eaux alors que les odonates le sont plus à l'étiage.

Les différences observées s'expliquent essentiellement par les conditions physicochimiques et hydrologiques opposant les 2 saisons :

- l'étiage se caractérise, dans la majorité des stations, par de faibles débits, des conditions hydrologiques stables, un niveau des eaux relativement bas et un envasement important (accumulation de matières organiques d'origine végétale). Ces éléments favorisent la multiplication et la sédentarisation des taxa strictement aquatiques et/ou inféodés aux milieux de type lentique ;
- la période humide (moyennes et hautes eaux) est plus propice au développement des taxa sensibles aux perturbations et/ou rhéophiles tels que les insectes éphéméroptères ou certains trichoptères.

Ces analyses mettent en évidence l'importance du régime hydrologique sur les conditions mésologiques<sup>17</sup> des stations (quantité de matières organiques d'origine végétale plus ou moins importante, influence les rejets directs ou diffus d'origines anthropiques...).

<sup>17</sup> La mésologie est une science ayant pour objet l'étude des réactions réciproques de l'organisme et du milieu.

La compilation des différents indices de diversités existants a permis d'évaluer la qualité globale du peuplement de macro-benthos. Sur la Kwalé, les inventaires montrent une qualité qui varie en 2008-2009 de :

- « Très bon » à « moyen » sur la Kwalé amont ;
- « Bon » à « moyen » sur la Kwalé médiane ;
- « moyenne » à mauvaise sur la Kwalé aval.
- Une dégradation de l'amont vers l'aval de la qualité biologique est ainsi enregistrée à travers l'étude du macrobenthos.

## COMPARTIMENT MACROCRUSTACES ET POISSONS

L'état des lieux/diagnostic de la qualité des peuplements de macro-crustacés se basent sur 2 années d'inventaires (2008 et 2009) permettant d'avoir un aperçu relativement fiable de la répartition des espèces et des variations temporelles observées.

Comparativement aux autres cours d'eau de l'île, la Kwalé présente le plus grand nombre de poissons inventoriés (16 taxons). On y observe une forte disparité de la diversité selon les stations : sur les 12 stations de pêche du réseau RCS, c'est la station Kwalé amont (KWA-AM) qui présente la plus faible diversité (6 taxons) alors que la station Kwalé aval (intitulée KWA-AV, proche K.2.) présente la plus forte diversité de l'île avec 14 taxons enregistrés.

Figure 11 : Représentativité du bassin versant de la Kwalé par rapport à la richesse spécifique totale de Mayotte - réseau RCS - ARDA -rapport 2010

	Nombre de taxons			% de la richesse spécifique mahoraise		
	Poissons	Crustacés	Total	en poissons	en crustacés	totale
BOUYOUNI	7	6	13	33%	67%	43%
COCONI	8	5	13	38%	56%	43%
DAPANI	9	5	14	43%	56%	47%
DEMBENI	6	8	14	29%	89%	47%
MTSANGACHEHI	11	7	18	52%	78%	60%
OUROVENI	13	8	21	62%	89%	70%
KWALÉ	16	7	23	76%	78%	77%

■ Richesse relative élevée ■ Richesse relative moyenne ■ Richesse relative faible

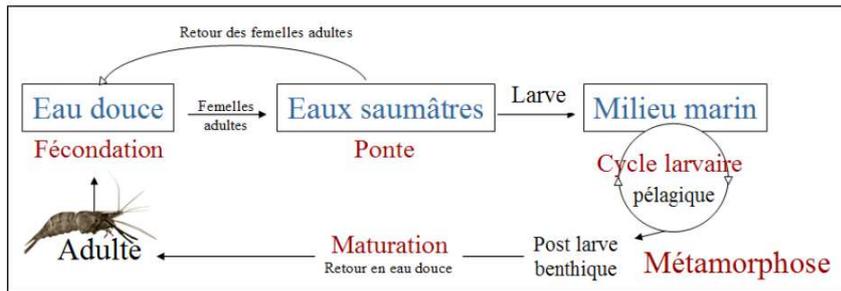
Parmi les taxons les plus fréquemment inventoriés dans la Kwalé, on distingue :

- L'anguille, dont *anguilla marmorata* dont les densités vont décroissantes de l'aval vers l'amont;
- Les cabots (*Eleotridae*) comme *Elotris fusca*, bien représentés sur la Kwalé présentant également un gradient longitudinal de densité similaire à *anguilla marmorata*. On notera également la présence de *Cotylopus rubripinnis* – petit gobie endémique de l'archipel des Comores : il s'agit d'une espèce rhéophile contactée sur le cours amont et aval de la Kwalé ;
- Les macro-crustacés présent en forte densité comme les crevettes (*Caridina longirostris* présent sur les 3 stations de la Kwalé), chevrettes (*Palaemon concinnus*) et crabes comme *Varuna littorata* ;
- Le poisson plat *Kulia rupestris* est quant à lui représenté en très faible densité sur la Kwalé malgré la présence de faciès d'écoulement potentiellement favorables ;

Il est observé sur les stations une faible variabilité interannuelle des richesses spécifiques (il a été réalisé des pêches en saison humide et en saison sèche) avec très peu de variations du cortège d'espèces sur un même site. Aussi, il ne semble pas que l'hydrologie ou la saison soit un paramètre de contrôle majeur sur l'évolution dans le temps des peuplements de macro-crustacés et de poissons. La distance à l'estuaire, et par conséquent l'influence marine, semble être le principal critère explicatif de la répartition des poissons sur la Kwalé.



Figure 13 : Cycle de vie des crevettes amphidromes du genre *Macrobrachium* - G. Zimmermann



Les connaissances sur les poissons de la Kwalé et de Mayotte restent réduites. Beaucoup d'incertitudes demeurent sur les cycles de développement et les paramètres de contrôles qui régissent les populations. La difficulté d'inventaires dans des milieux difficiles à appréhender (exemple des zones estuariennes), la complexité des cycles de développement des espèces et les faibles retours d'expériences ou de chroniques de données limitent l'exhaustivité d'un diagnostic sur le sujet.

Si la tolérance à la salinité et les capacités de déplacement sont relativement bien appréhendées pour chaque espèce (fonctionnalité permettant d'expliquer les zonations longitudinales), la définition des niveaux de polluo-sensibilités et de tolérance à certains paramètres chimiques pour les différents taxons sont encore méconnus.

Des analyses/tests spécifiques et les chroniques acquissent dans le cadre du réseau DCE permettront à terme de constituer un jeu de données précieux pour une analyse plus fine des peuplements en lien avec les paramètres des milieux.

Photo 12 : Inventaires réalisés par le Parc Marin sur le cours aval de la Kwalé - juillet 2012 - BRLi



Une étude est de plus en cours de réalisation par le Parc Marin sur trois rivières de Mayotte, dont la Kwalé, afin d'étudier la dynamique des peuplements de poissons liés aux mangroves et aux estuaires. Les nouvelles données acquises dans le cadre de ce programme permettront de mieux appréhender les liens entre les différentes composantes du système.

## SYNTHESE DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DE LA KWALE

L'étude des différents compartiments biologiques sur la Kwalé réalisée dans le cadre du réseau DCE (RCS) permet de proposer le diagnostic suivant :

- Les compartiments diatomées et macro-benthos sont inféodés au régime hydrologique du cours d'eau : la qualité biologique est alors principalement dépendante des caractéristiques hydrologiques précédant la période d'inventaire.
- Le compartiment macro-benthos/poisson présente globalement un gradient de densité longitudinal amont-aval mettant en lumière les capacités de colonisation des espèces et des cycles de développement inféodés au milieu marin.
- Une qualité biologique des diatomées et macro-benthos dégradée et s'altérant de l'amont vers l'aval du bassin. L'apport progressif de nutriments, probablement issus de rejets domestiques, et de matières organiques (origine naturelle ou anthropique) en est le principal facteur. Les traits biologiques des espèces (préciser traits dominants...) confirment les mesures et le diagnostic réalisés sur les paramètres physico-chimiques dans l'eau et les sédiments.
- La qualité piscicole et macro-crustacés semble elle s'améliorer de l'amont vers l'aval par l'augmentation progressive des densités et des richesses. Pour ce dernier facteur, la proximité du milieu marin est le principal facteur explicatif.
- Des incertitudes encore nombreuses sur les interactions entre les paramètres du milieu et les dynamiques des espèces.

## 5.1.6 Synthèse de la qualité du milieu et évaluation de sa sensibilité

### 5.1.6.1 Etat des compartiments chimiques et biologiques actuels

#### ETAT PHYSICO-CHIMIQUE

Les facteurs responsables des dégradations physico-chimiques observées sont :

- Une pression organique, éventuellement amplifiée par des toxiques (chrome, nickel, zinc), sur les parties médianes et aval de la Kwalé
- Une désoxygénation des eaux en période sèche liée à l'existence de rejets diffus (rejets domestiques, lessives...) et aux conditions naturelles (faible agitation des eaux, excès de végétation allochtone dans le fond du lit consommant l'oxygène dissous) ;
- Une accumulation du phosphore dans les sédiments pouvant être relargué lors de conditions anoxique (période sèche) ou transféré via les MES dans le cours aval et le lagon lors d'événements pluvieux intenses ;
- Un colmatage fort des substrats par des particules fines limitant le développement de la flore et de la faune aquatique. Ce colmatage est particulièrement important dans la zone soumise à l'influence marine.

#### ETAT BIOLOGIQUE

- La réponse biologique s'appréhende de la façon suivante :
- Une qualité biologique (diatomées et macro-benthos) soumise à peu de pressions en période des pluies en raison de la dilution des apports trophiques, une bonne oxygénation et un caractère rhéophile<sup>18</sup> favorisé ;
- Une période sèche considérée comme limitante pour la faune aquatique en raison des fortes concentrations en matières organiques consommant l'oxygène dissous ;

<sup>18</sup> Rhéophile : qualifie les organismes qui aiment évoluer dans les zones de courant.

- Une diversité biologique pour le compartiment macro-crustacés et poissons dépendant de la proximité du milieu marin ;
- Une qualité biologique dégradée et s'altérant de l'amont vers l'aval du bassin en raison de l'accumulation des pressions

### 5.1.6.2 Sensibilité et capacité d'acceptation du milieu

La phase d'état des lieux/diagnostic met en lumière une forte dégradation des compartiments physico-chimiques et biologiques.

Au regard d'un objectif de « bon état des masses d'eau » en 2021 pour le bassin de la Kwalé, d'importants efforts doivent être engagés pour limiter la pression anthropique, principalement chimique, sur les communautés.

On distingue sur la Kwalé deux secteurs au fonctionnement et la sensibilité distincte :

- Secteur de la Kwalé non soumis à l'influence marine  
**La capacité d'acceptation de la Kwalé est particulièrement réduite voir nulle en saison sèche à ce jour** : le milieu est altéré et particulièrement sensible en saison sèche (débits réduits, qualité des eaux dégradée) ne peut recevoir une pression supplémentaire sans risquer de nouveaux déséquilibres (pertes de taxons...).
- Secteur de la Kwalé soumis à l'influence marine  
 Les mouvements de marées provoquent d'importantes variations de la qualité physico-chimiques des eaux (entraînement des MES, phosphore,...) ainsi que des variations des paramètres d'habitats (variations régulières des niveaux d'eau, milieux exondés...)  
 Sur le compartiment physico-chimique et biologique, l'hypothèse est qu'à marée basse, le milieu reste sensible car il est conditionné par les apports de la Kwalé. Ces derniers sont faibles saison sèche.  
 Lors du flot, les apports marins dans le chenal de la Kwalé engendrent un volume d'eau susceptible de participer à une dilution des effluents. Ce volume peut servir à favoriser l'évacuation des effluents vers le milieu marin.

Il sera fondamental, pour conserver un hydrosystème fonctionnel, de réduire autant que possible le temps de séjour des effluents dans la Kwalé.

Un chapitre spécifique est dédié à l'optimisation d'un rejet dans la Kwalé dans les chapitres suivants.

## 5.2 ETUDE DE LA MANGROVE DE TZOUNDZOU I AU DROIT DE L'EMBOUCHURE DE LA KWALE

La mangrove située de Tzoundzou I, en tant que milieu intermédiaire entre la rivière Kwalé où est envisagé le rejet de la future STEP et le lagon, se devait au même titre que le lagon et les eaux de rivière, d'être étudiée avec attention dans le cadre de cette étude des milieux récepteurs du futur rejet de la STEP de Mamoudzou Sud. L'étude écologique de la mangrove de Chiconi a été confiée au bureau d'étude ESPACES (Olivier SOUMILLE) de Mayotte.

Les principaux résultats sont présentés ci-dessous et le rapport écologique complet est joint à ce rapport.

Lieu charnière entre terre et mer, les mangroves constituent un écosystème complexe, recevant les flux des bassins-versants et ouvert, en aval, sur le littoral soumis à l'hydrodynamisme lagonaire. Elles participent significativement à l'équilibre des systèmes biologiques et sédimentaires du littoral et du lagon et constituent à ce titre un patrimoine naturel remarquable à forte valeur économique, reconnu par les institutions nationales et internationales.

La mangrove de Tzoundzou-Passamaïnty est référencée dans l'Atlas des Mangrove établi par la DAF (novembre 2006). Les travaux de déviations de la RN2 et de création de la rocade de M'tsapéré ont occasionné d'importants défrichements suivis de remblais, amputant la mangrove de toute la partie amont. L'embouchure de la Kwalé concerna la partie Sud de cette mangrove.

*Photo 13 : Mangrove de Tzoundzou-Passamaïnty*



Source : O. SOUMILLE, ESPACES

L'état initial réalisé reprend en grande partie l'étude écologique initiée par la Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DEAL) de Mayotte au titre des mesures compensatoires de construction du nouveau pont de la rivière Kwalé réalisé par le bureau d'étude ESPACES en 2011, complété par des investigations de terrain propres à la présente étude.

Neuf transects et vingt-sept points de prélèvements (parmi lesquels 7 transects et 20 placettes déjà réalisés en 2011 lors de l'étude pour le compte de la DEAL) pour l'analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau et des sédiments, ont ainsi été réalisés depuis l'embouchure de la rivière Kwalé jusqu'en limite externe de la mangrove (cf. figure ci-après).

Il convient de souligner que cette étude n'intègre pas de diagnostic sur les enjeux liés à la faune ichthyologique présente dans la mangrove de Tzoundzou. Les données sont disponibles sont encore peu nombreuses mais une étude est en cours avec le Parc Marin de Mayotte sur trois secteurs de Mayotte, dont la Kwalé et la mangrove de Tzoundzou, afin d'étudier la dynamique des peuplements de poissons liés aux mangroves et aux estuaires. Il conviendra de mentionner dans les conclusions finales, le rôle important des mangroves en tant qu'habitat privilégié de refuge, de reproduction et de nourricerie des juvéniles de poissons et l'impact attendu du rejet sur ces populations.

## 5.2.1 Caractéristiques des habitats

**Six habitats principaux**, sur les onze inventoriés, ont fait l'objet de mesures dans la mangrove de Tsoundzou 1. Ils représentent **78.3%** de la surface totale de la mangrove. Si l'on inclut les tannes dépourvus de végétation qui ne nécessitaient pas de mesures des peuplements ce sont 96.9% de la mangrove qui ont ainsi été échantillonnés dans le cadre de cette étude. Les 4 formations non prospectées ne représentent que 3.1 % de la surface totale du site.

Les habitats identifiés peuvent être regroupés en **5 grands types** selon la typologie des habitats naturels de Mayotte (cf. tableau suivant) :

- les **tannes et mangroves supralittorales sur vases salées** largement prédominantes qui représentent près de la moitié de la surface du site avec 49,4% du total ;
- les **mangroves centrales mésohalines sur vases à Rhizophoracées** qui représentent 29.9%, soit près du tiers de la surface totale ;
- Les **mangroves internes perhalines sur vases à Avicennia marina** représentent 12.6% de la surface totale et les mangroves externes sur vases à Sonneratia alba n'en représentent que 7.3%.
- Enfin, les **mangroves internes oligohalines sur vases** sont très faiblement représentées avec seulement 0.8% du total.

Tableau 18 : Répartition des habitats de la mangrove de Tsoundzou 1

Habitat		Surface en ha	% de la surface totale	% de la surface totale
Mangroves externes sur vases à Sonneratia alba	Mangrove perhaline de front de mer à Sonneratia alba	1,78	7,4%	8,1%
	Mangrove externe sablo-vaseuse à Sonneratia alba et Avicennia marina	0,18	0,7%	
Mangroves centrales mésohalines sur vases à Rhizophoracées	Mangrove haute à Rhizophora mucronata et Bruguiera gymnorhiza	3,8	15,7%	29,2%
	Mangrove basse à Ceriops tagal	0,072	0,3%	
	Mangrove de transition à Rhizophoracées et Avicennia marina	3,18	13,2%	
Mangroves internes oligohalines sur vases	Mangrove interne à Lummitzera racemosa	0,2	0,8%	0,8%
Mangroves internes perhalines sur vases à Avicennia marina	Mangrove perhaline interne ouverte à Avicennia marina	0,3	1,2%	12,5%
	Mangrove perhaline interne dense à Avicennia marina et Ceriops tagal	2,73	11,3%	
Tannes et mangroves supralittorales sur vases salées	Tanne	4,5	18,6%	49,3%
	Tanne à Avicennia marina épars	2,89	12,0%	
	Mangrove supralittorale à Avicennia marina	4,53	18,7%	
		<b>24,2</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Figure 14 : Habitats dans la mangrove de Tsoundzou I

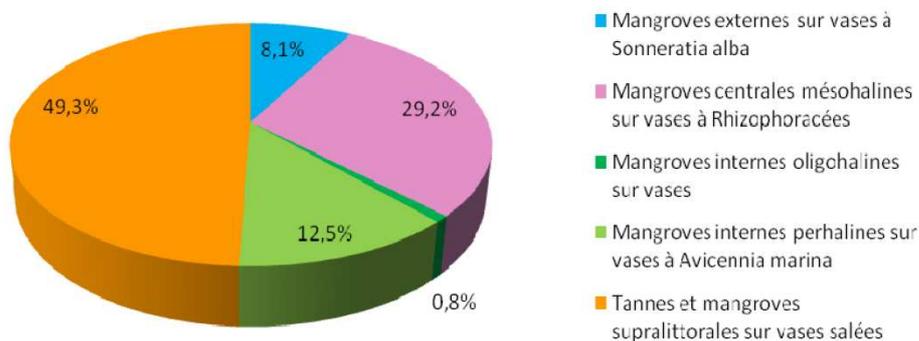
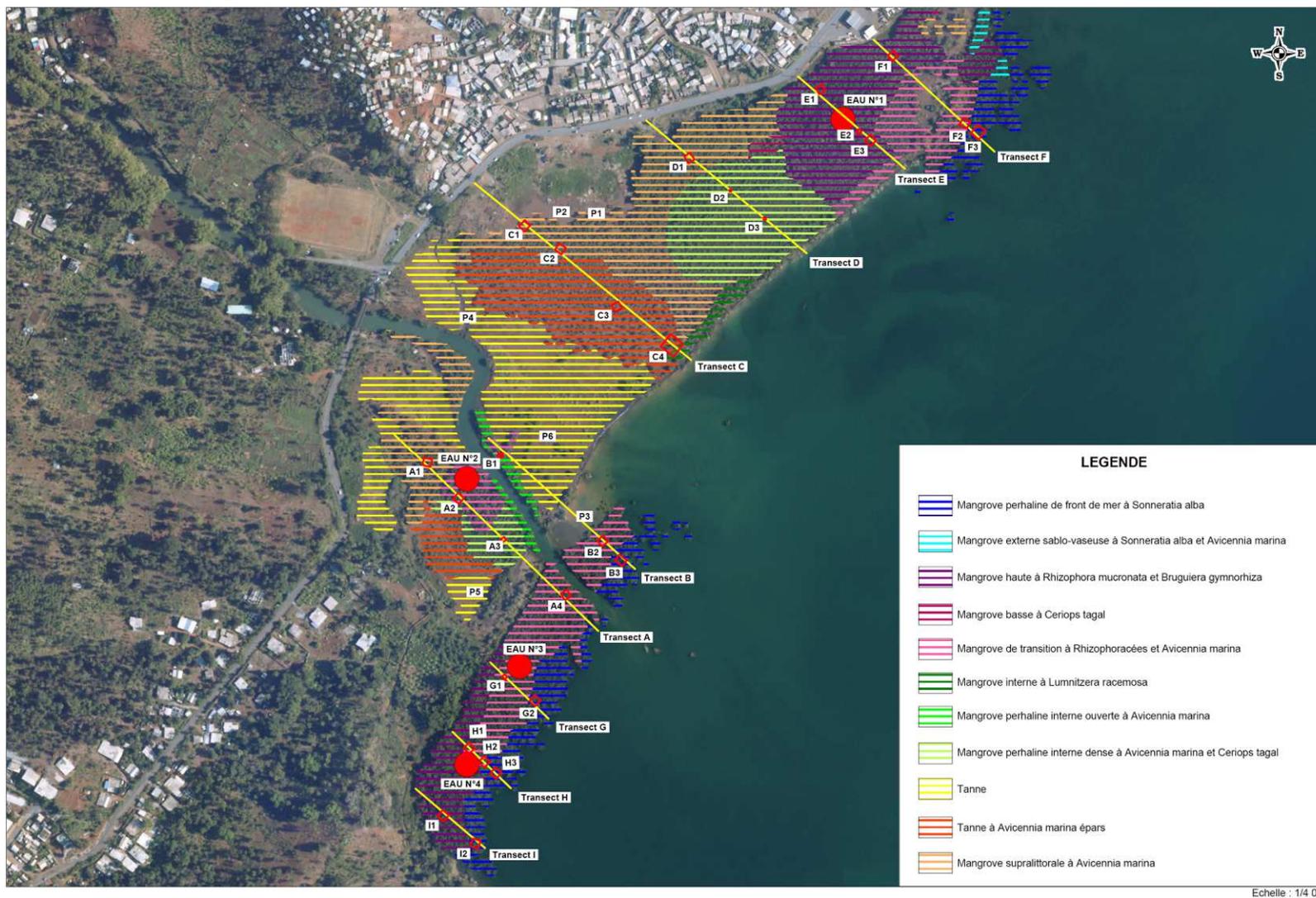


Figure 15 : Carte des habitats de la mangrove de Tzoundzou I. Repérage des transects et placettes





*Photo 14 : Principaux habitats de la mangrove de Tzoundzou I - De gauche à droite : secteur de tanne à Avicennia marina épars et mangrove supralittorale à Avicennia marina, Mangrove perhaline interne dense à Avicennia marina et Ceriops tagal*



*Mangrove perhaline de front de mer à Sonneratia alba*



*Source : Olivier SOUMILLE, ESPACES*

Les caractéristiques moyennes des habitats inventoriés mettent en évidence une très grande disparité de leurs caractéristiques. Les peuplements possédant les plus grandes surface terrière et hauteur sont par ordre décroissant :

1. Mangrove haute à *Rhizophora mucronata* et *Bruguiera gymnorhiza*
2. Mangrove perhaline de front de mer à *Sonneratia alba*
3. Mangrove de transition à Rhizophoracées et *Avicennia marina*
4. Mangrove supralittorale à *Avicennia marina*
5. Mangrove perhaline interne dense à *Avicennia marina* et *Ceriops tagal*
6. Tanne à *Avicennia marina* épars

Dégradations d'origine anthropiques :

Les dégradations concernent principalement les habitats dont l'altitude est la plus élevée et qui sont peu concernés par les marées la plupart des temps c'est-à-dire les tannes à *Avicennia marina* épars et la mangrove supralittorale à *Avicennia marina* qui font l'objet d'un pâturage permanent par un troupeau de zébus, et de prélèvements de bois pour le fourrage ou pour le combustible.

Dans les autres habitats, les dégradations concernent principalement du prélèvement de petits bois, le plus souvent à proximité du village de Tsoundzou 1 ou sur les secteurs exondés la plupart du temps. La mangrove perhaline de front de mer à Sonneratia alba qui est la plus éloignée du village et la plus souvent inondée est logiquement épargnée par ces dégradations.



Il convient de souligner également la présence de nombreux déchets sur tout le littoral et dans les habitats en front de mer. Ces déchets sont principalement des plastiques, cannettes métalliques, pneus et vêtements charriés par les principaux exutoires débouchant dans la mangrove.

## 5.2.2 Faune de la mangrove

L'étude faunistique a porté sur les crabes et les oiseaux. Les résultats des observations des crabes (réalisées par le bureau d'étude KUW) et de l'avifaune (menées par l'association GEPOMAY) sont résumés ci-après. Pour plus de détail se reporter à l'étude complète jointe à ce rapport.

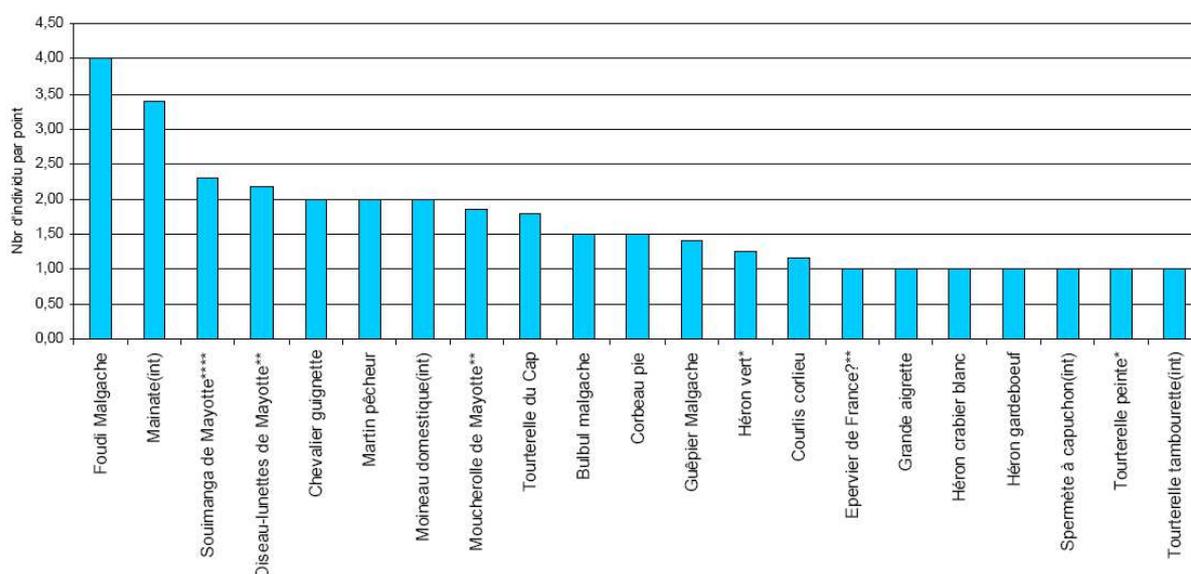
### 5.2.2.1 Avifaune

La mangrove de Tsoundzou 1, secteur Sud, présente une **grande richesse spécifique (21 espèces** d'oiseaux observées au total) avec des espèces d'un intérêt patrimonial fort tel que le Souïmanga de Mayotte, l'oiseau lunette de Mayotte, le moucherolle, le héron vert et le héron crabier blanc. Cette grande richesse spécifique s'explique par la particularité des mangroves de Mayotte qui concentrent à la fois des oiseaux de forêts naturelles, des oiseaux des zones humides et des oiseaux marins. Les résultats sont conformes à ceux des inventaires effectués en mangrove pour la qualification des ZNIEFF (Rocamora, 2004).

Les espèces rencontrées sont principalement nicheuses et sédentaires à Mayotte en dehors des limicoles et des ardéidés rencontrés. Du point de vue de l'état de conservation, elles sont presque toutes classées en préoccupation mineure de la liste rouge de l'UICN sauf le Héron Crabier Blanc **classé en danger d'extinction**.

2 espèces apparaissent largement abondantes, le foudi malgache et le martin triste, espèce introduite (cf. Figure 16).

Figure 16 : Indice d'abondance de la mangrove de Tzoundzou I (n=12) juillet 2011



La richesse spécifique la plus importante se retrouve dans les habitats de mangrove interne dense à *Avicennia marina* et *Ceriops tagal* pour sa difficulté d'accès et la protection offerte aux oiseaux et en mangrove supralittorale à *Avicennia marina*, milieu plus ouvert (cf. carte ci-après). Ensuite, la richesse est également importante dans la mangrove centrale à *Rhizophora mucronata* et *Bruguiera gymnorrhiza*.

La richesse spécifique la moins importante se retrouve en mangrove externe dans la mangrove perhaline de front de mer à *Sonneratia alba*.

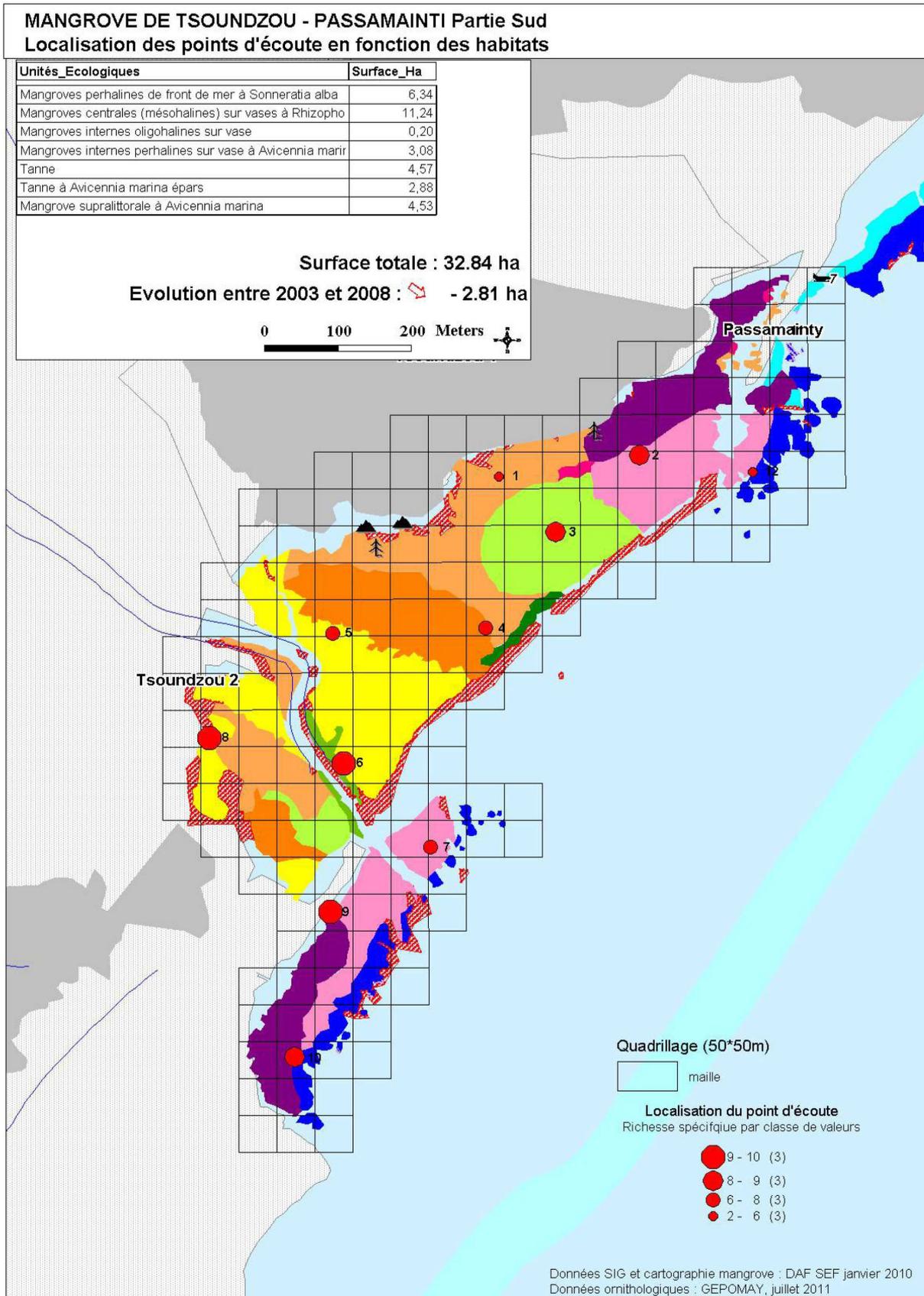
Par contre, la spécificité de la mangrove de Tzoundzou 1 où les successions végétales classiques de la mer à la terre sont perturbées par des défrichements, des remblais, des déchets et des rejets d'eaux usées, implique que des secteurs a priori intéressants présentent une richesse spécifique faible. Le point d'écoute 1 situé en mangrove supralittorale à *Avicennia marina* a par exemple une richesse spécifique de 4 alors que dans un habitat comparable dans la même mangrove on atteint des richesses spécifiques de l'ordre de 8 à 10.

Figure 17 : Répartition de la richesse spécifique par habitat

Habitat	Richesse spécifique moyenne
Mangrove de transition à Rhizophoracées et <i>Avicennia marina</i>	6,00
Mangrove haute à <i>Rhizophora mucronata</i> et <i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	<b>8,00</b>
Mangrove perhaline de front de mer à <i>Sonneratia alba</i>	4,00
Mangrove perhaline interne dense à <i>Avicennia marina</i> et à <i>Ceriops tagal</i>	<b>9,00</b>
Mangrove supralittorale à <i>Avicennia marina</i>	<b>9,00</b>
Tanne à <i>Avicennia marina</i> épars	7,00
<b>Moyenne Richesse spécifique</b>	<b>6,92</b>

La carte ci-après représente à la fois la localisation des points d'écoute mais également la richesse spécifique moyenne par point en fonction des habitats.

Figure 18 : Cartographie des points d'écoute et des habitats



### 5.2.2.2 Faune carcinologique

Le compartiment faunistique « crabes<sup>19</sup> » est un compartiment biologique essentiel au bon fonctionnement de l'écosystème mangrove. La densité spécifique des populations de crabes a donc été étudiée au niveau de dix placettes réparties sur l'ensemble des 7 transects au sein de la mangrove choisies afin d'assurer au mieux la représentativité des sites, aussi bien pour les faciès pédo-morphologiques que floristiques, mais aussi spatiaux, les premiers considérés étant localisés à l'entrée de Tsoundzou I (Transect F/placette 1, 2) et les derniers se situant à la sortie du village (Transect G/placette1) en passant par les rives de la Kwalé (transect B, placette B1 et transect A placettes A2 et A3), le transect C, placette 3, le transect D placettes 1 et 2 et le transect E placette 1 (cf. Figure 15).

La biodiversité carcinologique du site est élevée et identique à celle d'une précédente étude (dans la mangrove de Malamani Bouchard, 2009) si l'on considère le nombre de jours de terrain effectué. Seules deux espèces n'ont pas pu être observées, mais il est possible qu'elles puissent l'être sur d'autres stations (Sesarmops impressus vit par exemple dans des milieux plus dulçaquicoles et pourrait être observé plus haut dans le lit de la Kwalé).

**15 espèces de crabes** réparties sur l'ensemble des biotopes de la mangrove ont été répertoriées (cf. Tableau 19). Le cortège d'espèce est caractéristique des milieux semi-humides de type mangrove avec de nombreuses espèces de Sesarmidae et d'Ocypodidae.

Tableau 19 : Répartition des espèces de crabes par familles systématiques

FAMILLES	Gecarcinidae	Portunidae	Dotillidae	Sesarmidae	Macrophthalmidae	Ocypodidae
<b>ESPÈCES</b>						
<i>Cardisoma carnifex</i>	X					
<i>Scylla serrata</i>		X				
<i>Dotilla fenestrata</i>			X			
<i>Chiromantes ortmanni</i>				X		
<i>Neosarmatum meinerti</i>				X		
<i>Neosarmatum smithii</i>				X		
<i>Parasesarma leptosoma</i>				X		
<i>Perisesarma guttatum</i>				X		
<i>Macrophthalmus (Mareotis) depressus</i>					X	
<i>Uca (Cranuca) inversa</i>						X
<i>Uca (Gelasimus) tetragonon</i>						X
<i>Uca (Gelasimus) vocans</i>						X
<i>Uca (Paraleptuca) annulipes</i>						X
<i>Uca (Paraleptuca) chlorophthalmus</i>						X
<i>Uca (Tubuca) urvillei</i>						X
<b>TOTAL esp/famille</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>6</b>

Dans les placettes étudiées, les populations ont colonisé de façon optimale le milieu, laissant penser à leur bonne vitalité, forant une surface importante afin d'assurer leur survie aux prédateurs et aux conditions de température et d'humidité parfois difficiles. A part dans certaines zones (tels les bords de route ou la tanne centrale, très aride), les espèces de crabes présentes sont installées durablement. Les zones à *Avicennia marina* + *Ceriops tagal* sont celles qui sont colonisées par le plus grand cortège d'espèces.

<sup>19</sup> ou crustacés brachyours

Photo 15 : *Neosarmatium meinerti* (à gauche) et *Uca vocans* (à droite)



Les Sesarmidae (5 espèces) ainsi que les Ocypodidae (6 espèces) rassemblent à elles deux 73% des espèces présentes. Cette proportion est tout à fait courante et parfaitement caractéristique des biocénoses de type mangrove.

Les Sesarmidae sont de loin les populations les plus représentées sur les placettes d'études, ces dernières possédant la végétation nécessaire à leur nourriture. Pour leur part les Ocypodidae, ou crabes-violonistes, nécessitent la présence d'eau courante et de sols plutôt humides et meubles afin de trouver le tapis algal indispensable à leur alimentation.

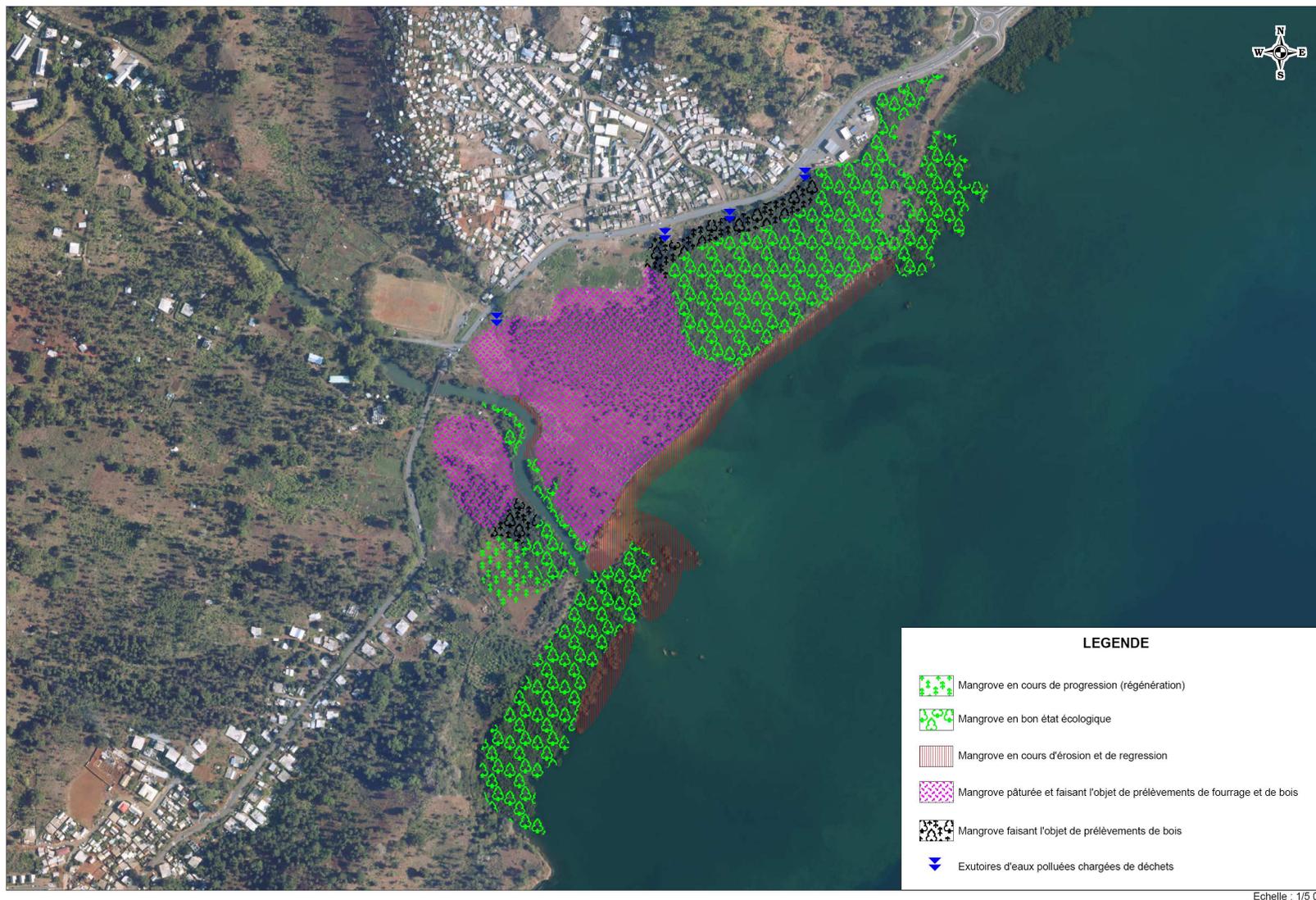
Dans ce milieu, les petits drains de ruissellement sont nombreux, permettant l'installation des crabes violonistes, dont les juvéniles sont observés en grande quantité. Bien que dense, le milieu peut être considéré comme semi-ouvert, conservant ainsi une humidité relative importante, condition nécessaire à la survie de ces populations. Le peu de perturbation d'origine anthropique facilite l'installation de ces mêmes espèces et la nourriture abondante assure leur bonne vitalité.

Généralement les successions végétales des milieux de type mangrove sont parallèles au trait de côte, ce qui n'est le cas ici que pour la partie Sud et Nord de la mangrove (forte vitalité). La partie centrale, impactée par les inondations de la Kwalé lorsqu'elle sort de son lit, ne présente plus cette caractéristique et est constituée par des « patchs » de végétation. Pour cette raison, une étude similaire en déterminant un transect parallèle au trait de côte apporterait des éléments nouveaux.

Les populations de crabes, inféodées au type de végétation, sont elles aussi « patchées ». Seul *S. meinerti*, espèce commune et particulièrement résistante aux zones plus arides, parvient à ce maintenir de façon durable dans la grande tanne centrale à la saison sèche. Dans un milieu un peu moins sec, sous couverture végétale, elle doit partager la niche écologique avec son homologue en taille, *N. smithii*. Ainsi, il pourrait être intéressant de pratiquer un nouveau comptage à la saison humide afin de constater si des populations différentes viennent s'adjoindre à celles résistantes aux conditions les plus arides.

Bien que les comptages effectués permettent d'estimer la taille des populations carcinologiques sur les différentes successions végétales, il convient de rester prudent sur les extrapolations basées sur nos résultats. En effet, d'un point de vue statistique, le nombre de réplicas des quadrats reste insuffisant non seulement pour étendre les proportions à l'ensemble d'une zone végétale, mais aussi pour assurer un suivi dans le temps.

Figure 19 : Synthèse de l'état écologique de la mangrove de Tsoundzou 1





### 5.2.3 Synthèse de l'état écologique de la mangrove de Tsoundzou 1

La Figure 19 synthétise l'état écologique de la mangrove de Tsoundzou 1 en intégrant ses différents compartiments : érosion, végétation, faune.

#### 5.2.3.1 Végétation

La mangrove de Tsoundzou présente des faciès de végétation diversifiés par rapport à la plupart des autres mangroves de Mayotte. Cette diversité des peuplements sur un même site est favorable à la diversité faunistique puisque chaque espèce peut trouver un habitat qui lui convient.

L'état sanitaire de la grande majorité des formations est satisfaisant. Nous notons toutefois que les formations de front de mer (mangrove perhaline à *Sonneratia alba*) sont en état sanitaire moyen à mauvais selon les secteurs sans doute en raison de leur âge mais aussi de facteurs naturels (parasites, érosion du front de mer) qui leurs sont actuellement défavorables.

*Photo 16 : Mangrove perhaline de front de mer à *Sonneratia alba* dépérissante*



Source : ESPACES

Les dégradations anthropiques sont nombreuses sur une grande partie de la zone d'étude :

- coupes et prélèvement de bois ou de branches d'*Avicennia marina* (fourrage) sur tous les secteurs facilement accessibles (secteurs les plus hauts, rarement inondés, lisières du village de Tsoundzou 1 principalement),

*Photo 17 : Coupes de bois près du village de Tsoundzou 1 / Régénération d'*Avicennia marina* broutée régulièrement par des zébus*



Source : ESPACES

- pâturage extensif de zébus et chèvres sur les tannes, tannes à *Avicennia marina* épars et mangrove supralittorale à *Avicennia marina* qui subissent à la fois le broutage de la végétation mais aussi un piétinement intense qui compacte le sol et limite les possibilités de régénération. Les quelques régénérations d'*Avicennia marina* observées près du village sont maintenues à l'état de bonzaïs par les animaux.
- rejets d'eaux pluviales et eaux usées domestiques provenant du village de Tsoundzou 1 qui outre les polluants qu'elles contiennent charrient également de nombreux déchets.

Photo 18 : Exutoires d'eaux pluviales du village de Tsoundzou 1 dans la mangrove



Source : ESPACES

La présence de régénération naturelle (semis, plantules) est très disparate d'un secteur à l'autre. Elle est généralement très faible sous les peuplements adultes et mûres et plus présente dans les peuplements clairsemés. Il est inquiétant de constater qu'aucune plantule n'est présente au niveau des formations de front de mer mûres et en cours de dépérissement.

Un secteur à l'extrémité Ouest du site en arrière du cordon dunaire semble particulièrement propice au développement d'une jeune mangrove d'*Avicennia marina*.

Photo 19 : Régénération d'*Avicennia marina* à l'ouest de la mangrove



Source : ESPACES

### 5.2.3.2 Faune

Sans surprise, ce sont les faciès de mangrove les plus préservés et à l'abri des dégradations anthropiques qui comportent la faune la plus diversifiée et la plus nombreuse, qu'il s'agisse des oiseaux ou des crabes.

La richesse spécifique la plus importante se retrouve dans les habitats de mangrove interne dense à *Avicennia marina* et *Ceriops tagal* pour sa difficulté d'accès et la protection offerte aux oiseaux et pour les nombreux petits drains qui s'y trouvent et qui sont favorables aux crabes.

La richesse spécifique la moins importante se retrouve en mangrove externe dans la mangrove perhaline de front de mer à *Sonneratia alba* qui est l'habitat qui est le plus souvent inondé.

## 5.3 ETUDE DU MILIEU MARIN AU DROIT DE L'EMBOUCHURE DE LA KWALE

L'étude du milieu marin comprend trois prestations :

- L'étude bathymétrique et courantologique, qui a été confiée au bureau d'étude Hémisphère Sub/Biotope Océans ;
- L'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux et de sédiments marins réalisée par le GIS LAG-MAY (B. Thomassin et C. Marschal) ;
- L'étude du compartiment vivant du lagon confiée au bureau d'étude ISIRUS de Mayotte (V. DINHUT).

### 5.3.1 Cartographie bathymétrique et mesures de courants au large de l'embouchure de la Kwalé

Afin d'améliorer les connaissances sur les caractéristiques physiques et l'hydrodynamisme du milieu marin au droit de l'embouchure de la rivière Kwalé et de réunir les données nécessaires au calage du modèle hydrodynamique utilisé de dispersion des effluents en mer réalisé par ailleurs dans le cadre de cette même étude de milieu (tranche conditionnelle 3 – P. Gourbesville), des campagnes de mesures de courants et une cartographie bathymétrique ont été réalisées.

BRLi a confié cette prestation au bureau d'étude **Hémisphère Sub/Biotope Océans**.

Les principaux résultats de cette étude sont présentés ci-après. L'intégralité du rapport de Hémisphère Sub est joint à ce rapport. *Hémisphère Sub/Biotope Océans. Novembre 2012. Projet de STEP Mamoudzou Sud. Définition du point de rejet. Cartographie bathymétrique et mesures de courants à l'embouchure de la rivière Kwalé. Rapport technique..*

#### 5.3.1.1 Travaux réalisés

Les deux types de données ont été acquises par la réalisation :

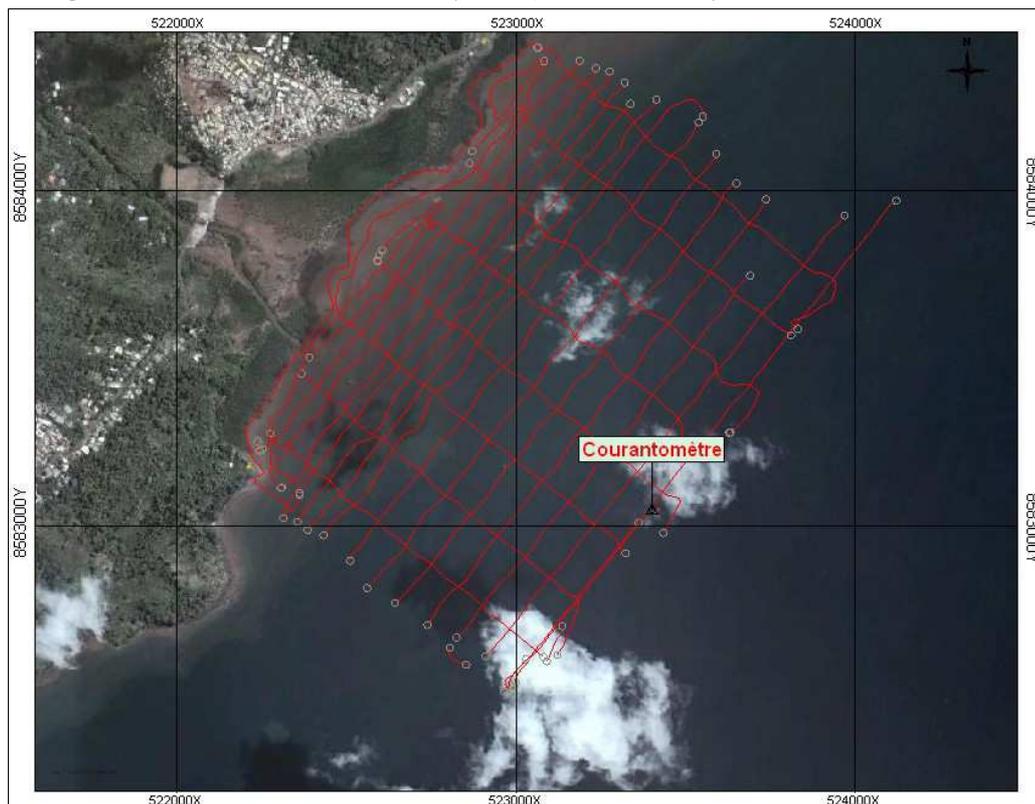
- de levé au sondeur acoustique monofaisceau sur une surface d'environ 1,8 km<sup>2</sup> pour la cartographie bathymétrique ;
- de suivis de drogues flottantes (2 demi-journées de suivi à marée descendante) et de campagnes d'un mois de mesures (toutes les 10 mn) de courant par méthode acoustique (courantomètre Doppler ADCP) à chaque saison, pour les données courantologiques.

L'ensemble des travaux réalisés est résumé dans le tableau suivant.

Tableau 20 : Synthèse des travaux réalisés et calendrier

Saison	Type de levé	Travaux réalisés	Date de réalisation
Saison chaude (saison des pluies)	Levé bathymétrique monofaisceau	Sur une surface d'environ 1600 par 1100 m, soit 1.8 km <sup>2</sup>	8 mars 2012
	Mesures de courant par ADCP	1 mois de mesures en continu	Du 7 mars au 10 avril 2012
	Suivi de drogues	Suivi de 3 drogues pendant 2*1/2 journées	Les 6 et 9 mars 2012
Saison sèche	Mesures de courant par ADCP	1 mois de mesures en continu	Du 5 juillet au 5 août 2012
	Suivi de drogues	Suivi de 3 drogues pendant 2*1/2 journées	Les 24 et 25 juillet 2012

Figure 20 : Carte des travaux bathymétriques réalisés et position du courantmètre



### 5.3.1.2 Campagne bathymétrique

Les résultats de la campagne bathymétrique sont présentés sous la forme :

- De cartes bathymétriques (l'une avec un isobathe tous les mètres et la seconde avec des isobathes tous les 10 cm afin de pouvoir apprécier la morphologie de la zone d'éstran de manière plus approfondie (cf. Figure 21 et Figure 22) ;
- D'une vue 3D du secteur ainsi que des coupes du terrain (cf. Figure 23).

D'un point de vue morphologique, la zone d'étude peut être décomposée en 3 parties.

**Une première partie** s'étend de la limite de la mangrove jusqu'à des fonds de l'ordre de +1.5 m CM selon une pente très douce de l'ordre de 0.5%. Cette zone à morphologie très homogène correspond à une grande étendue sablo-vaseuse.

Malgré la morphologie homogène de cette zone, **quelques irrégularités apparaissent dans l'évolution de la pente**. Au niveau de la Kwalé, il est notamment possible de distinguer la forme de son lit en sortie immédiate de mangrove avec dans son alignement la présence d'une accumulation sédimentaire. A ce niveau, le lit découlement de la rivière n'est plus repérable à ce niveau de détail. Il doit probablement suivre une trajectoire sinueuse contournant ce léger relief.

**Le talus du chenal de Bouzi** vient rompre la quasi-homogénéité des fonds de cette étendue sablo-vaseuse. Au-delà de la cote +1.6 m CM, les fonds plongent rapidement vers la cote + 14 m CM le long d'une pente variant entre 7 et 16% selon les secteurs.

Dans la moitié Nord, les fonds continuent à s'enfoncer selon une pente plus douce (< 2%) jusqu'à la cote approximative de 24 m CM. Plus au sud, la pente devient presque nulle par des fonds de 26 m.

Dans le tiers Sud du secteur levé, dans l'axe de la rivière Kwalé, une zone à morphologie très hétérogène est remarquable. Il s'agit d'une « patate » de corail prenant pied par des fonds d'environ 23 m CM et qui **culmine à environ 5.3 m CM**. I

A l'Ouest de cette « patate », en haut du talus, **un récif frangeant impose sa morphologie**. Il apparaît par des fonds compris entre -0.5 et 3.5 m CM.

Figure 21 : Carte bathymétrique

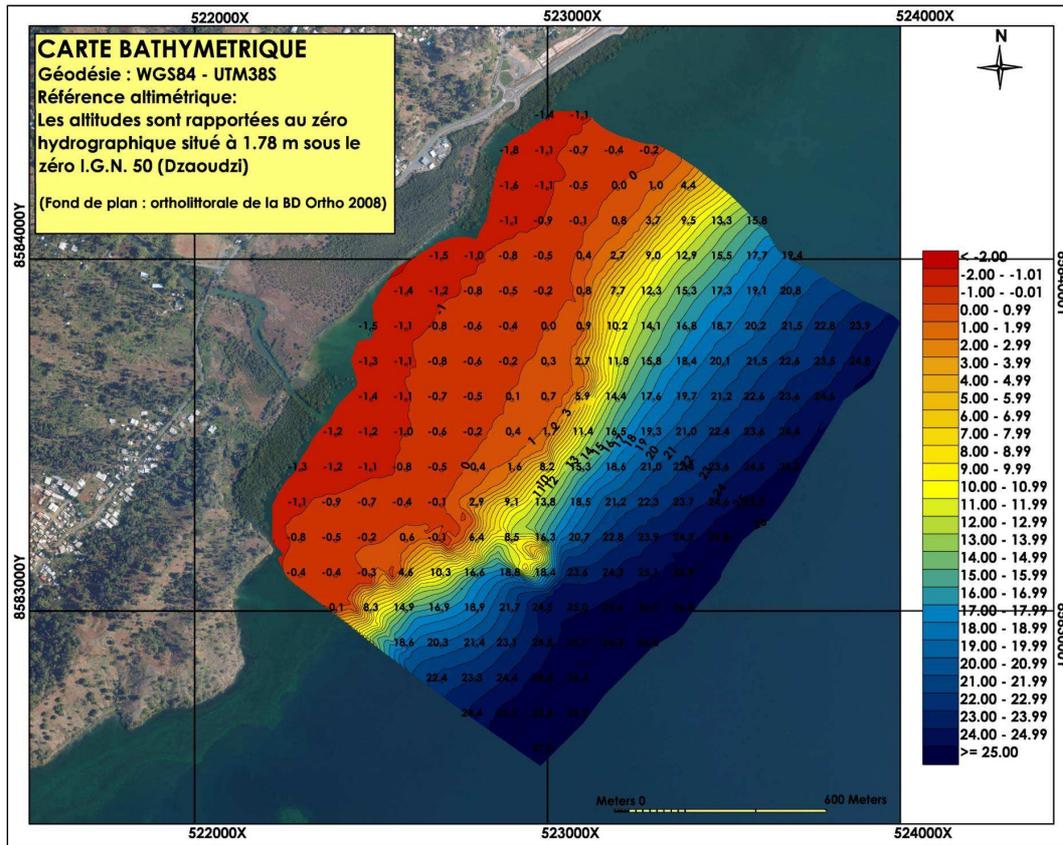
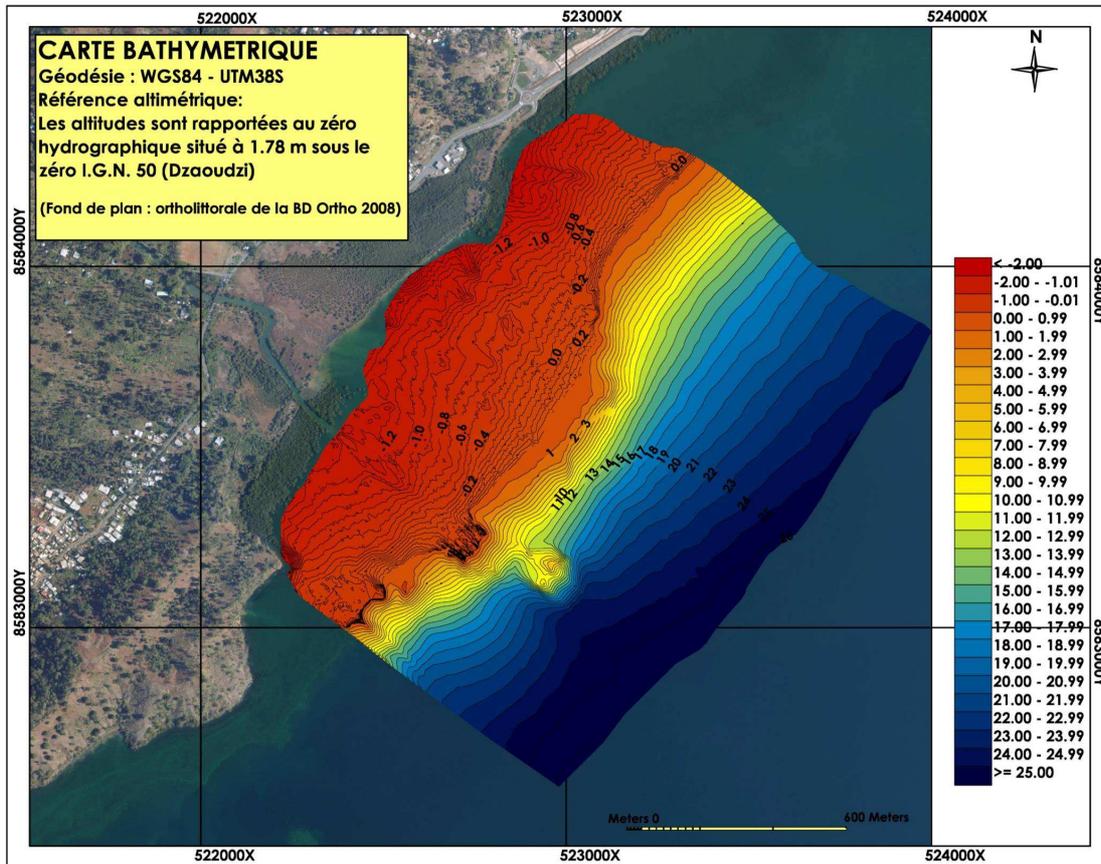
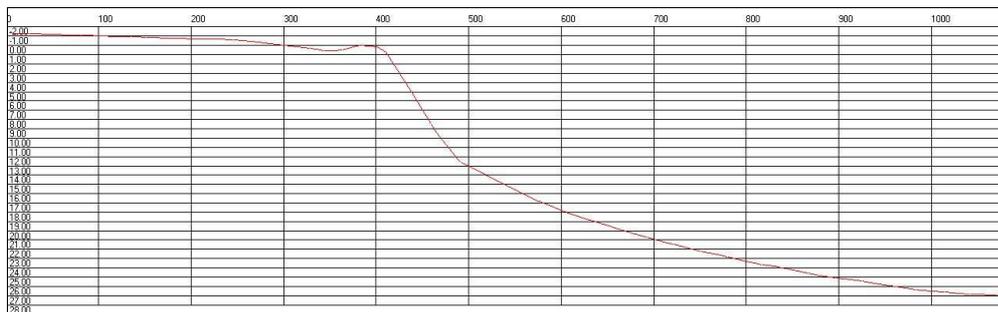
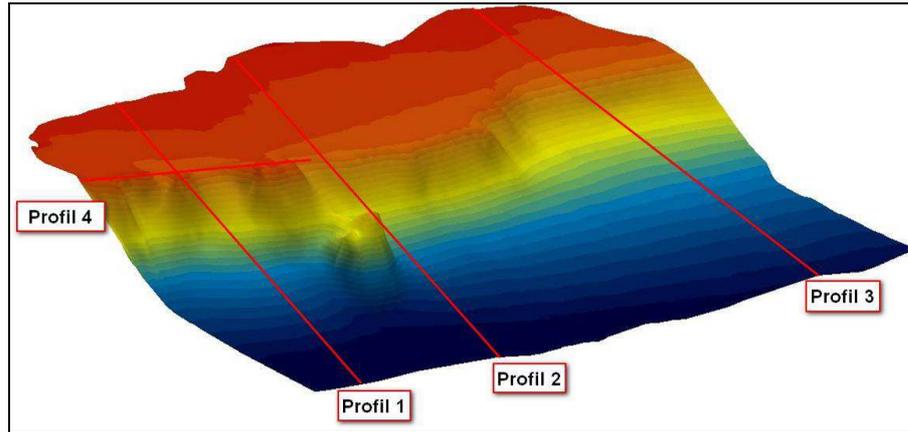


Figure 22 : Carte bathymétrique détaillée sur l'estran

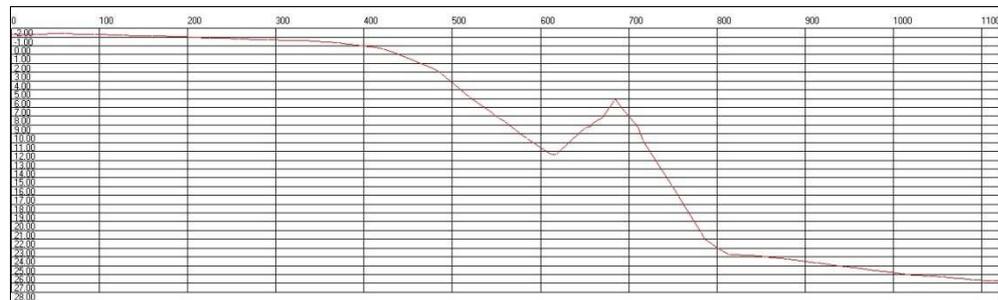


Source : Hémisphère Sub

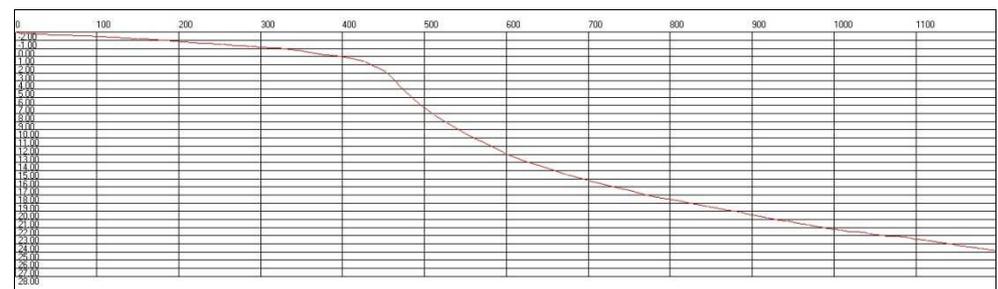
Figure 23 : Modèles 3D et coupe du terrain (Source : Hémisphère Sub)



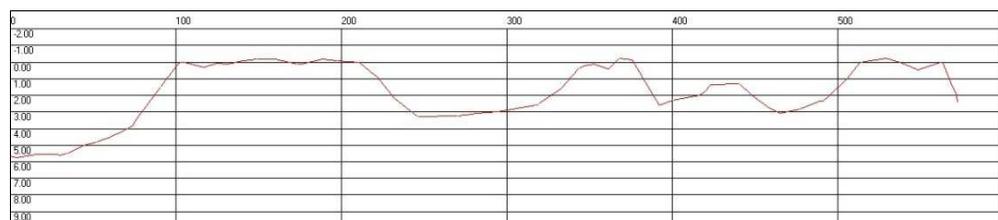
Profil 1



Profil 2



Profil 3



Profil 4

### 5.3.1.3 Mesures de courants

#### MESURES PAR COURANTOMETRE

#### Direction des courants sur la zone d'étude

Les roses de direction pour une période de marée descendante et une période de marée montante (6h d'observation/rose cf. Figure 24 et Figure 25) montrent clairement que la **marée descend** vers le **Sud-ouest** tandis que le **flot est orienté vers le Nord-est**.

Les roses de directions du courant mesurées aux 3 profondeurs pendant l'intégralité des deux campagnes montrent que **les tranches d'eau situées au fond ou au milieu de la colonne d'eau suivent globalement une direction identique quelque soit la saison** : la direction du courant de marée suivant l'axe Sud-ouest/Nord-est. En revanche, les directions des eaux de surface apparaissent plus disparates sous l'influence du vent. Les **directions de surface enregistrées pendant la saison humide** sont par exemple divisées selon deux ensembles: **vers le Sud-est et vers le Sud-ouest** (cf. Figure 26).

Figure 24 : Rose de direction de marée descendante

Figure 25 : Rose de direction de marée montante

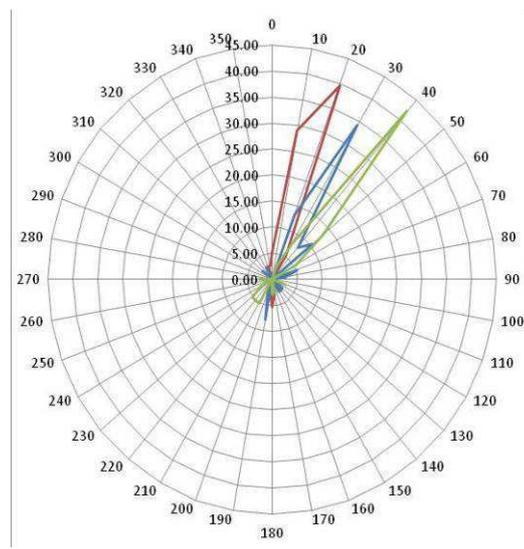
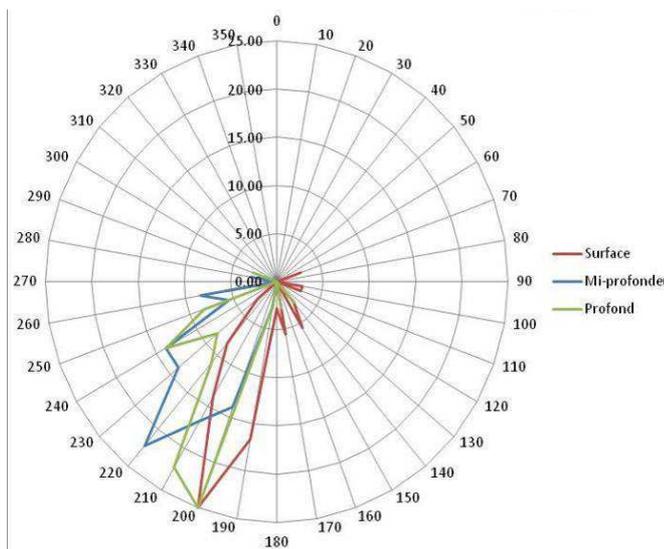


Figure 26 : Rose de direction - Saison humide

Figure 27 : Rose de direction - Saison sèche

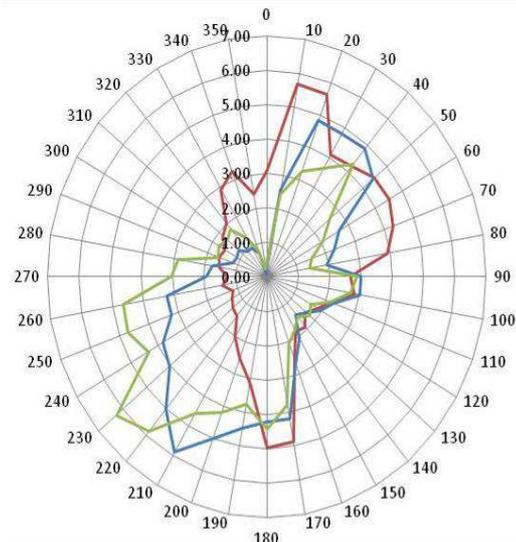
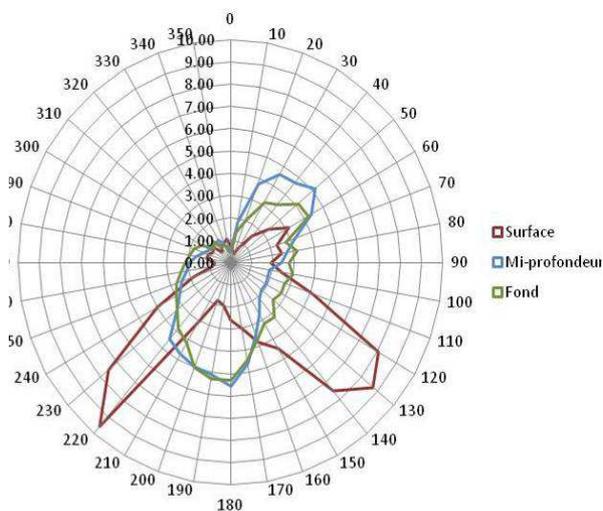


Figure 28 : Rose de direction en fonction de la profondeur - Saison humide

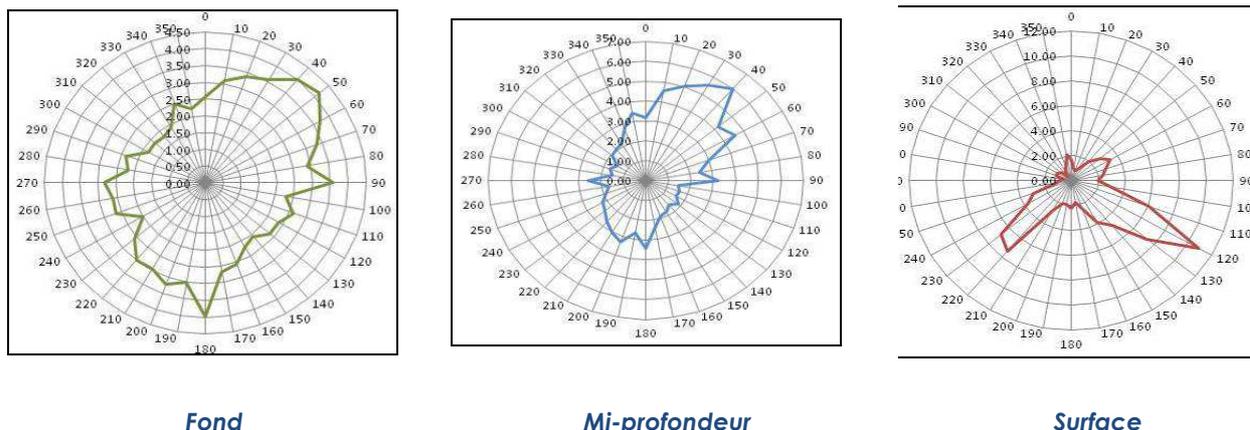
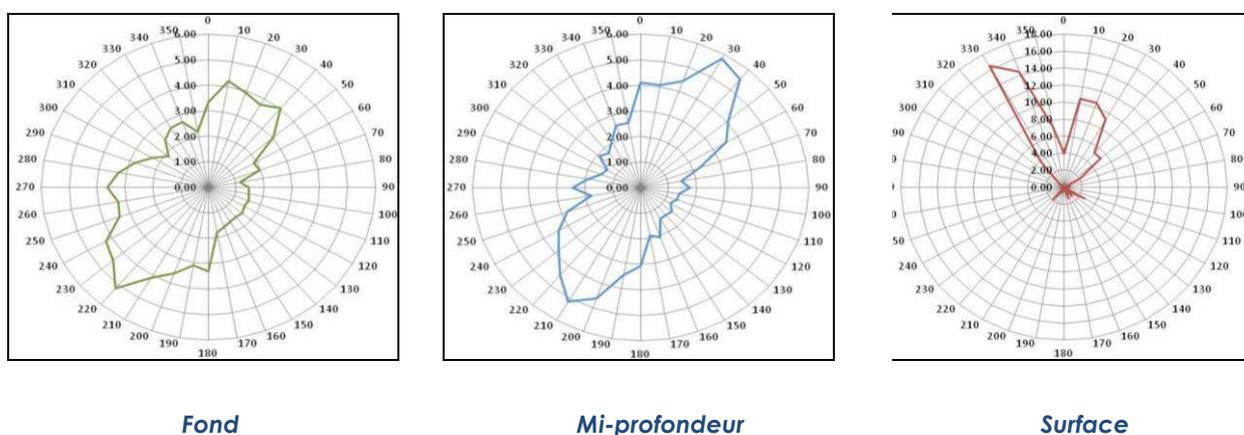


Figure 29 : Rose de direction en fonction de la profondeur - Saison sèche



Les comparaisons des trois roses des cellules fond, mi-profondeur et surface pour les deux saisons confirment pour la masse d'eau de surface, l'influence dominante du vent sur la marée. Les deux directions de surface suivies au cours de la saison humide semblent révéler l'influence de vent de direction Nord-ouest (environ 300°/nord) et de direction Nord-est (environ 40°/Nord). La saison sèche semble quant à elle avoir été dominée par des alizes de secteur Sud-Sud-est (330°/nord) et Sud-Sud-ouest (30°/nord).

### Vitesse des courants sur la zone d'étude

Les vitesses moyennes, maximales et minimales enregistrées lors des deux campagnes sont présentés dans le tableau suivant **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** pour les 3 couches d'eau (surface, milieu et fond).

Tableau 21 : Vitesses moyennes, minimales et maximales

Niveau dans la colonne d'eau	Vitesses enregistrées - Saison humide			Vitesses enregistrées - Saison sèche		
	minimum	maximum	moyenne	minimum	maximum	moyenne
Couche de surface	19 mm/s	961 mm/s	373 mm/s	3 mm/s	230 mm/s	56 mm/s
Couche de mi-profondeur	21 mm/s	207 mm/s	61 mm/s	4.5 mm/s	288 mm/s	36 mm/s
Couche de fond	20 mm/s	134 mm/s	59 mm/s	4 mm/s	119 mm/s	35 mm/s

Les observations montrent:

- La faiblesse des vitesses de courant, qui n'excèdent pas 1m/s.  
En excluant les mesures de surface, les vitesses en morte-eau (coef<45) sont le plus souvent inférieures à 0.05 m/s. Pour des coefficients compris entre 45 et 95 (marée moyenne), les vitesses sont inférieures à 0.1 m/s. Enfin en vive-eau, elles peuvent atteindre jusqu'à 0.12 m/s.
- une forte influence des vents sur les courants de surface.
- En saison humide, le maximum atteint en surface est près de 7 fois supérieur au maximum atteint près du fond. Les couches de mi-profondeur et de fond présentent quant à elles des valeurs de magnitudes équivalentes.
- des augmentations de vitesse plus fortes et plus marquées pendant les périodes de jusant. Ces pics n'interviennent pas toujours exactement à mi-marée descendante mais un peu avant (entre PM+1h30 et PM+3h).
- un décalage temporel entre les courants de fond et de mi-profondeur. Le courant de fond semblant en avance sur le courant de milieu de colonne d'eau. Cette avance est plus marquée à marée descendante et plus difficilement observable quand le marnage devient faible (coef<70).

### SUIVIS DE DROGUES FLOTTANTES

Tableau 22 : Synthèse des informations concernant les suivis de drogues

Nom du point	Date du suivi	Nom de la drogue	Direction approximative du vent	Vitesse approximative du vent (en nœuds)	Direction de dérive	Vitesse moyenne de dérive (en m/s)
Saison humide	06/03/12	Drogue A	55°N	nul puis < 10 nds	Est-Nord-Est	0.070
		Drogue B	55°N	nul puis < 10 nds	Est-Nord-Est	0.040
		Drogue C	55°N	nul puis < 10 nds	Est-Nord-Est	0.040
	09/03/12	Drogue A	340°N puis 270°N	nul puis < 10 nds	Sud-Sud-Est	0.046
		Drogue B	340°N puis 270°N	nul puis < 10 nds	Sud-Sud-Est	0.056
		Drogue C	340°N puis 270°N	nul puis < 10 nds	Sud-Sud-Est	0.036
Saison sèche	24/07/12	Drogue A	210°N	< 10 nds	Nord-Nord-Est	0.11
		Drogue B	210°N	< 10 nds	Nord-Nord-Est	0.10
		Drogue C	210°N	< 10 nds	Nord-Nord-Est	0.06
	25/07/12	Drogue A	210°N	entre 12 et 15 nds	Nord-Nord-Est	0.12
		Drogue B	210°N	entre 12 et 15 nds	Nord-Nord-Est	0.12
		Drogue C	210°N	entre 12 et 15 nds	Nord-Nord-Est	0.08

L'analyse des trajectoires de dérive des drogues flottantes lors des 4 suivis (Tableau 22, Figure 30, Figure 31, Figure 32 et figure 33) a permis de mettre en évidence ou de confirmer les points suivants :

- L'influence dominante du vent sur les courants de surface et sub-surface (même lorsqu'il est faible et que le courant de marée est diamétralement opposé voire changement de direction en milieu de suivi) ;
- L'influence de la « patate » de corail détectée par le levé bathymétrique (Figure 22) sur la directions des courants dans le secteur ;
- L'absence d'étagement des 3 premiers mètres de la colonne d'eau en termes de direction de courant ;
- L'existence d'un gradient positif des vitesses des courants à mesure que l'on se rapproche de la surface.

Figure 30 : Carte de dérive des 3 drogues du 06/03/12 (saison humide) (Source : Hémisphère Sub)

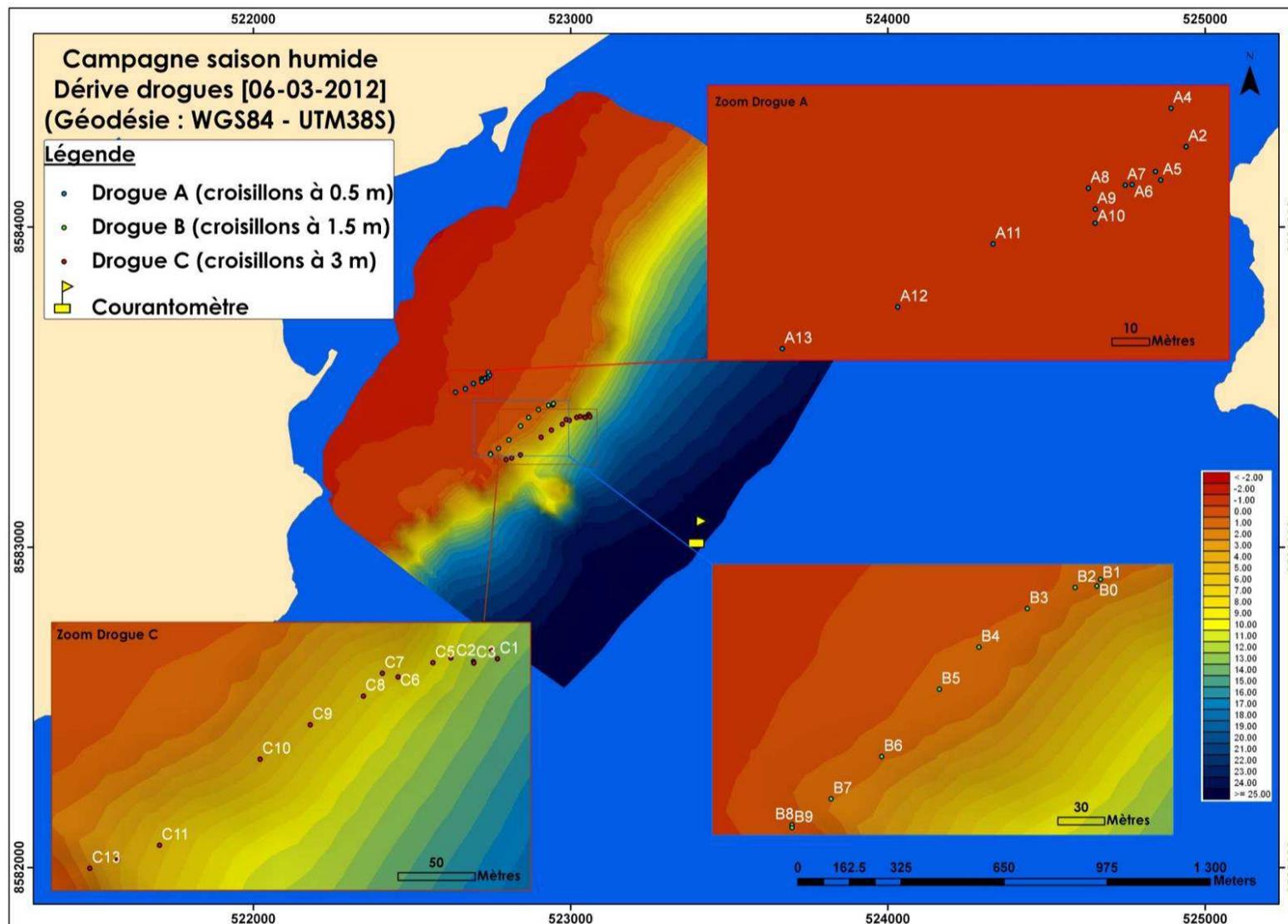


Figure 31 : Carte de dérive des 3 drogues du 09/03/12 (saison humide) (Source : Hémisphère Sub)

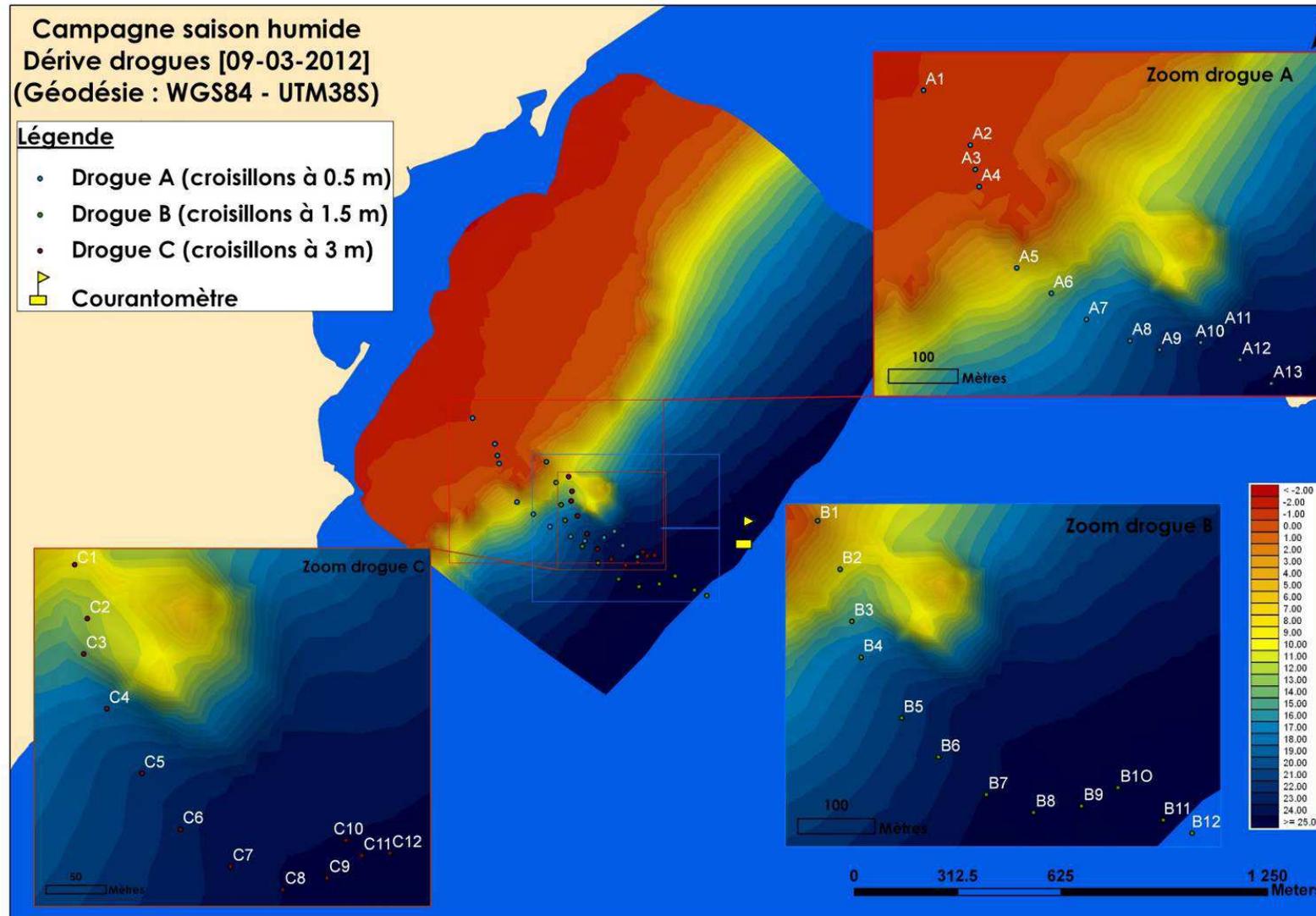
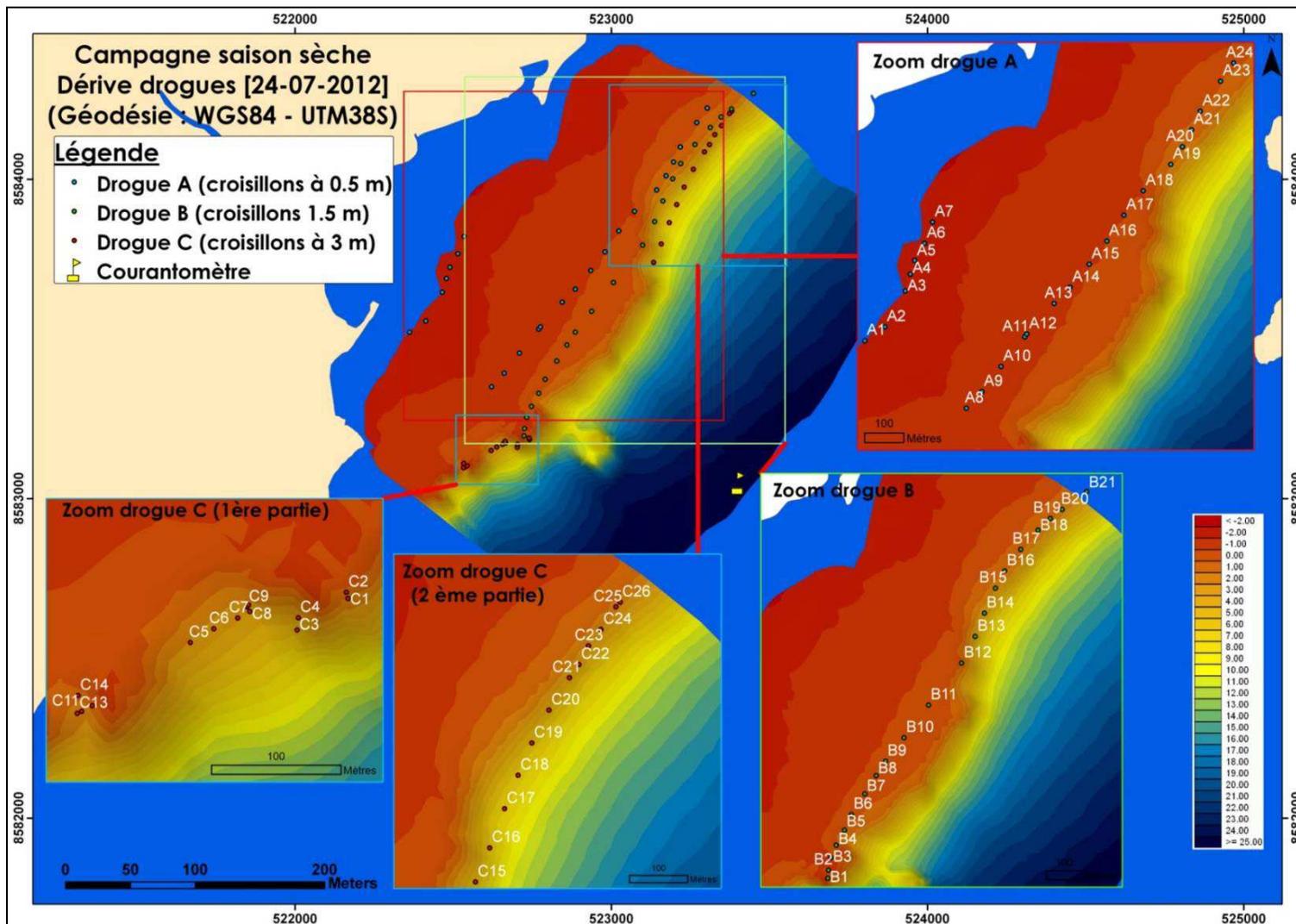


Figure 32 : Carte de dérive des 3 drogues du 24/07/12 (saison sèche) (Source : Hémisphère Sub)





### 5.3.2 Usages du lagon au droit de l'embouchure de la Kwalé

Le secteur côtier de Tsoundzou n'est pas une zone de pêche ni même de baignade (bien que les barques traditionnelles remontent dans le secteur aval de la rivière situé en mangrove elles exercent leurs activités ailleurs, plus au large).

Les jeux aquatiques des enfants sont plutôt observés vers M'tsapéré en contrebas de la rocade.

### 5.3.3 Etude de la qualité des eaux et des sédiments marins

La mission d'expertise de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux du lagon au droit de l'embouchure de la Kwalé a été confié au membre du GIS LAG MAY (Bernard THOMASSIN et Christian MARSCHALL).

Les rapports complets d'étude du prestataire concernant les campagnes de saisons chaude et froide sont joints au présent document. Les principaux résultats sont présentés ci-après.

#### 5.3.3.1 Description des campagnes

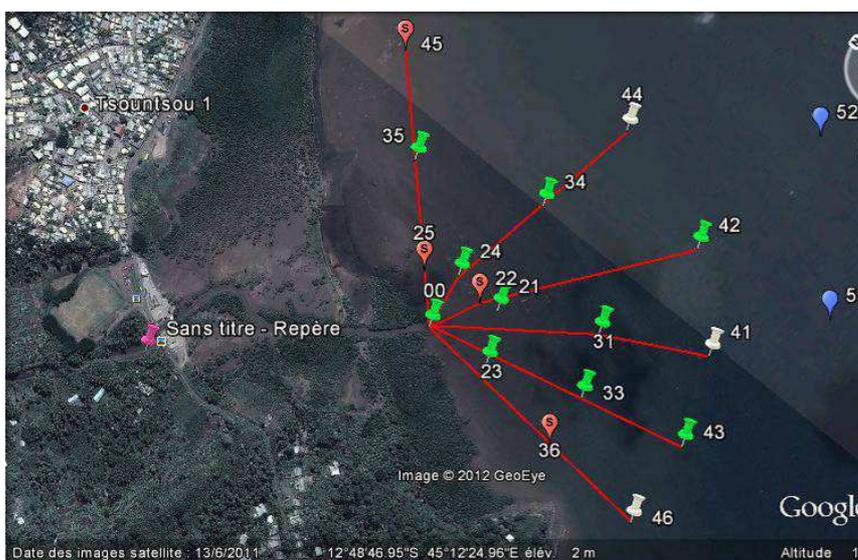
##### DATES DES CAMPAGNES

Deux campagnes d'analyses des eaux du lagon ont été réalisées: l'une en saison chaude (22, 23 et 24 février 2012) et l'autre en période d'hiver austral (24 juillet 2012).

Les prélèvements d'eau ont été effectués au jusant, entre +2 et +4h après la pleine mer, pendant une période de vives-eaux. C'est en effet à marée descendante que la plus forte influence des eaux de rivière est attendue sur les peuplements lagunaires.

##### POINTS DE PRELEVEMENTS

Figure 34 : Localisation des radiales et des stations de prélèvements



La caractérisation de la qualité des eaux lagunaires et des sédiments marins a été réalisée sur la base de l'analyse de prélèvements au niveau de **10 stations d'échantillonnage** situées sur **6 radiales partant de l'embouchure de la rivière Kwalé** (limite externe des palétuviers point 00) **jusqu'à 500 m au large, sur le front externe du récif frangeant**. Les stations se répartissent ainsi depuis l'embouchure, puis à 100 m, 300 et 500 m (cf. Figure 34 : Localisation des radiales et des stations de prélèvements).

Deux stations ont également été échantillonnées dans le chenal de Bouzi, à titre de stations de référence (point 52 et 53).

Les prélèvements hydrologiques ont été réalisés en subsurface (-30 à -50 cm sous la surface) et au-dessus du fond.

Les **prélèvements de sédiments** (au nombre de **8**) ont été réalisés à pied sur l'estran lors de grandes marées de vives-eaux, et en apnée par carottages dans 1 à 1,3 m de profondeur.

*Photo 20 : Carottages de sédiments sur l'estran à marée basse de vives-eaux*



*Source : GIS-LAG-MAY, 21 février, 2012*

Afin d'estimer les impacts éventuels des alluvions de la Kwalé sur la sédimentation de l'estran vaseux situé en aval de l'embouchure, les prélèvements de sédiments ont été réalisés :

- à l'embouchure de la Kwalé, P0 ;
- aux stations P21, P23 et P24, sur les radiales rayonnantes à partir de l'embouchure, à une distance de 100 m de celle-ci ;
- aux stations P31, P33, P34 et P35, toujours sur les radiales, mais à 300 m de l'embouchure.

Ils n'ont pas été réalisés plus loin, au vu des observations de terrain sur la nature des fonds et notamment la présence de ballast corallien et de colonies coralliennes éparses sur le front du récif frangeant (cas des stations P42 et P43).

## PARAMETRES MESURES

Les échantillons d'eau ont été confiés au laboratoire Vétérinaire et d'Analyses Départemental de Mayotte pour analyses des principaux paramètres de qualité physico-chimiques et bactériologiques : E. coli, Entérocoques et nutriments (ammonium, nitrates et nitrites, phosphates). Les MES, chlorophylle a et phéopigments ont été analysés par l'équipe du GIS LAG-MAY.

Les paramètres *in situ* suivants ont également été mesurés : mesure de la hauteur d'eau, profondeur du fond, température, pH, conductivité, potentiel redox, oxygène dissous, solides dissous totaux, mesure de la profondeur de disparation du disque de Secchi, estimation de la vitesse du courant de surface par mesure de déplacements de petits flotteurs.

Etant donné l'absence de laboratoire local agréé pour l'analyse des échantillons de sédiments, ces derniers ont été stockés au froid pour transport jusqu'en métropole afin d'être confiés au laboratoire CARSO LSEHL de Lyon pour analyses des paramètres suivants :

- microgranulométrie laser sur la fraction sédimentaire <2 mm ;
- teneur en eau ou matière sèche (%)
- teneur en matière organique total (%) par perte au feu à 450°C ;
- teneur en carbone organique (C org. mg/kg MS) ;\*
- teneur en azote total (Kjeldahl modifié) (N total mg/kg MS) ;
- minéralisation HCl/HNO<sub>3</sub> ;
- teneur en phosphore total (P total mg/kg MS).

### 5.3.3.2 Résultats et interprétations des analyses d'eaux

Les résultats des mesures des paramètres hydrologiques et bactériologiques des eaux côtières et lagunaires proches (stations réalisées à titre de références), des deux saisons période de pluies et saison froide, sont donnés dans les tableaux suivants (cf. Tableau 23, Tableau 24, Tableau 25, Tableau 26 et Tableau 27).

Afin de mieux comprendre les variations des différents paramètres hydriques, chaque situation journalière étant différente de la précédente compte tenu notamment de la pluviométrie des heures précédentes, des paramètres de la marée (heure variable de la marée haute et coefficient de marée différent), la distribution spatiale des paramètres sera analysée par matinée de prélèvements dans un 1<sup>er</sup> temps. Dans un 2<sup>nd</sup> temps, les variations des paramètres entre eux seront analysées en regroupant toutes les observations et mesures.

#### MATINEE DU 22 FEVRIER 2012 (SAISON DES PLUIES)

La température des eaux de surface et de subsurface (-0,4 m env.) varie entre 30,18°C et 30,56°C, et l'on observe un très léger gradient thermique ( $\Delta T^\circ = +0,22$  et  $+0,31^\circ\text{C}$ ) depuis la station la plus côtière (station 31) vers la bordure du récif et vers le large (stations 42 et 52).

La salinité est comprise entre 32,27 dans le chenal de Bouzi et 30,75 unité S au niveau de la station 43 dans la couche de subsurface (-0,3 m).

Alors que la densité des eaux est supérieure à 1,02 kg/m<sup>3</sup> aux stations 31, 33 et 52, au large, on observe qu'elle est inférieure à cette valeur dans les stations de l'estran, variant entre 1,0191 et 1,0198 kg/m<sup>3</sup> aux stations 42 et 43.

Le pH de l'eau est compris entre 8,5 et 8,0 .

La turbidité est nettement plus élevée aux stations 33 en subsurface et 42 : 18,9 et 17,8 NTU respectivement, alors qu'elle s'échelonne entre 7,0 et 10,6 NTU dans les autres stations et qu'elle est nulle dans les eaux du chenal de Bouzi.

La teneur en oxygène dissous varie des stations les plus internes (4,7 – 4,8 mg/l soit 78-79 % de saturation) vers les stations plus au large (5,2 mg/l et 86 %, à la station 42 et 5,7 mg/l et 96 % dans le chenal, à la station 52), avec un net maximum à la station 43 en surface (7 à 6,8 mg/l) en rebord du récif frangeant, là où vivent encore des colonies coralliennes associées à des algues et des cyanobactéries benthiques, productrices d'oxygène.

La teneur en solides dissous totaux varie de 32,7 à 31,2 g/l sur l'estran, un minimum étant enregistré à la station 43.

La teneur en nutriments azotés est très faible, l'ammonium est <0,02 mg/l et le nitrite est nul (tout de suite oxydé en NO<sub>3</sub>) ; les teneurs en nitrate sont très faibles : 0,1 – 0,6 mg/l, avec un maximum à la station 33 : 3,91 mg/l. Le « pool azoté » varie donc de 0,2 (station 42) à 0,7 mg/l (station 31).

Tableau 23 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé - résultats des analyses physico-chimiques - saison chaude et pluvieuse (22 février 2012)

HYDROLOGIE - ESTRAN & LAGON DEVANT ESTUAIRE DE LA KWALE																					
22 févr-12																					
Sonde multiparamètre HORIBA, modèle U-52 (janv. 2011)																					
heure marée haute	hauteur eau m au-dessus zéro SHOM	vitesse courant estimée m/s	heure après la marée haute	heure mesures & prél. Eau	n° station	prof. M sondeur (rajouter 0,1 m)	prof m fond corrigé	nature fond	Secchi m	T °C	Conductivité mS/cm	Salinité calculée psu	densité eau $\delta$ kg dm <sup>-3</sup>	U ph LDAO	U pH	pH mv	ORP = REDOX mv	turbidité NTU	O <sub>2</sub> dissous mg/l	O <sub>2</sub> dissous %	TDS = solides dissous totaux g/l
04:29	3,72		3:38	8:07	31	1,3	1,4		au fond	30,23	54	32,24	1,0202	8,2			166	10,6	4,69	77,7	32,60
			3:49	8:18	33 -0,4 m	0,9	1,0		au fond	30,32	54	31,97	1,0200	8,15			171	18,9	4,68	77,6	32,40
			3:52	8:21	33bis -0,4 m	0,9	1,0		au fond	30,37	54	32,13	1,0201		8,4	-93	187	7,3	4,77	79,3	32,70
			4:27	8:56	42	1,1 à 1,3	1,2-1,4		au fond	30,45	54	31,69	1,0198	8,25	8,5	-99	179	17,8	5,17	85,8	32,30
			4:02	8:31	43	1,3-1,2	1,4-1,3	qqles coraux	fond visible	30,33	53	31,39	1,0196		8,3	-87	199	7,0	7,06	116,4	31,90
			4:06	8:35	43bis -0,3 surf				fond visible	30,18	52	30,75	1,0191	8,0	8,2	-83	206	8,6	6,82	111,6	31,20
			4:36	9:05	52			vase ?	11,4	30,56	55	32,27	1,0202		8,3	-86	203	0,0	5,74	95,8	32,90
mer plate, pas de vent, pluie en fin manip. sur Bandré																					
			9:18		52 air					T°air 31,0											tapis bactérien = 50 000
Analyses LDVA Mamoudzou																					
n° station	N-NH4 mg/l	NO2 mg/l	N-NO3 mg/l	pool azoté mg/l	P-PO4 mg/l	rapport N/P	chloro. a mg/l	phaeo-pigments	MES totales g/l	perte au feu MES = MES org. g/l	MES org. %	MES minérales mg/l	MES minérales %	Coliformes totaux col/100 ml	Escherichia coli col/100 ml	Entéro-coques col./100 ml					
31	<0,02	0,0	0,6	0,6	7,0	0,09	<		0,013	0,003	24	0,010	76	50 000	1 931	690					
33 -0,4 m	<0,02	0,0	3,9	4,0	0,0		1,41		0,016	0,004	26	0,011	74	50 000	1 931	1 391					
33bis -0,4 m																					
42	<0,02	0,0	0,1	0,2	6,0	0,03	23,57		0,015	0,004	27	0,011	73	1 102	621	272					
43																					
43bis -0,3 surf	<0,02	0,0	0,6	0,7	12,0	0,05	18,99		0,014	0,004	29	0,010	71	50 000	1 756	756					
52																					

Source : Thomassin et Marschal, 2012

Tableau 24 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé - résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques- saison chaude et pluvieuse (23 février 2012)

HYDROLOGIE - ESTRAN & LAGON DEVANT ESTUAIRE DE LA KWALE																					
23-févr-12																					
Sonde multiparamètre HORIBA, modèle U-52 (janv. 2011)																					
heure marée haute	hauteur eau m au-dessus zéro SHOM	vitesse courant estimé m/s	heure après la marée haute	heure mesures & prél. Eau	n° station	prof. M sondeur (rajouter 0,1 m)	prof m fond corrigé	nature fond	Secchi m	T° C	Conductivité mS/cm	Salinité calculée psu	densité eau δ kg dm <sup>-3</sup>	U ph LDAV	U pH	pH mv	ORP = REDOX mv	turbidité NTU	O <sub>2</sub> dissous mg/l	O <sub>2</sub> dissous %	TDS = solides dissous totaux g/l
eau boueuse en surface			2:52	7:52	0 embouchure	1,5	1,6														
			2:55	7:55	0 embouchure -0,1 m					27,42	10	5,66	1,0007		7,8	-55	228	72,7	6,74	89,0	6,47
			2:57	7:57	0 embouchure -0,4 m					28,71	47	28,54	1,0178	8,1	8,0	-67	216	16,0	4,34	68,8	28,50
		0,55	3:03	8:03	0 embouchure -1 m env.					28,53 28,96	54 51	33,10 30,47	1,0214 1,0192		8,2 8,2	-79 -78	204 207	17,9 80,0	4,20 4,77	67,7 76,2	32,40 30,30
			3:04	8:04	0 embouchure	1,3	1,4														
05:00	3,70	0,37	3:15	8:15	21	1,0	1,1			28,89	34	29,04	1,0113		8,1	-71	210	32,1	5,46	80,9	21,00
			3:17	8:17	21A -0,1 m					29,29	50	29,58	1,0185	8,1	8,2	-78	207	14,0	4,67	74,5	30,10
					21A -0,4 m					30,13	54	32,06	1,0201		8,3	-85	193	202,0	4,33	71,5	32,50
			3:30	8:30	23	0,7	0,8			28,90	31	17,69	1,0095		8,0	-65	210	31,9	5,34	77,8	18,70
					23A -0,1 m					29,49	53	31,51	1,0199	8,2	8,2	-80	203	6,9	4,66	75,8	31,50
			3:37	8:37	23A bis -0,4 m					29,99	50	29,49	1,0182		8,2	-81	202	22,0	4,66	75,3	30,00
					23A -0,6 m					30,16	54	31,73	1,0199		8,3	-84	200	215,0	4,07	67,1	32,20
			3:40	8:40	23A bis -0,1 m					30,13	51	30,35	1,0188		8,2	-83	202	21,2	4,59	74,8	30,80
			2:33	7:33	24A -0,4 m	1,5	1,6		1,18	30,12	52	30,59	1,0190	8,2	8,3	-87	203	0,0	4,54	74,1	31,10
					24A -1 m					30,18	53	31,36	1,0196		8,3	-87	208	0,0	4,41	72,6	31,90
					24A bis -1 m					30,22	53	31,40	1,0196		8,3	-88	210	2,3	4,82	79,5	31,90
			2:45	7:45	34	1,3	1,4														
			3:46	8:46	34A -0,1 m	1,0	1,1			30,08	41	23,57	1,0136		8,2	-77	210	23,2	5,04	78,1	24,90
			3:49	8:49	34A -0,4 m					30,38	53	31,27	1,0195		8,3	-84	210	3,5	4,82	79,6	31,80
			3:51	8:51	34A -0,4 m					30,50	54	31,84	1,0199		8,3	-86	212	16,4	4,72	78,4	32,40
			3:53	8:53	34A -0,6 m					29,88	53	31,33	1,0196	8,25	8,3	-86	184	25,4	5,35	87,4	31,80
			2:17	7:17	35A -0,4 m surf.	1,9	2,0		au fond, presque plus visible	30,01	53	31,54	1,0198		8,3	-87	192	0,9	5,02	82,4	31,90
					35A -1 m env.					30,07	53	31,50	1,0197		8,3	-88	196	0,3	4,97	81,6	31,90
			4:01	9:01	52B Sud chenal Bouzi	20,1	20,2														
					52B -0,1 m					30,53	53	31,27	1,0194		8,3	-86	217	1,5	4,65	77,0	31,90
					52B -0,6 m					30,58	55	32,18	1,0201		8,3	-88	211	0,0	5,12	85,6	32,80

Source : Thomassin et Marschal, 2012

Tableau 25 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé - résultats des analyses physico-chimiques - saison chaude et pluvieuse (24 février 2012)

HYDROLOGIE - ESTRAN & LAGON DEVANT ESTUAIRE DE LA KWALE																					
24.févr.-12																					
Sonde multiparamètre HORIBA, modèle U-52 (janv. 2011)																					
heure marée haute	hauteur eau m au-dessus zéro SHOM	vitesse courant estimée m/s	heure après la marée haute	heure mesures & prél. Eau	n° station	prof. M sondeur (rajouter 0,1 m)	prof m fond corrigé	nature fond	Secchi m	T° C	Conductivité mS/cm	Salinité calculée psu	densité eau δ kg dm <sup>-3</sup>	U ph LDAV	U pH	pH mv	ORP = REDOX mv	turbidité NTU	O <sub>2</sub> dissous mg/l	O <sub>2</sub> dissous %	TDS = solides dissous totaux g/l
		0,46	2:46	8:14	"0" lit aval	1,8	1,9														
			2:54	8:22	"0" lit aval					27,16	6	3,39	0,9991		7,9	-59	226	45,7	6,87	89,2	4,03
					0,1 m					27,34	13	7,21	1,0019		7,8	-53	237	51,2	6,25	83,2	8,14
					"0" lit aval																
					0,4 m																
05:28	3,65		2:24	7:52	0A embouchure	1,8	1,9														
			2:28	7:56	0A embouchure -0,1 m					27,19	15	8,18	1,0027		7,9	-64	189	47,7	6,62	88,5	8,96
					0A embouchure -0,4 m					28,91	43	25,52	1,0155		8,3	-84	186	38,4	4,68	71,5	26,60
					0A embouchure -0,4 m					27,86	25	14,14	1,0071		8,1	-74	191	47,2	5,91	83,6	14,90
					0A embouchure mi-fond -1 m					28,86	52	31,55	1,0201		8,3	-84	189	29,8	4,59	73,7	31,20
			2:44	8:12	0A embouchure				0,62												
			3:29	8:57	31A	1,3	1,4		1,02	29,75	44	25,90	1,0155		8,3	-88	222	19,7	5,38	84,3	26,90
			3:32	9:00	31A -0,1 m					30,08	53	31,66	1,0198		8,4	-90	220	17,1	4,80	78,9	32,00
			3:34	9:02	31A -0,4 m					30,28	54	32,11	1,0201		8,4	-91	217	25,9	4,62	76,6	32,60
			3:36	9:04	31A -0,6 m					30,28	54	32,10	1,0201		8,4	-91	216	33,5	4,60	76,9	32,60
			3:40	9:08	31A -0,9 m																
			3:48	9:16	33A	1	1,1														
			3:59	9:27	33A	0,8	0,9														
			4:07	9:35	33A	0,7	0,8														
			3:52	9:20	33A -0,1 m					29,92	46	26,91	1,0162		8,3	-86	221	22,2	4,85	76,6	28,20
			9:24	9:24	33A -0,4 m					30,53	54	32,03	1,0200		8,4	-92	218	23,5	4,59	76,5	32,60
					33A -0,7 m					30,57	54	31,92	1,0199		8,4	-92	219	31,2	4,42	73,6	32,60
			3:01	8:29	34B	1,6	1,7														
			3:07	8:35	34B -0,1 m					29,60	46	27,41	1,0167		8,3	-87	213	26,3	6,64	105,1	28,30
					34B -0,4 m					30,01	55	32,70	1,0207		8,4	-92	211	0,0	6,41	105,8	32,50
					34B -0,6 m					30,16	55	32,33	1,0203		8,4	-93	215	0,0	6,48	107,3	32,70
					34B -0,8 m					30,18	55	32,30	1,0203		8,4	-93	220	0,0	5,56	92,1	32,70
			4:35	10:03	42A	1,4	1,5														
	fond de cailloux à 10 m vers l'Est coraux micro-atolls, assez blanchis bordure récif		4:37	10:05	42A -0,1 m					30,51	42	24,38	1,0141		8,3	-87	221	8,1	5,07	79,6	25,90
			4:40	10:08	42A -0,1 m					30,51	51	29,79	1,0183		8,4	-91	221	1,5	4,60	75,3	30,50
			4:42	10:10	42A -0,1 m					30,48	52	30,71	1,0190		8,4	-92	222	5,8	4,76	78,3	31,40
			4:44	10:12	42A -0,1 m					30,44	53	31,06	1,0193		8,4	-92	223	20,8	4,39	72,4	31,70
			4:13	9:41	43A	1	1,1		au fond	30,03	39	22,59	1,0128		8,3	-85	224	21,5	5,37	82,5	23,90
					43A -0,1 m																
			4:19	9:47	43A -0,4 m	1	1,1			30,17	38	21,46	1,0120		8,3	-84	223	18,1	5,03	76,9	23,00
			4:21	9:49	43A -0,6 m					30,57	54	31,73	1,0198		8,3	-89	222	9,6	4,26	70,9	32,40
			9:51	9:51	43A -0,8 m					30,61	54	31,89	1,0199		8,4	-90	223	12,0	4,17	69,5	32,60
			4:59	10:27	53B -0,4 m	26	26,1		10 m env	30,55	52	30,52	1,0188		8,4	-92	227	0,0	5,14	84,6	31,30

Source : Thomassin et Marschal, 2012

Tableau 26 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé - résultats des analyses physico-chimiques - saison froide (24 juillet 2012)

24 juillet 2012, matinée																				
heure marée haute : 07:07 HL																				
hauteur d'eau au-dessus zéro SHOM	nombre heures après la marée haute de 7h 07	heure des mesures & prél. eau	Situation	n° station & prof. prél. eau m	prof m au moment prél.	prof m fond par rapport zéro SHOM	prof. disparition disque de Secchi m	T° C	Conductivité mS/cm	Salinité calculée psu	densité eau $\delta$ kg dm <sup>-3</sup>	U ph LDAV	U pH	pH mv	ORP = REDOX mv	turbidité NTU	O <sub>2</sub> dissous mg/l	O <sub>2</sub> dissous %	TDS = solides dissous g/l	
3,31	00:43	07:50	Estran vaseux & Bordure du récif frangeant	P00 0,4	1,9	1,41	1,07	26,30	56,80	36,71	1,0247	8,10	8,15	-87	198	31,0	5,18	83,0	34,0	
				P00 1,5				26,32	56,80	36,73	1,0247			8,15	-87	198	31,0	5,46	84,0	34,1
3,26	00:53	08:00		P21 0,4	2,0	1,26	fond	26,83	56,50	36,08	1,0241	8,10	8,18	-89	219	13,0	5,90	83,7	33,9	
				P21 1,5				26,87	56,50	36,07	1,0241			8,18	-89	220	11,8	5,33	85,0	33,9
3,18	01:08	08:15		P23 0,4	2,0	1,18	fond	26,87	56,80	36,26	1,0242	8,10	8,18	-99	228	12,2	5,25	82,6	34,0	
				P23 1,5				26,96	56,50	36,00	1,0240			8,19	-89	225	13,0	5,39	85,6	34,0
3,08	01:23	08:30		P24 0,4	1,6	1,48	fond	26,67	56,50	36,20	1,0242	8,16	8,16	-88	227	23,2	5,15	83,5	33,9	
				P24 1,5				26,76	56,50	36,16	1,0242			8,16	-88	224	27,7	5,37	85,4	33,9
2,96	01:38	08:45		P31 0,4	2,4	0,56	fond	27,05	57,10	36,34	1,0242	8,17	8,17	-89	229	10,0	5,35	86,0	34,2	
				P31 1,5				27,14	57,00	36,22	1,0241			8,17	-89	228	10,4	5,30	84,9	34,2
2,84	01:51	08:58		P33 0,4	2,1	0,74	fond	27,05	56,60	35,98	1,0240	8,11	8,17	-88	238	10,3	5,32	84,9	33,9	
				P33 1,5				27,14	56,60	35,93	1,0239			8,17	-88	236	11,9	5,26	84,0	34,0
2,66	02:10	09:17		P34 0,4	2,0	0,66	fond	27,16	56,90	36,11	1,0240	8,10	8,18	-89	244	10,3	5,36	85,0	34,1	
				P34 1,5				27,25	56,80	35,99	1,0239			8,18	-89	240	10,6	5,46	87,4	34,1
2,65	02:11	09:18		P35 0,4	1,6	1,05	fond	26,67	56,90	36,49	1,0245	8,08	8,16	-88	247	26,8	5,22	82,8	34,1	
				P35 1,5				26,68	56,80	36,44	1,0244			8,16	-88	242	43,8	5,25	84,4	34,1
2,54	02:21	09:28		P42 0,4	2,4	0,14	fond	27,24	57,10	36,19	1,0241	8,12	8,18	-89	247	8,6	5,44	87,8	34,2	
				P42 1,5				27,33	57,00	36,07	1,0240			8,19	-89	241	8,2	5,65	91,0	34,2
2,43	02:31	09:38		P43 0,4	2,1	0,33	fond	27,33	56,90	35,98	1,0239	8,18	8,18	-89	249	8,5	5,34	85,8	34,1	
				P43 1,5				27,17	56,90	36,12	1,0241			8,18	-89	246	8,4	5,48	87,1	34,1
2,26	02:47	09:54	Lagon : Sud chenal de Bouzi	P52 0,4	20,6	-18,34		27,32	56,80	35,92	1,0239		8,18	-89	248	7,2	5,51	88,3	34,1	
				P52 1,5				27,35	56,80	35,91	1,0238			8,19	-89	246	7,3	5,30	84,1	34,1
2,08	03:03	10:10		P53 0,4	24,3	-22,22		27,18	56,90	36,09	1,0240			8,19	-89	258	8,3	5,53	88,6	34,1
				P53 1,5				27,32	56,80	35,93	1,0239			8,19	-89	252	7,3	5,30	84,1	34,1
							Max	27,35	57,10	36,73	1,02	8,18	8,19	-87,00	258,00	43,80	5,90	91,00	34,20	
							Min	26,30	56,50	35,91	1,02	8,08	8,15	-99,00	198,00	7,20	5,15	82,60	33,90	
							Moyenne	27,00	56,78	36,16	1,02	8,12	8,17	-89,00	234,58	15,03	5,38	85,38	34,06	

Source : Thomassin et Marschal, 2012

Tableau 27 : Hydrologie de l'estran de la Kwalé - suite des résultats des analyses physico-chimiques - saison froide (24 juillet 2012)

Situation	n° station & prof. préél. eau m	N-NH4 mg/l	NO2 mg/l	N-NO3 mg/l	pool azoté mg/l	P-PO4 mg/l	rapport N/P	chloro. a	phaéo-pigments	MES totales g/l	perte au feu MES = MES org. g/l	MES org. %	MES minérale mg/l	MES minérale %	Coli totaux col/100 ml	Escherichia coli col/100 ml	Entérocoques col./100 ml	
Estran vaseux & Bordure du récif frangeant	P00 0,4	0,08	0,00	0,16	0,24	0,08	3,0	0,000	0,000	0,028	0,012	44,1	0,016	55,9		30	15	
	P00 1,5																	
	P21 0,4	4,32	0,00	0,12	4,44	<0,05		0,037	0,000	0,021	0,013	62,3	0,009	41,8		<15	<15	
	P21 1,5																	
	P23 0,4	1,80	0,00	0,00	1,80	<0,05		0,000	0,002	0,026	0,012	47,1	0,009	32,7		<15	<15	
	P23 1,5																	
	P24 0,4	5,44	0,00	0,00	5,44	<0,05		0,003	0,000	0,026	0,012	46,3	0,014	53,7		<15	<15	
	P24 1,5																	
	P31 0,4	0,68	0,00	0,00	0,68	<0,05		0,000	0,054	0,023	0,014	62,0	0,009	38,0		<15	<15	
	P31 1,5																	
	P33 0,4	0,72	0,00	0,00	0,72	<0,05		0,000	0,001	0,022	0,013	59,9	0,009	40,1		<15	<15	
	P33 1,5																	
	P34 0,4	0,76	0,00	0,00	0,76	<0,05		0,001	0,000	0,019	0,011	54,7	0,009	45,3		<15	<15	
	P34 1,5																	
	P35 0,4	2,76	0,00	0,12	2,88	0,18	16,0	0,022	0,000	0,040	0,018	45,0	0,022	55,0		30	<15	
	P35 1,5																	
	P42 0,4	2,60	0,00	0,00	2,60	<0,05		0,001	0,000	0,050	0,033	66,8	0,017	33,2		<15	<15	
	P42 1,5																	
P43 0,4	3,92	0,00	0,00	3,92	<0,05		0,012	0,000	0,043	0,024	57,2	0,018	42,8		<15	<15		
P43 1,5																		
Lagon : Sud chenal de Bouzi	P52 0,4																	
	P52 1,5																	
	P53 0,4																	
	P53 1,5																	
	Max	5,44	0,00	0,16	5,44	0,18		0,037	0,054	0,050	0,033	67	0,022	56		30	15	
	Min	0,08	0,00	0,00	0,24	0,08		0,000	0,000	0,019	0,011	44	0,009	33		<15	<15	
	Moyenne	2,31	0,00	0,04	2,35	0,13		0,008	0,006	0,030	0,016	55	0,013	44		30,00	15,00	

Source : Thomassin et Marschal, 2012

La teneur en phosphate varie entre 0 (station 33, subsurface) et 6-7 mg/l (stations 31 et 42), avec un maximum à la station 43, en subsurface : 12 mg/l.

Les teneurs en MES totales sont faibles : entre 13 et 16 mg/l, la fraction minérale de ces MES atteignant 71 à 76 % de ces dernières.

Les teneurs en chlorophylle a, vivante et caractéristique du phytoplancton, est très faible voire nulle aux stations 31 et 33, proches de l'embouchure ; elle est assez élevée dans les stations 42 et 43 plus au large, en rebord du front du récif frangeant (24 et 19 mg/l).

Ce sont les dénombrements bactériologiques qui montrent les plus grandes variations et des densités notables, faisant de ces eaux marines des eaux impropres à la baignade (selon les normes françaises métropolitaines). Excepté à la station 42, au large et au nord-est de l'embouchure, toutes les densités de Coliformes totaux sont extrêmement élevées (tapis bactérien)(assimilé arbitrairement dans les calculs à une densité de 50 000 colonies/100 ml d'eau).

Ainsi aux stations 31, 33 et 43, donc à une distance de 300 m devant et au sud-est de l'embouchure et à 500 m de l'embouchure en direction du Sud-est, selon la dérive principale des eaux sortant de la Kwalé (dérive en direction de courants de jusant sortant vers les îlots Ajangoua et puis la Passe de Longogori, ou Passe en S) (cf. modélisation hydrodynamique tridimensionnel, SOGREA pour MEEDDM-SNIA, 2011, figure C-3, p. 33) :

- les teneurs en *Escherichia coli* sont maximales : 1 931 à 1 756 colonies/100 ml eau, contre 621 colonies/100 ml à la station 42 plus au Nord-Nord-est, soit près de 3 fois plus ;
- et surtout celles en entérocoques : 1 391 colonies/100 ml eau, à la station 33, contre 272 colonies/100 ml à la station 42, soit plus de 5 fois plus.

**En conclusion, les dénombrements bactériens se révèlent donc être de bons traceurs de cette masse d'eau saumâtre de surface sortant de l'embouchure de la Kwalé, par temps calme et sans vent.**

## MATINEE DU 23 FEVRIER 2012 (SAISON DES PLUIES)

### A 50 m en amont de l'embouchure

Compte tenu de la situation (pluies fortes dans l'après-midi du 22/02/2012), et d'un fort courant d'eau sortant de la rivière (estimé à 0,46 m/s à 8h 22 h (soit 2h 54 après la pleine mer, pour une hauteur d'eau de 1,9 m), il a été décidé d'ajouter ce jour une station (station -0 : lit aval) à environ 50 m en amont de l'embouchure, dans la partie du lit aval encore bordée par des palétuviers denses.

La température de l'eau était fraîche en comparaison avec celle de l'eau du lagon : 27,16°C en surface et 27,34°C en subsurface (-0,4 m sous la surface), alors que celle des eaux de l'estran marin et du chenal de Bouzi était proches de 30,5°C, soit un  $\Delta T^{\circ}\text{C}$  de près de 3,3°C.

L'eau sortant était presque douce et on observait une légère stratification :

- salinité : 3,39 en surface ; 7,21 en subsurface à -0,4 m de cette dernière ;
- densité calculée : 0,9991 kg/m<sup>3</sup> soit 1 kg/m<sup>3</sup> en surface ; 1,0019 kg/m<sup>3</sup> en subsurface.

Le pH ne montrait pas de différence significative.

La turbidité des eaux de subsurface était un peu plus élevée que celle en surface : 51,2 NTU contre 45,7 NTU ; par contre, ces valeurs figurent parmi les maxima enregistrées pendant toute cette campagne, les autres étant relevées à proximité, 50 m environ en aval, à l'embouchure.

La teneur en O<sub>2</sub> dissous, était très élevée, un peu plus forte en surface qu'en subsurface : 6,87 mg/l soit 89 % de saturation, contre 6,25 mg/l soit 83 % de saturation. Ces teneurs figurent aussi parmi les plus élevées mesurées durant toute cette campagne, ceci en relation avec les turbulences que subissent ces eaux de rivière et ce malgré une charge particulaire détritique, donc organique, élevée, qui elle aurait tendance à « pomper » de l'oxygène dissous pour sa dégradation.

## A l'embouchure

On retrouve pro parte ces caractéristiques dans les eaux prélevées à l'embouchure (station 0) environ 30 min auparavant :

- stratification des eaux, avec des eaux plus fraîches en surface qu'en subsurface et à mi-profondeur (-1m sous la surface) : 27,19°C ; 27,86°C et 28,86°C, soit un  $\Delta T^\circ$  entre la surface et la mi-profondeur de près de 1,7° C ;
- eaux de surface très peu salée : 8,18 u S , surmontant des eaux de plus en plus salées : 14,1 u S , puis 25,5 u S , puis 31,5 u S, eaux qui montrent de variations en subsurface du fait des tourbillons, et confirme l'existence d'un « coin salé », les densités de ces eaux augmentant avec la profondeur : 1,0027 kg/m<sup>3</sup>, puis 1,0071 à 1,0155 kg/m<sup>3</sup> en subsurface, et 1,0201 kg/m<sup>3</sup> à mi-profondeur ;
- eaux de surface légèrement plus acides que les eaux en subsurface et à mi-profondeur : pH = 7,9, puis 8,1-8,3 et 8,3 à mi-profondeur ;
- eaux dont la teneur en oxygène dissous diminue avec la profondeur : O<sub>2</sub> = 6,62 mg/l, puis 5,91-4,68 mg/l en subsurface, et 4,59 mg/l à mi-profondeur.

Les eaux de subsurface sont :

- assez chargées en MES : 24 mg/l, dont 73 % de fractions minérales ;
- assez pauvres en nutriments : 0,1 mg/l de nitrate ;
- par contre, très chargées en *Escherichia coli* et entérocoques : 13 864 / 100 ml eau d' E . coli et 1 722 /100 ml d'eau d'entérocoques.

## Sur l'estran vaseux

On retrouve une certaine stratification des eaux, moins nette que dans l'embouchure ou le lit aval de la rivière, mais perceptible :

- les températures de la couche de surface sont <30°C, comprise entre 29,6 et 29,9°C ; plus profond, elles augmentent très légèrement et elles sont >30°C, le  $\Delta T^\circ$  étant de l'ordre de 0,5-0,6°C aux stations 31, 33, 34 et 43. Cette différence n'existe plus aux stations 42 et 53 plus au Nord-est de l'embouchure.
- Par contre, les eaux montrent encore à ces stations 31,33 et 34, à 300 m de l'embouchure, ainsi qu'aux stations 42 et 43, à 500 m de l'embouchure, une certaine dessalure de eaux de surface (dans les 10 premiers cm) par rapport aux eaux plus profondes, avec des salinité de l'ordre 21,5 à 27,4 u S, contre 31,7 à 32,7 dans les eaux de subsurface (-0,4 et -0,6 m). C'est à la station 43, 4 h après la pleine mer, que la nappe d'eaux saumâtres de surface est la plus épaisse (40 cm).
- Les densité de l'eau des différentes couches varient donc ; elles sont de l'ordre de 1,01 kg/m<sup>3</sup> en surface et/ou subsurface et supérieures à 1,02 kg/m<sup>3</sup> plus profond.
- Le pH de ces eaux fluctue autour de 8,3-8,4, valeurs tout à fait normale pour des eaux marines.
- Les teneurs en nitrates sont faibles, comprises entre 0,05 et 0,25 mg/l ; les teneurs en phosphates aussi, comprises entre 0,08 et 0,22 mg/l.
- Dans ces eaux la turbidité est très variable selon les stations et les profondeurs, le plus souvent comprise entre 10 et 31 NTU, et autour d'une moyenne de 21,7 NTU (sur 12 mesures). Les eaux les moins turbides sont observées à la station 42, située plus au Nord-est, en dehors du courant drainant les eaux de cet estran vers le Sud-est.
- La charge en MES des eaux de subsurface (-0,4 m env.) est moindre qu'à l'embouchure, comprise entre 15 et 24 mg/l, dont 69 à 75 % de fraction minérale.

- Par contre, aux stations 23 et 24, donc encore à 300 m de l'embouchure, les teneurs en entérocoques sont encore très élevées : 1 345 et 1 431 colonies/100 ml d'eau alors que les *Escherichia coli* n'excèdent pas les 2 831 et 2 322 colonies/100 ml d'eau.
- C'est à la station 21 que les *E. coli* sont très élevées : 6 119 colonies/100 ml d'eau, donc une diminution de l'ordre de 50 % par rapport à l'embouchure, alors que les densités en entérocoques sont plus faibles : seulement 690 colonies/100 ml d'eau.

**Il ressort d'une analyse statistique (matrice de corrélation, corrélations significatives à  $p < 0,05$ ) que, pour ces 2 jours de prélèvements aux jusants de pleines mers de vives-eaux, après de fortes pluies dans les 24 h précédentes, mais par bon ensoleillement et mer calme les matinées de prélèvements :**

- les densités élevées de *E. coli* sont corrélées avec des eaux aux températures les plus fraîches et les plus dessalées et de ce fait pauvre en phytoplancton marin et chlorophylle a et, de façon moindre, avec les teneurs élevées en MES totales, et donc d'une certaine manière à la proximité de l'embouchure ;
- les densités élevées d'entérocoques sont seulement corrélées positivement avec les teneurs en MES totales et donc à la proximité de l'embouchure.

Des prélèvements d'eau réalisés dans le lit de la Kwalé par BRLi dans le cadre de cette étude, en aval du pont (en-dessous du méandre médian - station K3), à la mi-mars 2012, ont montré des densités extrêmement élevées de coliformes totaux (tapis bactériens), d'*Escherichia coli* (412 200 et 53 120 colonies/100 ml eau) et d'entérocoques (334 200 et 20 800 colonies/100 ml d'eau) et cela particulièrement en période de pluies. Tous ces microbes proviennent du lessivage des bassins versants et plus particulièrement des villages de Tsoundzou 1 et Koualé ; les caniveaux débordant largement en périodes pluvieuses et le bétail (zébus et chèvres) paissent sur les tannes ou en bordure. Par ailleurs, ces tannes et ces mangroves servent encore de latrines.

On constate donc qu'arrivées dans l'estuaire, ces eaux douces chargées en bactéries pathogènes, perdent une partie notable de ces dernières, par destruction et lyses du fait du choc osmotique qu'elles subissent.

En déc. 2002, avant la saison des pluies, MARTIN & BONNEFONT (2004) avaient montré dans les eaux marines côtières de Mayotte, en saison encore fraîche, par temps ensoleillé, mais ceci sans prendre en compte la température des eaux et les variations de salinité, que le T90 de disparition :

- des coliformes est relativement court : 3 à 5 h ;
- alors que celui des streptocoques serait plus variable et un peu plus long.

Toutefois, la température des eaux et les variations de salinité n'étaient pas prises en compte et une augmentation de la turbidité, donc de la charge en MES des eaux, peut augmenter la durée du T90 de près du double.

Or, sur cet estran de la Kwalé, dans les conditions météorologiques ayant prévalu ces 2 jours : pluies abondantes les après-midi et la nuit et temps ensoleillé durant les matinées, c'est donc les facteurs « température des eaux » et « dessalure », puis « charge en MES » qui ont prévalu.

### **MATINEE DU 24 FEVRIER 2012 (SAISON DES PLUIES)**

Seuls les paramètres mesurés avec la sonde multi paramètre ont été recueillis. Les résultats confirment les tendances observées la veille :

- eaux plus fraîches et dessalées à l'embouchure,
- avec plus loin une stratification des eaux selon la profondeur des mesures, et l'existence d'une couche d'eau de surface dessalée (de 17 à 23 u S), notamment aux stations 21 et 23, et de façon moindre à la station 34 ;
- la turbidité des eaux se révèle ce jour très élevée en comparaison des jours précédents, de fortes pluies s'étant produites précédemment : de 72 à 80 NTU à l'embouchure, près de 32 NTU aux stations 21 et 23 en surface associés à des eaux saumâtres ; ceci alors que la turbidité est faible dans les eaux du chenal de Bouzi : 1,5, en surface, à 0 NTU, à 0,6 m de profondeur.

- de façon triviale, la couche de surface présente une teneur en O<sub>2</sub> dissous supérieure aux couches plus profondes.

**Les eaux de cet estran, en saison des pluies abondantes, lors de ces périodes de jusant, présentent donc toutes les caractéristiques d'eaux marines néritiques, avec une couche d'eau saumâtre de surface.**

### CAMPAGNE DU 24 JUILLET 2012 (SAISON FROIDE)

On observe que la température des eaux était plus fraîche (<27° C) à l'embouchure de la Kwalé (sta. P00) et aux stations les plus proches, distantes de 100 m de la station P00, la hauteur d'eau sur l'estran interne étant encore de 2 à 1,6 m au-dessus du fond (lequel est, sur l'estran interne, de 1,2 à 1,5 m plus haut que la bordure du récif frangeant, qui est située à la cote +0,1 m par rapport au zéro du SHOM).

Mais si l'on compare les températures et les salinités des eaux de subsurface (-0,4 m sous la surface) à celles des eaux plus profondes (-1,5 m) de la couche au-dessus des fonds, sur l'estran et la bordure du récif frangeant, on constatait :

- que les eaux de subsurface avaient une température légèrement inférieure à celle des eaux plus profondes, ce qui tendrait à montrer qu'elles se sont rafraîchies au cours de la fin de nuit précédente ;
- et, par contre, qu'elles avaient, la station P00 à l'embouchure exceptée, des salinités légèrement plus élevées que les eaux plus profondes. En même temps, on observait des salinités plus faibles, de l'ordre de 35,9 et 36,1 unités, dans les eaux de subsurface du chenal au Sud de l'îlot Bouzi (station P52 et P53), ceci peut être en relation avec des apports d'eaux douces à la côte.

A l'exception de la station P00, à l'embouchure de la Kwalé, où les eaux étaient particulièrement troubles (disque de Secchi disparaissant à 1,07 m de profondeur), les eaux étaient assez transparentes sur tout l'estran et la bordure du récif frangeant, le disque de Secchi étant observé posé sur le fond.

La turbidité des eaux était particulièrement élevée, à la station P00 bien sûr (31 NTU), mais aussi aux stations P24 (23 NTU en subsurface et 27 NTU à -1,5 m) et P35 (27 NTU en subsurface et 47 NTU à -1,5 m), donc à peu de distance : - de l'embouchure vers le Nord-est ou - de la plage s'étendant plus au Nord, ceci peut être sous l'influence d'une dérive littorale orientée généralement Nord-Est.

On observait un gradient décroissant en fonction de la distance à l'embouchure de la Kwalé (sta. P00), la turbidité des eaux étant :

- >10 NTU, de 13 à 10,3 NTU, sur l'estran ;
- et <9 NTU, de 8,6 à 7,2 NTU sur la bordure du platier et dans le chenal lagunaire.

Dans l'ensemble, les eaux étaient bien oxygénées (>5,2 mg/l ou de 83 à 91 %).

La teneur en nitrates des eaux de subsurface était faible voire nulle, exceptée aux stations P00, à l'embouchure, et P21 à 100 m de celle-ci : 0,16 et 0,12 mg/l respectivement.

La teneur en nitrites était toujours nulle du fait de leur oxydation extrêmement rapide en NO<sub>3</sub>.

Mais, combinées à des teneurs assez élevées en azote ammoniacal, de l'ordre de 4 voire 5,4 mg/l, comme aux stations P21, P24 et P43, les teneurs du pool azoté étaient alors les plus élevées dans ces eaux de subsurface.

Les teneurs en phosphates étaient toujours très faibles et en-dessous du seuil de détection le plus souvent, sauf aux stations P00 où elle atteignait 0,08 mg/l et P35 où l'on enregistrait la valeur maximale : 0,18 mg/l.

Les teneurs en pigments chlorophylliens, chlorophylle a et phéopigments étaient aussi particulièrement faibles,

- sauf aux stations P21 et P35 pour la chlorophylle a : 0,037 et 0,022 mg/l, respectivement ;
- et à la station P31 pour les phéopigments : 0,054 mg/l.

Mais dans ces eaux, la chlorophylle a est aussi constituée de chlorophylle détritique encore vivante et sa teneur ne peut être prise comme caractérisant la productivité primaire des eaux.

C'est dans les eaux du chenal de Bouzi que les teneurs en matière en suspension totale (MES tot.) étaient les plus élevées : entre 0,04 et 0,05 g/l et donc près du double de celles observées dans les eaux de subsurface de l'estran : de 0,02 en général et de 0,028 g/l à la station P00 à l'embouchure.

Dans ces MES totales, les MES organiques représentaient de 44 à 67 %, les valeurs augmentant sur la bordure externe du platier récifal et dans les eaux lagonaires, ceci, inversement aux teneurs en MES minérales : de 56 à 33 % selon les stations.

Enfin, du point de vue bactériologique, les densités en *Escherichia coli* et en entérocoques n'étaient jamais supérieures à 15 colonies/100 ml,

- sauf à la station P00 à l'embouchure, du fait des apports par les eaux de la rivière Kwalé ;
- et à la station P35, celle-ci en bordure de la plage pouvant recevoir les excréments lessivés du tanne d'arrière plage (zone de pâturages de bovins et caprins et de défécations humaines matinales).

Des analyses de corrélations entre les différents paramètres physico-chimiques montrent que :

- le pH de l'eau de mer était inversement corrélé avec la turbidité (en NTU), ce qui tendrait à ce que cette turbidité soit constituée de particules très fines et relativement acides, donc ayant plutôt comme origine les lessivages des sols de mangrove qui, fait bien connu, sont toujours très acides (pH de 5,3 à 5,8 dans les sols des tannes de Mayotte, d'après AUBRUN, 1998) ;
- la teneur en N-nitrates serait :
  - ▶ (a), inversement corrélée avec la température des eaux, donc plus celles-ci sont fraîches plus elles sont riches en N-NO<sub>3</sub> ;
  - ▶ (b), d'une certaine façon, positivement corrélée à la densité des eaux et à la salinité de celles-ci, ce qui signifierait que plus les eaux de l'estran et du chenal de Bouzi sont salées et denses, donc à caractères plus « océaniques », plus elles seraient riches en N-NO<sub>3</sub>. Ceci ne pourrait s'expliquer que :
    - soit par une production d'azote par des Cyanobactéries fixatrices d'azote, du phytoplancton, mais surtout du phytobenthos des platiers récifaux
    - soit par des afflux d'eaux chargées en nitrates depuis des zones côtières fortement peuplées et, dans ce cas, de la zone de conurbation « Tsounzou 2 et 1, Passamaïnti, Doujani et Mtsapéré ; les nitrates mesurés sur l'estran de la Kwalé seraient soit d'origine naturelle, soit, totalement ou partiellement, proviendraient d'une pollution anthropique des eaux côtières par les rivières ou les autres écoulements d'eaux douces et/ou saumâtres.

Une classification hiérarchique des 15 principales variables confirme en partie les conclusions précédentes puisque la teneur en oxygène dissous y est associée à la valeur du pH de l'eau de mer (cf. figure 35). ce que l'on peut interpréter comme quoi : plus les eaux sont oxygénées, plus le pH serait basique, les particules de matières organiques, plutôt acides, étant mieux dégradées du fait de cette meilleure oxydation.

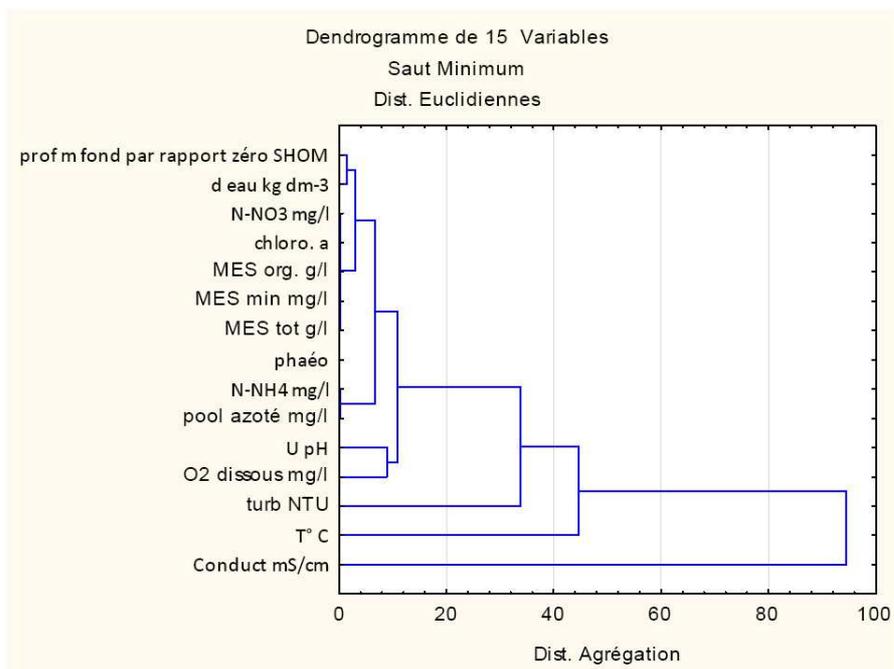


Tableau 28 : Matrice de corrélation entre les paramètres physico-chimiques des eaux lagunaires - Campagne du 24 juillet 2012

Corrélations (Tab data hydrologie juillet 2012)																				
Corrélations significatives marquées à p < ,05000																				
N=10 (Observations à VM ignorées)																				
	prof m fond par rapport zéro	T° C	Conduct mS/cm	Sal psu	d eau kg dm-3	U pH	pH mv	ORP = REDOX mv	turb NTU	O2 dissous mg/l	O2 dissous %	TDS = solides dissous totaux g/l	N-NH4 mg/l	N-NO3 mg/l	pool azoté mg/l	chloro. a	phaéo	MES tot g/l	MES org. g/l	MES min mg/l
prof m fond par rapport zéro SHOM	1,00	-0,88	-0,71	0,45	0,62	-0,58	-0,09	-0,72	0,73	-0,13	-0,91	-0,73	0,18	0,55	0,20	0,23	-0,24	-0,50	-0,71	-0,10
T° C	-0,88	1,00	0,41	-0,78	-0,90	0,83	-0,12	0,78	-0,92	0,28	0,78	0,46	0,06	-0,75	0,03	-0,11	0,15	0,26	0,51	-0,17
Conduct mS/cm	-0,71	0,41	1,00	0,25	0,04	0,18	-0,05	0,39	-0,26	-0,20	0,58	0,98	-0,44	-0,22	-0,45	-0,36	0,46	0,51	0,55	0,27
Sal psu	0,45	-0,78	0,25	1,00	0,98	-0,76	0,09	-0,56	0,80	-0,43	-0,44	0,18	-0,36	0,65	-0,34	-0,13	0,15	0,07	-0,16	0,36
d eau kg dm-3	0,62	-0,90	0,04	0,98	1,00	-0,82	0,10	-0,66	0,88	-0,40	-0,58	-0,03	-0,28	0,72	-0,25	-0,06	0,06	-0,03	-0,28	0,32
U pH	-0,58	0,83	0,18	-0,76	-0,82	1,00	-0,46	0,53	-0,91	0,57	0,48	0,22	0,15	-0,56	0,13	0,15	-0,02	0,07	0,32	-0,39
pH mv	-0,09	-0,12	-0,05	0,09	0,10	-0,46	1,00	-0,02	0,30	0,05	0,27	0,03	0,05	0,32	0,06	0,16	0,02	0,09	0,12	0,36
ORP = REDOX mv	-0,72	0,78	0,39	-0,56	-0,66	0,53	-0,02	1,00	-0,54	-0,03	0,51	0,46	0,20	-0,58	0,18	0,01	-0,08	0,49	0,54	0,28
turb NTU	0,73	-0,92	-0,26	0,80	0,88	-0,91	0,30	-0,54	1,00	-0,45	-0,68	-0,29	0,02	0,73	0,05	0,10	-0,24	0,00	-0,31	0,49
O2 dissous mg/l	-0,13	0,28	-0,20	-0,43	-0,40	0,57	0,05	-0,03	-0,45	1,00	0,22	-0,12	0,26	0,18	0,26	0,70	-0,01	-0,15	0,10	-0,35
O2 dissous %	-0,91	0,78	0,58	-0,44	-0,58	0,48	0,27	0,51	-0,68	0,22	1,00	0,62	-0,07	-0,55	-0,09	-0,27	0,30	0,42	0,70	0,00
TDS = solides dissous totaux g/l	-0,73	0,46	0,98	0,18	-0,03	0,22	0,03	0,46	-0,29	-0,12	0,62	1,00	-0,30	-0,23	-0,31	-0,25	0,47	0,54	0,59	0,31
N-NH4 mg/l	0,18	0,06	-0,44	-0,36	-0,28	0,15	0,05	0,20	0,02	0,26	-0,07	-0,30	1,00	-0,06	1,00	0,54	-0,33	0,28	0,24	0,31
N-NO3 mg/l	0,55	-0,75	-0,22	0,65	0,72	-0,56	0,32	-0,58	0,73	0,18	-0,55	-0,23	-0,06	1,00	-0,02	0,55	-0,23	-0,02	-0,20	0,34
pool azoté mg/l	0,20	0,03	-0,45	-0,34	-0,25	0,13	0,06	0,18	0,05	0,26	-0,09	-0,31	1,00	-0,02	1,00	0,56	-0,34	0,28	0,23	0,32
chloro. a	0,23	-0,11	-0,36	-0,13	-0,06	0,15	0,16	0,01	0,10	0,70	-0,27	-0,25	0,54	0,55	0,56	1,00	-0,22	0,05	0,01	0,19
phaéo	-0,24	0,15	0,46	0,15	0,06	-0,02	0,02	-0,08	-0,24	-0,01	0,30	0,47	-0,33	-0,23	-0,34	-0,22	1,00	-0,24	-0,12	-0,32
MES tot g/l	-0,50	0,26	0,51	0,07	-0,03	0,07	0,09	0,49	0,00	-0,15	0,42	0,54	0,28	-0,02	0,28	0,05	-0,24	1,00	0,92	0,82
MES org. g/l	-0,71	0,51	0,55	-0,16	-0,28	0,32	0,12	0,54	-0,31	0,10	0,70	0,59	0,24	-0,20	0,23	0,01	-0,12	0,92	1,00	0,57
MES min mg/l	-0,10	-0,17	0,27	0,36	0,32	-0,39	0,36	0,28	0,49	-0,35	0,00	0,31	0,31	0,34	0,32	0,19	-0,32	0,82	0,57	1,00

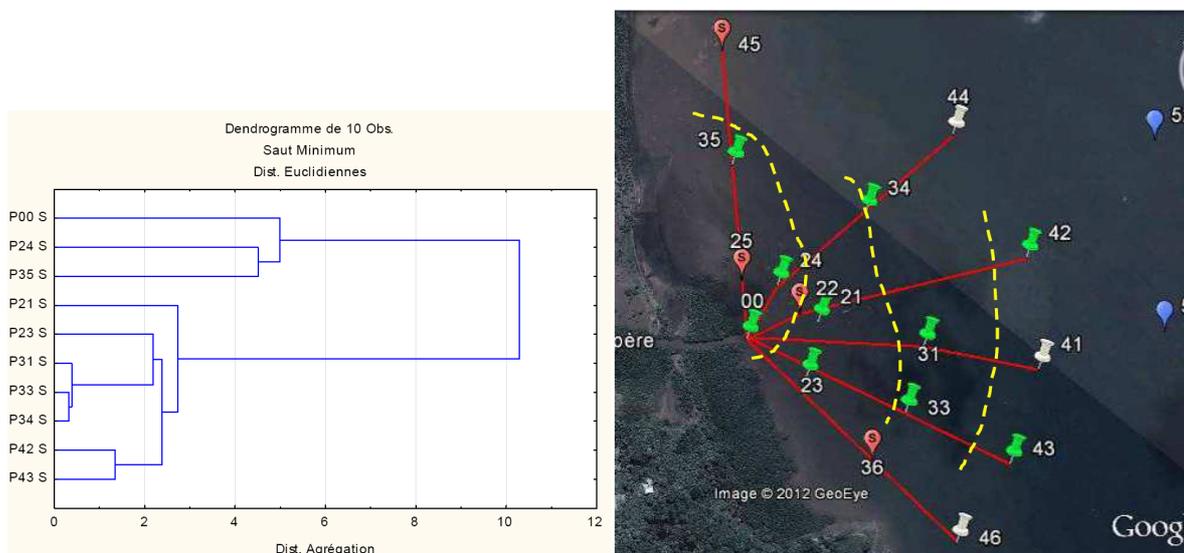


Figure 35 : Classification hiérarchique des 15 variables physico-chimiques principales (STATISTICA 10)



Le même type d'analyse exploratoire multivariée que celle réalisée précédemment permet aussi de montrer les stations (ou « observations ») présentant des affinités entre elles et de cartographier ainsi ces groupes de stations (cf. Figure 36).

Figure 36 : Classification hiérarchique des 10 stations d'eaux de sub-surface à partir des 15 variables physico-chimiques principales (à gauche) (STATISTICA 10) et regroupement des stations d'eaux de subsurface associé. Situation hydrologique au 24 juillet 2012



Les 3 groupes de stations s'individualisent selon des auréoles concentriques depuis l'embouchure de la Kwalé (station P00)

D'après ce dendrogramme ne portant que sur les eaux de subsurface (-0,4 m de profondeur) et leurs caractéristiques principales (10 « variables » ou paramètres non redondants), on constate des groupes de stations présentant des affinités entre elles et montrant une belle zonation :

1. Groupe 1 : les stations P00, P24 et P35, donc des stations à l'embouchure de la Kwalé (P00) et les 2 stations côtières situées les plus près de celle-ci, au Nord-est (P24) et Nord (P35), ce qui souligne l'existence vraisemblable d'une dérive littorale vers le Nord-est et Nord, sous l'influence des courants côtiers induits par les alizés du Sud à Sud-est.

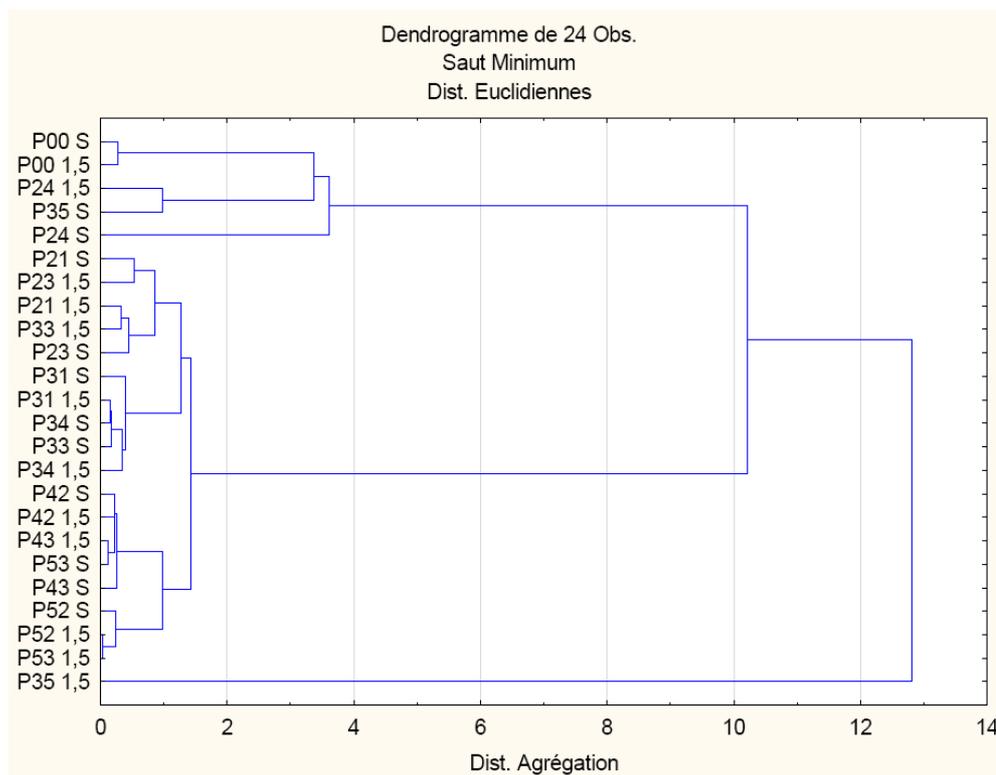
2. Groupe 2 : les stations distantes de 100 à 300 m de l'embouchure de la Kwalé, et qui se subdivisent en 2 sous-groupes :

- d'une part, les stations P21 et P23, à 100 m de l'embouchure mais situées à l'Est et au Sud-est de cette dernière et non directement sous l'influence de la dérive littorale ;
- d'autre part, les stations P31, P33 et P34, situées à 300 m de l'embouchure et formant alors comme une auréole encerclant les stations des groupe et sous groupe précédents.

3. Groupe 3 : les 2 stations P42 et P43 situées sur le bord externe du platier récifal frangeant, à 500 m de distance de l'embouchure, et présentant déjà des caractéristiques d'eaux lagunaires « ouvertes ».

Une autre analyse du même type mais portant sur l'ensemble des paramètres physicochimiques mesurés dans les eaux de surface et les eaux à -1,5 m de profondeur (donc au dessus du fond, pour toutes les stations de l'estran et de la bordure du récif frangeant), donne une classification des stations un peu différentes (cf. Figure 37).

*Figure 37 : Classification hiérarchique des 10 stations d'eaux de subsurface et à -1,5 m de profondeur (= observations) à partir de l'analyse des 24 variables (paramètres physicochimiques) principales (d'après Statistica 10).*



On y distingue les 7 groupes suivants :

- 1. Groupe 00 : la station P35 à 1,5 m de profondeur, du fait de sa très forte turbidité (44 NTU).
- 2. Groupe 0 : la station P00 à l'embouchure de la Kwalé, aux 2 profondeurs.
- 3. Groupe 2 : la station P24 aux 2 profondeurs et P35 en subsurface, située à 100 m de l'embouchure au Nord-est, sous l'influence du courant de jusant portant dans cette direction.

Ces 3 groupes se superposent donc au Groupe 1 des seules eaux de subsurface. Ensuite, on observe un grand ensemble composé de 3 autres groupes et sous-groupes distincts :

- 4. Groupe 4 : les stations P21 aux 2 profondeurs, P23 aux 2 profondeurs et P33 -1,5 m, donc des stations distantes de 100 m et 300 m de l'embouchure, mais toutes situées à l'Est et au Sud-est de cette dernière.
- 5. Groupe 5 : les stations P31 et P34 aux 2 profondeurs, et la station P33 de subsurface, toutes situées à 300 m de l'embouchure.
- 6. Groupe 6a : les stations P42 et P43 aux 2 profondeurs, situées à 500 m de l'embouchure en bordure du front du récif frangeant et la station P53 de subsurface, dans le chenal, mais à proximité de ces dernières.
- 7. et le Groupe 6b : la station P52 et P53 -1,5 m dans le chenal, aux eaux lagunaires typiques.

### COMPARAISON DES SITUATIONS HYDROLOGIQUES DES DEUX SAISONS, CHAUDE ET PLUVIEUSE ET FRAICHE ET SECHE

Pour apprécier les différences de valeurs entre les paramètres physico-chimiques des eaux de subsurface (-0,4 m) en saison chaude et pluvieuse (23 fév. 2012) et en saison fraîche et sèche (24 juil. 2012), on a choisi les valeurs mesurées uniquement le même jour et pendant une même période de jusant et ce pour le plus grand nombre de paramètres (Tableau 29).

On constate donc :

- la température des eaux est plus élevée de près de 2,5 à 3,2° C en saison chaude ;
- la conductivité et la salinité (calculée à partir de celle-ci) sont supérieures de près de 8 à 5 unités de S en saison sèche sur l'estran et 3,7 u S dans le chenal de Bouzi, au large ;
- la densité des eaux est un tout petit peu plus élevée en saison sèche et fraîche (0,01 kg/dm<sup>3</sup>) ;
- le pH est, sur le milieu de l'estran et dans le chenal, légèrement plus élevé (0,1 à 0,2 u pH), donc à tendance plus basique, en saison chaude et pluvieuse ;
- la turbidité est moindre en saison sèche et fraîche, ce qui est assez normal, puisque liée à la pluviosité et aux apports en alluvions ;
- la teneur en O<sub>2</sub> dissous est plus élevée en saison fraîche et sèche, ce qui est normal, la température étant plus basse et l'agitation due aux alizés plus forte dans l'ensemble, surtout dans ce secteur de côte ;
- la teneur en N-ammoniacal est supérieure en saison fraîche et sèche, mais les nitrates ne montrent pas de différences significatives ;
- les teneurs en phosphates sont plus élevées en saison chaude et pluvieuse sur l'estran interne, ce qui pourrait provenir d'un lessivage des sols et des roches de l'île sous l'effet des pluies plus intenses ;
- les teneurs en chlorophylle a sont nettement supérieures en saison chaude et pluvieuse du fait des poussées phytoplanctoniques d'été austral, mais aussi des apports de chlorophylle détritique encore vivante charriée par les eaux de la rivière et les ruissellements ;
- mise à part la station à l'embouchure de la Kwalé, les teneurs en MES totales sont un peu plus élevées en saison fraîche et sèche (+ 2 à 7 mg/l) sur tout l'estran, ce qui est difficilement explicable, si ce n'est par un brassage des fonds et une remise en suspension des particules fines des fonds sous l'effet de vents plus violents à cette saison (alizées du Sud-est à Sud) ;
- idem, pour les MES organiques qui sont plus élevées en saison fraîche et sèche (de l'ordre de 6 à 8 mg/l), tandis que les MES minérales sont bien plus élevées en saison chaude et pluvieuse (+ 5 à 9 mg/l) du fait des apports alluvionnaires par la rivière et les ruissellements.

Enfin, les densités bactériennes pathogènes sont très nettement supérieures dans les eaux côtières et notamment à l'embouchure de la Kwalé (cf. THOMASSIN & MARSCHAL, juil. 2012, pour les données de février 2012) en saison chaude et pluvieuse ; en saison fraîche et sèche, ces densités indiqueraient même des eaux de qualité « bonne pour la baignade ».

**CONCLUSION**

En conséquence, si un rejet des eaux traitées de la station d'épuration de Mamoudzou Sud devait se faire dans le lit de la Kwalé au jusant de pleines-mers de vives-eaux, c'est en saison chaude et pluvieuse que la situation hydrologique à l'embouchure et sur l'estran (distance des 200 premiers mètres à partir de l'embouchure) serait la plus critique et demanderait un suivi de certains paramètres hydrologiques et bactériologiques plus complet et à des périodes plus rapprochées.

Tableau 29 : Différences des paramètres physico-chimiques des eaux de sub-surface entre la saison chaude et la saison froide (juillet 2012) :

n° station	23-févr.-12						24-juil.-12						
	embouchure	estran					chenal lagonaire	embouchure	estran				
	P00 embouchure -0,4 m	P21A -0,4 m	P23A -0,4 m	P24A -0,4 m	P34A -0,4 m	P35A -0,4 m surf.	P52B -0,6 m surf.	P00 embouchure -0,4 m	P21A -0,4 m	P23A -0,4 m	P24A -0,4 m	P34A -0,4 m	P35A -0,4 m surf.
prof m fond corrigé	1,6	1,4	0,8	1,6	1,1	2	20,2	1,9	2	1,18	1,6	2	
prof. M disparition du disque de Secchi				1,18		au fond, presque plus visible		1,07	fond	fond	fond	fond	fond
T° C	28,71	29,29	29,49	30,12	30,38	29,88	30,58	26,3	26,83	26,87	26,67	27,16	2
Conductivité mS/cm	47,4	49,5	52,6	51,8	53,1	52,7	54,7	56,8	56,5	56,8	56,5	56,9	
Salinité calculée psu	28,54	29,58	31,51	30,59	31,27	31,33	32,18	36,71	36,08	36,26	36,20	36,11	3
densité eau d kg dm <sup>-3</sup>	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	
U ph LDAV	8,1	8,1	8,2	8,2		8,25		8,1	8,1	8,1	8,16	8,1	
U pH	7,99	8,17	8,2	8,32	8,25	8,3	8,32	8,15	8,18	8,18	8,16	8,18	
pH mv	-67	-78	-80	-87	-84	-86	-88	-87	-89	-99	-88	-89	
ORP = REDOX mv	216	207	203	203	210	184	211	198	219	228	227	244	
turbidité NTU	16	14	6,9	0	3,5	25,4	0	31	13	12,2	23,2	10,3	
O <sub>2</sub> dissous mg/l	4,34	4,67	4,66	4,54	4,82	5,35	5,12	5,18	5,9	5,25	5,15	5,36	
O <sub>2</sub> dissous %	68,8	74,5	75,8	74,1	79,6	87,4	85,6	83	83,7	82,6	83,5	85	
TDS = solides dissous totaux g/l	28,5	30,1	31,5	31,1	31,8	31,6	32,8	34	33,9	34	33,9	34,1	
N-NH4 mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		0,08	4,32	1,8	5,44	0,76	
NO2 mg/l	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
N-NO3 mg/l	0,1	0,12	0	0,2	0,02	0,05		0,16	0,12	0	0	0	
pool azoté mg/l	0,15	0,17	0,05	0,25	0,07	0,1		0,24	4,44	1,8	5,44	0,76	
P-PO4 mg/l	0	0,18	0,22	0,08	0	0		0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
rapport N/P		0,94	0,23	3,13				3					
chloro. A	4,92	0,82	<	0,38	0,43	1,41		0	0,037	0	0,003	0,001	0
phaéo-pigments								0	0	0,002	0	0	0
MES totales g/l	0,024	0,019	0,024	0,019	0,01864	0,015		0,028	0,021	0,026	0,026	0,019	0
perte au feux MES = MES org. g/l	0,007	0,005	0,006	0,006	0,00465	0,005		0,012	0,013	0,012	0,012	0,011	0
MES org. %	27	25	25	30	25	31		44	62	47	46	55	
MES minérales mg/l	0,018	0,014	0,018	0,014	0,01399	0,01		0,016	0,009	0,009	0,014	0,009	0
MES minérales %	73	75	75	70	75	69		56	42	33	54	45	
Coli totaux col/100 ml	50000	50000	50000	50000	50000	50000							
Escherichia coli col/100 ml	13864	6119	2831	2322	1573	1253		30	<15	<15	<15	<15	
Entéro-coques col./100 ml	1722	690	1431	1345	1322	690		15	<15	<15	<15	<15	

### 5.3.3.3 Résultats et interprétations des analyses des sédiments marins

A l'embouchure de la Kwalé et dans l'auréole sédimentaire proche (à 100 m de rayon) sur le cône deltaïque, les sédiments sont des vases sableuses dans lesquelles prédominent les silts et les argiles (de 70 % à 57 % environ).

Les lutites (<63 µm) représentent donc de 59 %, à l'embouchure (P0) à 68 et 52 % aux stations P21 et P23 – P24, respectivement.

Tableau 30 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, les 21 & 24/02/2012 : Variations des stocks sédimentaires depuis l'embouchure (P0) vers les stations les plus éloignées, à 300 m de celle-ci (P31 à P35).

stations	100 m point P0				300 m point P0			
	P0	P21	P23	P24	P31	P33	P34	P35
Granules GN %	2	2	1	1	2	2	0	18
Sables très grossiers STG %	1	0	0	2	0	0	1	1
Sables grossiers SG %	5	1	3	7	6	3	7	8
Sables moyens SM %	6	2	9	15	13	11	17	15
Sables fins SF %	11	7	18	15	19	21	17	17
Sables très fins STF %	7	7	8	3	8	7	5	5
Silts grossières Slt G %	8	9	7	3	7	6	5	4
Silts moyennes Slt M %	13	16	11	8	10	10	10	6
Silts fins Slt F %	16	21	15	13	13	14	13	8
Silts très fins Slt TF %	10	12	10	9	8	9	8	6
Argiles 4-2 µm Arg 4-2µm %	11	12	10	10	8	9	8	6
Argiles <2 µm Arg <2µm %	8	7	6	13	5	6	7	6

N° prélèvement	P0	P21	P23	P24	P31	P33	P34	P35
GN+STG+SG	7	3	4	10	8	5	8	27
SM+SF+STF	24	17	35	33	40	38	39	37
silts	48	59	44	32	37	39	36	23
argiles	18	19	15	23	13	15	15	12
lutites	59	68	52	52	44	48	45	31

Ce sont des vases dont les 2 cohortes de grains prédominantes ont des tailles de :

- à l'embouchure, P0 : 423 µm pour la cohorte 2, mais qui ne représente que 1% du volume des grains, et 13 µm pour la cohorte 3 qui représente 2,4 % du volume des grains ;
- à 100 m de distance, au point P21, au Nord-est : 237 µm pour la cohorte 2 qui ne représente que 0,5 % du volume des grains, et 13 µm pour la cohorte 3 qui atteint 3 % du volume des grains.
- Toujours à 100 m de l'embouchure et aussi pour toutes les stations situées à 300 m de celle-ci, mais sur les autres radiales, les modes de la cohorte 2 s'échelonnent entre 267 µm et 133 µm et représentent de 3,3 à 2.4 % du volume des grains (cf. Tableau 31).

Figure 38 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, 21 et 24 février 2012 : Variations des stocks sédimentaires depuis l'embouchure (P0) vers les stations les plus éloignées, à 300 m de celle-ci (P31 à P35).

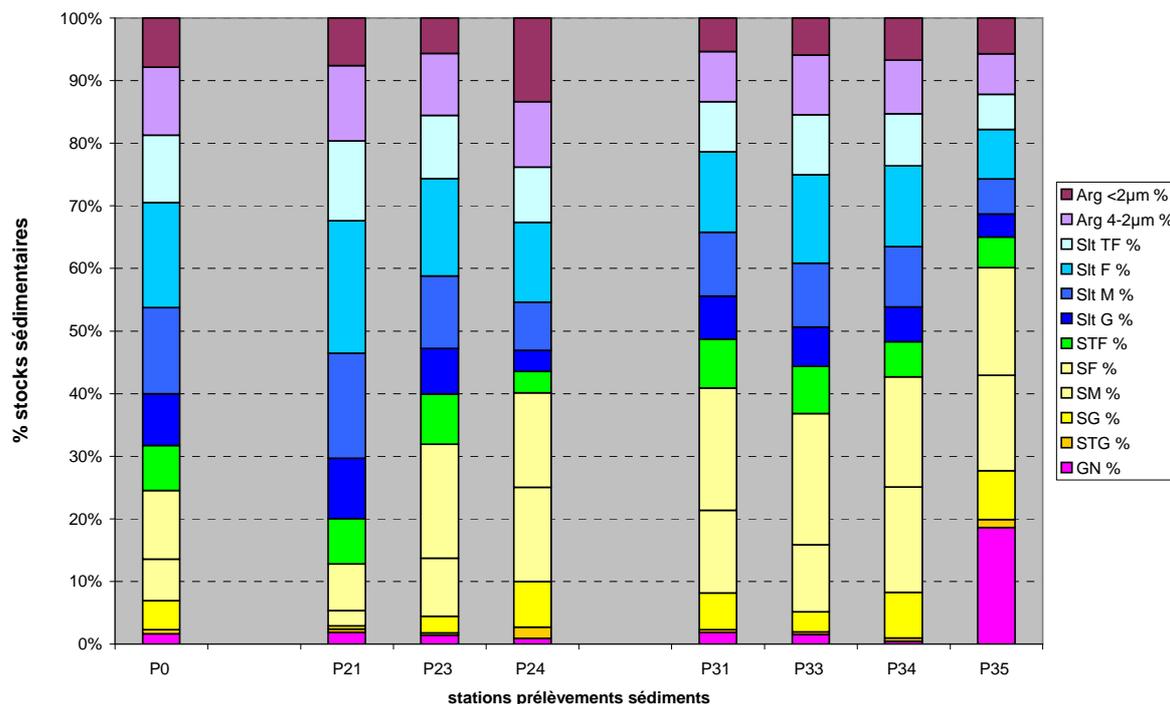


Tableau 31 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, 21 et 24 février 2012 : Modes des 4 cohortes de grains constituant les sédiments, depuis l'embouchure (P0) et les stations les plus éloignées, à 300 m de celle-ci (P31 à P35).

distance de l'estuaire m	station	cohorte 1		cohorte 2		cohorte 3		cohorte 4	
		1er mode µm	% volume	2ème mode µm	% volume	3ème mode µm	% volume	4ème mode µm	% volume
0	P0	1 685	0,02	423	1,08	13	2,41	0,75	0,47
	P21	1 192	0,09	237	0,53	13	3,03	0,84	0,55
100	P23			133	2,35	10	2,24	0,84	0,40
	P24			266	2,66	9	1,89	0,88	0,99
300	P31			189	2,55	12	1,86	0,88	0,39
	P33			158	2,76	9	2,07	0,88	0,42
	P34			267	2,94	11	1,84	0,88	0,49
	P35			267	3,26	8	1,42	0,88	0,51

A l'embouchure de la Kwalé, les sédiments sont des vases sableuses assez riches en carbone organique du fait des détritux végétaux charriés et provenant des mangroves environnantes, pauvres en azote total, mais très riches en phosphore (cf. Tableau 31).

Tableau 32 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, 21 et 24 février 2012 : teneurs en arénites et lutites, carbone organique (C org.), azote total Kjeldhal (N total) et phosphore total (P total).

station	distance de l'estuaire m	direction ° Nord	arénites >63 µm	lutites <63 µm %	C org. g/kg MS	N total g/kg MS	C/N	P total mg/kg MS
B2	mangroves latérales				13,2	0,9	14,7	
B3					14,6	0,4	36,5	
A4					10,9	0,5	21,8	
P0	0		40,5	59,5	14,5	1,1	13,2	1490
P24	100	42	17,1	82,9	<5	<0,1		544
P21	100	75	69,0	31,0	29,6	2,2	13,5	1370
P23	100	132	38,0	62,0	18,6	0,8	23,3	870
P34	300	43	40,6	59,4	10,9	0,4	27,3	1191
P31	300	93	46,2	53,8	25,2	1,1	22,9	1160
P33	300	115	39,6	60,4	18,9	1,1	17,2	951
P35	300	355	30,0	70,0	7,8	0,2	39,0	1242

Par rapport aux sols des mangroves latérales (Thomassin *in* : « ESPACES », 2011), les teneurs en carbone organique sont du même ordre de grandeur (13-14 g/kg MS), mais la teneur en azote total paraît supérieure. Par contre, la teneur maximale en phosphore total est du même ordre de grandeur que celles qui avaient été trouvées dans les sols des placettes de reboisement P5 et P6 sur les tannes du lit majeur de la rivière, plus en amont de l'estuaire et en arrière du cordon sableux (P total = 1 372 et 1 282 mg/kg MS) (cf. Figure 15).

Toutes les valeurs obtenues au cours de cette campagne de février 2012 sont assez conformes aux données fournies par ASCONIT (2004) sur l'estran de la Kwalé (cf. Tableau 33).

Tableau 33 : Teneurs en C org., N total et P total dans les sédiments par le travers de l'embouchure de la Kwalé (extrait d'ASCONIT, 2004)

paramètres du sédiment	ESTRAN	FONDS LAGONAIRES	
	bas de l'estran intertidal infralittoral	haut du tombant corallien, infralittoral, profondeur -11 m	bas du tombant corallien, infralittoral, profondeur -17 m
carbone organique %	<3	17	13
azote total g/kg	<0,3	1,2	1,3
phosphore total g/kg	>1 à 0,2		1,2

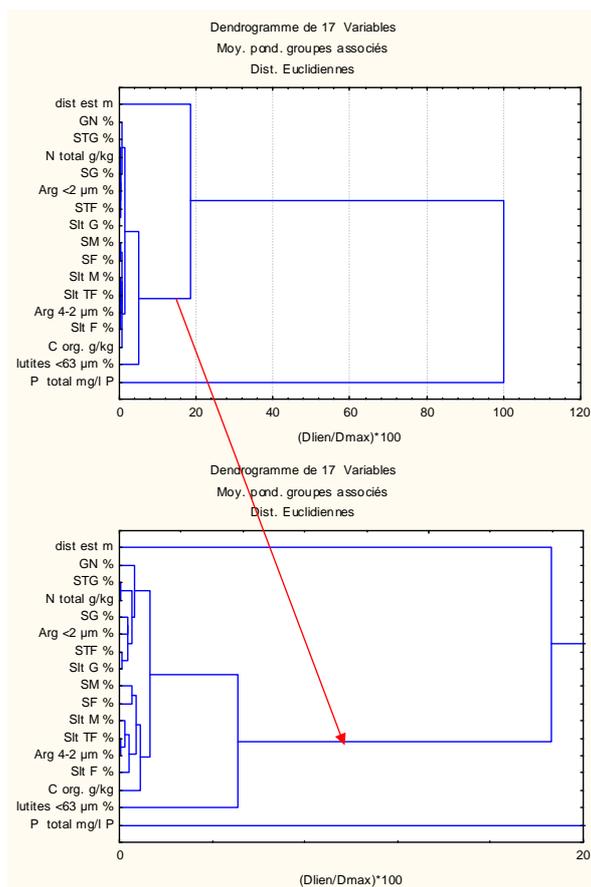
Une matrice de corrélation (corrélations significatives à  $p < 0,05$ ) entre tous les paramètres physico-chimiques de ces sédiments + distance à l'embouchure (au total 17 « variables ») montre que :

- la teneur en C org. est bien corrélée avec celle en N total, ces 2 constituants étant ceux de la matière organique, en général, et, de façon moindre avec la teneur en éléments fins du sédiment (lutites <63 µm et silts grossiers, ceci très probablement en relation avec les débris végétaux broyés) ;
- la teneur en N total est elle aussi très bien corrélée avec les lutites <63 µm et les silts, mais aussi avec les sables moyens et grossiers ;
- la teneur en P total ne montre aucune corrélation significative, mais serait le plus en relation avec la teneur en lutites.

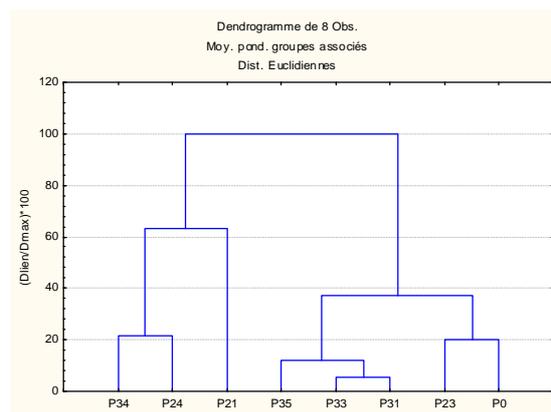
Une analyse exploratoire multivariée, dendrogramme des 17 variables, confirme ces corrélations entre ces différents paramètres physico-chimiques. Elle permet surtout de mettre en évidence les relations entre les différentes stations de prélèvements, ou « observations » (dans cette analyse, la distance à l'embouchure n'a pas été retenue, car trop discriminatoire).

Figure 39 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, 21 et 24 février 2012

Dendrogramme de 17 paramètres physico-chimiques (ou variables). En bas, détail des relations entre paramètres, l'échelle étant grossie.



Dendrogramme (sur la base de 16 paramètres physico-chimiques) montrant les affinités entre les différentes stations de prélèvements, sans tenir compte de leurs distances par rapport à l'embouchure.



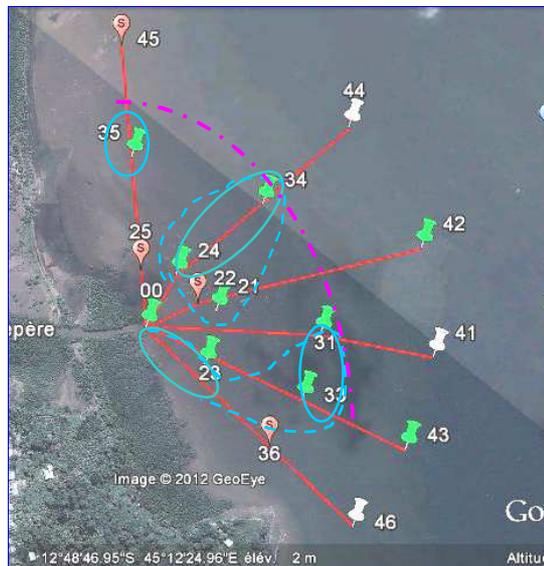
Sur la base des seuls paramètres physico-chimiques des sédiments, deux groupes de stations s'individualisent nettement :

- d'une part, les stations situées sur les radiales 4 : stations P24 et P34, et 1 : station P21, toutes deux orientées au Nord-est de l'embouchure ;
- d'autre part, les stations situées sur la radiale 3 : stations P0, P23 et P33, donc orientée au Sud-est et correspondant au flux d'eaux saumâtres sortant de l'embouchure de la Kwalé ; ces stations se regroupant plus au large, avec des stations de la radiale 1, station P31, alors que s'élargit le panache d'eau douce sortant de l'embouchure. La relation de la station P35 avec ces dernières stations s'explique moins, si ce n'est une distance à l'embouchure similaire avec celle des stations P31 et P33, dans un contexte « d'auréole sédimentaire » du delta alluvionnaire.

D'ailleurs, même sur des vues aériennes verticales déjà anciennes (fig. 3), ce tracé du déversoir des eaux sortant de l'embouchure de la Kwalé, en direction du Sud-est, s'observe très bien.

Ces relations entre sédiments présentant entre eux des affinités, fondées sur leurs paramètres physico-chimiques, permettent une cartographie de ces stations de prélèvements (cf. figure suivante).

Figure 40 : Sédiments de l'embouchure et de l'estran de la Kwalé, les 21 et 24 février 2012 : relations d'affinité entre les différentes stations de prélèvement, d'après l'analyse multivariée et le dendrogramme de la figure 40 à droite.



Les stations très proches entre elles sont regroupées dans les mêmes ovales bleus ; elles sont associées aux plus proches stations dans les figures en tirets bleus ; enfin l'auréole sédimentaire est limitée par la ligne courbe violette.

**Les paramètres physico-chimiques des sédiments, qui intègrent sur le long terme les variations des paramètres physico-chimiques des eaux qui les baignent, notamment lors des épisodes de crues (charge en alluvions et qualité chimiques de ceux-ci), attestent des directions prises par le flux d'eaux douces et/ou saumâtres sortant de l'estuaire de la Kwalé.**

Cette direction vers le Sud-est prise par la nappe de dilution provenant entre autre de l'embouchure de la Kwalé est conforme aux directions des courants de jusant de pleine-mer de vives-eaux proposées par les modélisations hydrodynamiques (cf. modélisation hydrodynamique tridimensionnel de SOGREA pour MEEDDM-SNIA, 2011).

### 5.3.4 Etude de la matière vivante du lagon

Cette prestation d'étude de caractérisation de la matière vivante du lagon sur le secteur au large de l'embouchure de la Kwalé a été confiée au bureau d'étude local **ISIRUS Conseil & Expertise – Environnement marin**, en la personne de Vincent DINHUT.

**Les principaux résultats sont présentés ci-après.** Le rapport complet de cette étude est joint au présent rapport « ISIRUS-Juillet 2012-Etude du milieu marin dans le secteur de Mamoudzou-Ironi ». Il convient de s'y reporter notamment pour de plus amples précisions méthodologiques ou encore pour l'analyse bibliographique sur l'état de santé des récifs du secteur.

#### 5.3.4.1 Objectifs et méthodologie employée

L'objectif global était d'identifier les principaux habitats et espèces caractéristiques, dans le but de déterminer les différentes sensibilités biologiques du secteur lagonaire au droit de l'embouchure de la rivière Kwalé.

Il s'agissait plus précisément :

- d'évaluer la vitalité corallienne<sup>20</sup> et la richesse des peuplements ainsi que l'état de dégradation ;
- de définir la géomorphologie des milieux et de caractériser les habitats présents ;
- de décrire les peuplements associés, espèces ou familles représentatives ou bio-indicatrices.

La caractérisation des différents habitats et de leur sensibilité se base essentiellement sur l'observation sous-marine de la vitalité du front récifal, qui représente la zone de croissance des récifs frangeants et le principal indicateur des pressions existantes sur le milieu. La proportion de coraux mous (Alcyonaires) parmi les peuplements coralliens est distinguée, et les espèces (ou formes) de coraux durs (Scléractiniaires) prédominantes ont été également relevées, traduisant généralement des faciès particuliers ou une structure de peuplement atypique.

Des informations complémentaires ont également été notées par les plongeurs (richesse ichtyologique, diversité corallienne, présence d'indicateurs de dégradation, ...), ainsi que les caractéristiques géomorphologiques des habitats rencontrés.

Pour la faune benthique et les peuplements ichtyologiques, l'inventaire biologique par photo-identification permet de mettre en évidence les principales caractéristiques des habitats concernés afin de définir, en lien avec son état de santé, la richesse et la sensibilité globales. Les informations notées concernent plus spécifiquement :

- les espèces remarquables, dominantes, protégées et/ou menacées,
- les familles de poissons recommandées par l'Observatoire des Récifs Coralliens à Mayotte (Chabanet *et al.*, 2001), ainsi que les espèces indicatrices ou emblématiques (napoléon, perroquet à bosse, etc.),
- les groupes secondaires : échinodermes, crustacés et mollusques.

Des relevés complémentaires ont été effectués sur le platier au droit de l'embouchure de la Kwalé. Une attention particulière a été apportée à la présence potentielle de phanérogames marines (alimentation des tortues vertes et des dugongs).

<sup>20</sup> exprimée en taux de recouvrement de coraux vivants par rapport au substrat dur

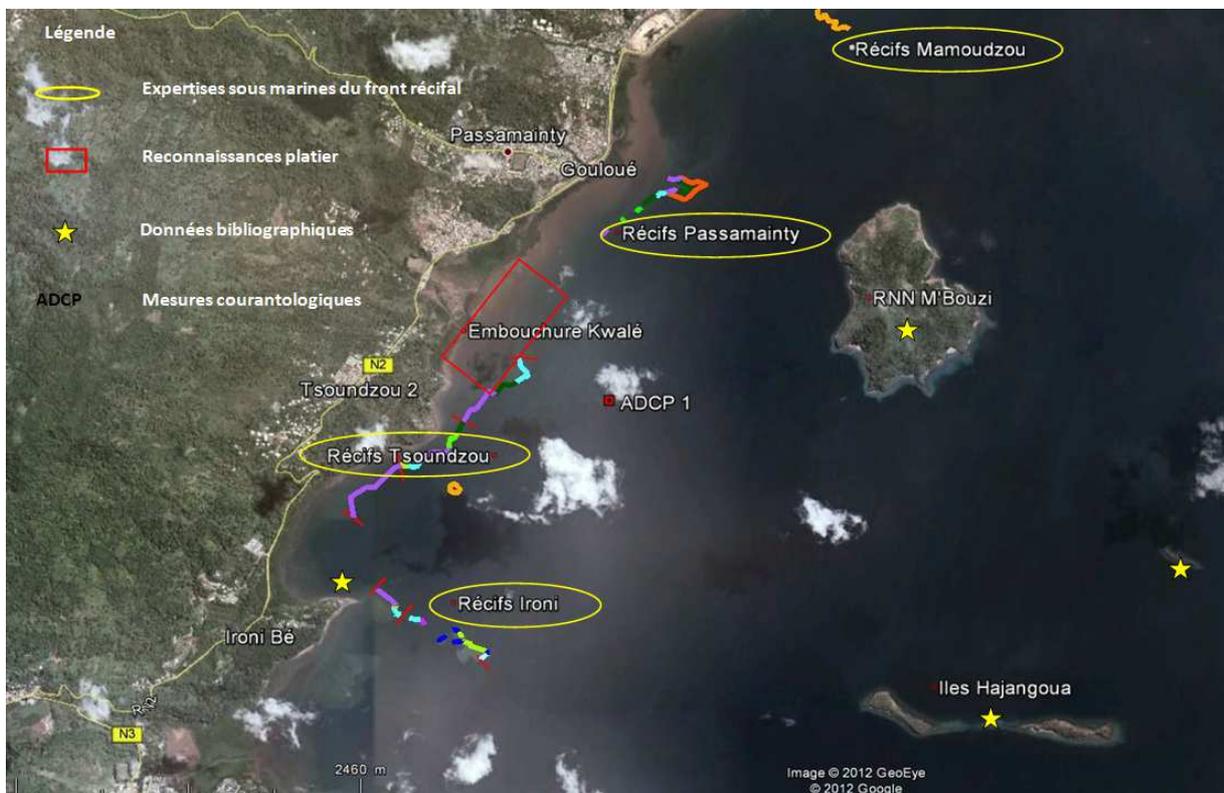
Photo 21 : Différents faciès rencontrés - de la gauche vers la droite : Faciès à Acropores digités, Faciès à Porites massif, Ripple mark et granulométrie variée du platier et colonie de Favia stelligira



Source : Vincent DINHUT

La prestation s'est déroulée en deux étapes : une étude bibliographique puis une campagne **d'observations sous-marine** complémentaire qui s'est déroulée du 13 au 15 juin 2012 sur **plus de 5 km de linéaire couvrant ainsi** des stations d'étude **des récifs frangeants, des récifs internes et pinacles et le platier sablo-vaseux** de l'embouchure (cf. Figure 41).

Figure 41 : Localisation des zones d'investigation de la matière vivante du lagon



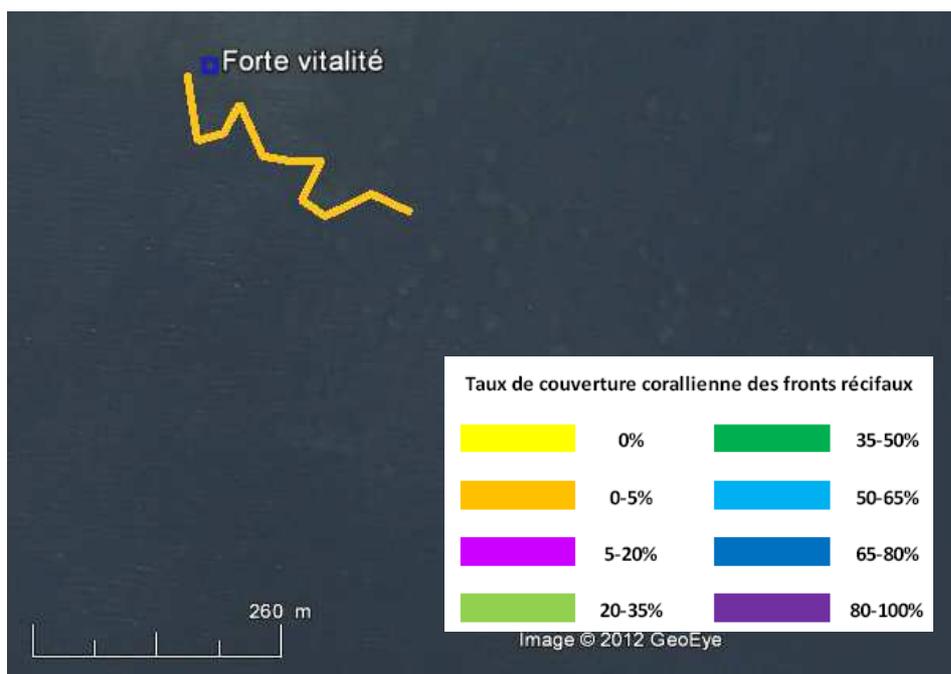
Source : Vincent Dinhut – Etude du milieu marin dans le secteur Mampudzou-Ironi, Décembre 2012.

### 5.3.4.2 Résultats des observations sous-marines de 2012

#### RECIF FRANGEANT DE MAMOUDZOU

Ce récif présente un petit tombant (1m) et une bordure de vitalité corallienne de l'ordre de 5% sur les 435 m inspectés (cf. ). Le substrat dur est essentiellement colonisé par un turf algal envasé. Les coraux durs sont principalement représentés par des Acropores digités (sous formes de petites colonies ou de reprise). Les Alcyonaires (*Sinularia* sp. & *Sarcophyton* sp.) constituent un quart des peuplements benthiques ; les autres taxons sont très discrets (anémone *Heteractis magnifica* et hydraire *Macrorhynchia* sp.).

Figure 42 : Vitalité des fronts récifaux de Mamoudzou



Source : Vincent Dinhut – Etude du milieu marin dans le secteur Mampudzou-Ironi, Décembre 2012.

Nous noterons à l'intérieur du platier une zone remarquable, fortement colonisée par des Acropores branchus et digités (CV : 75%).

Photo 22 : Récif frangeant de Mamoudzou - Genre dominant observé chez les Alcyonaires : *Sinularia* spp. (à gauche), petites colonies d'Acropores digités envahies par le turf algal (au centre) et anémone (*Heteractis magnifica*) et hydraire (*Macrorhynchia* sp.) (à droite)



Source : Vincent Dinhut, ISIRUS

Vers le lagon, le récif se développe en pointe, avec un petit tombant vertical (3 m environ). De petites gorgones éparses sont présentes sur ses parois ainsi que quelques jeunes colonies de corail noir arborescent (*Tubastrea micranthus*). Cette pointe est prolongée par un champ de pinacles qui n'a pas été inspecté.

## RECIF FRANGEANT DE PASSAMAINTY

### Portion 1 : « pointe » (988 m)

Ce récif débute au Nord par une petite pointe entourée par une zone à petits pinacles (de 1 à 3 m de hauteur). Auparavant, le milieu est constitué d'une plaine sablo-vaseuse (carte 6) où sont présentes de rares algues vertes *Halimeda* (1%) et des terriers à Gobiidés épars. Nous noterons également la présence discrète de colonies de bryozoaires ainsi que quelques anémones des sables (cf. *Cerianthidae*).

Ces pinacles au droit du récif frangeant ont une vitalité corallienne de l'ordre de 10% (594 ml), dont de nombreux *Alcyonaires* (40%) dont la couverture diminue au Sud de cette zone (<30%) où les fonds sablo-vaseux (-6 CM) sont couverts d'anciens débris coralliens. Nous noterons également la présence d'hydriaires et de spongiaires (10%).

Le récif frangeant de cette pointe se termine à l'Est par de gros blocs éclatés (pinacles quasi décamétriques). La vitalité est ici de l'ordre de 50 %, avec une faible proportion d'*Alcyonaires* (<20%). Les peuplements de coraux durs sont caractérisés par de grandes zones à *Acropores* digités, alternées avec de grandes colonies monospécifiques de formes massives (*Favia stelligira* & *Porites* du groupe *lutea-solida*) et submassives (*P. rus* & *Galaxea astreata*). Ces deux faciès sont ici caractéristiques et seront retrouvés dans les différentes zones étudiées présentant une bonne vitalité.

Les fronts récifaux à la base de cette pointe présentent une vitalité moindre, de l'ordre de 5 à 20%, dominés par de petites colonies massives de *Porites*.

### Portion 2 : « intermédiaire » (184 m)

Au sud de cette zone le récif frangeant se rétrécit, présentant un court arrière-platier ensablé à petites colonies de *Porites* massifs (CV : 20%). Le front récifal présente à ce niveau une forte vitalité (cotation 5 sur 80 m) avec un faciès à *Acropores* digités et *Porites* massifs (Les *Alcyonaires* étant quasiment absents).

Le platier devient ensuite complètement ensablé et le récif frangeant commence à se déstructurer (présence de petites travées sableuses) pour disparaître. A cet endroit la vitalité est estimée entre 35 et 50% (faciès à *Porites* massifs) avec une proportion d'*Alcyonaires* de 10% environ.

Nous noterons au pied du récif frangeant de grandes colonies d'*Acropores* branchus et de *Goniopora* cf. *columna*, qui seront localement observés lors de l'étude.

### Portion 3 : « récifs isolés » (143 m)

Deux portions récifales de moins de 50 m sont ensuite présentes, entrecoupées par le début de la plaine sablo-vaseuse. La vitalité est relativement bonne (cotation 4) avec un faciès à *Acropores* digités. Nous noterons localement la présence de belles colonies à *Pavona decussata*, et de formes massives (*Porites*, *F. stelligira* et *Lobophyllia* sp.). Les *Alcyonaires* sont présents à 15%.

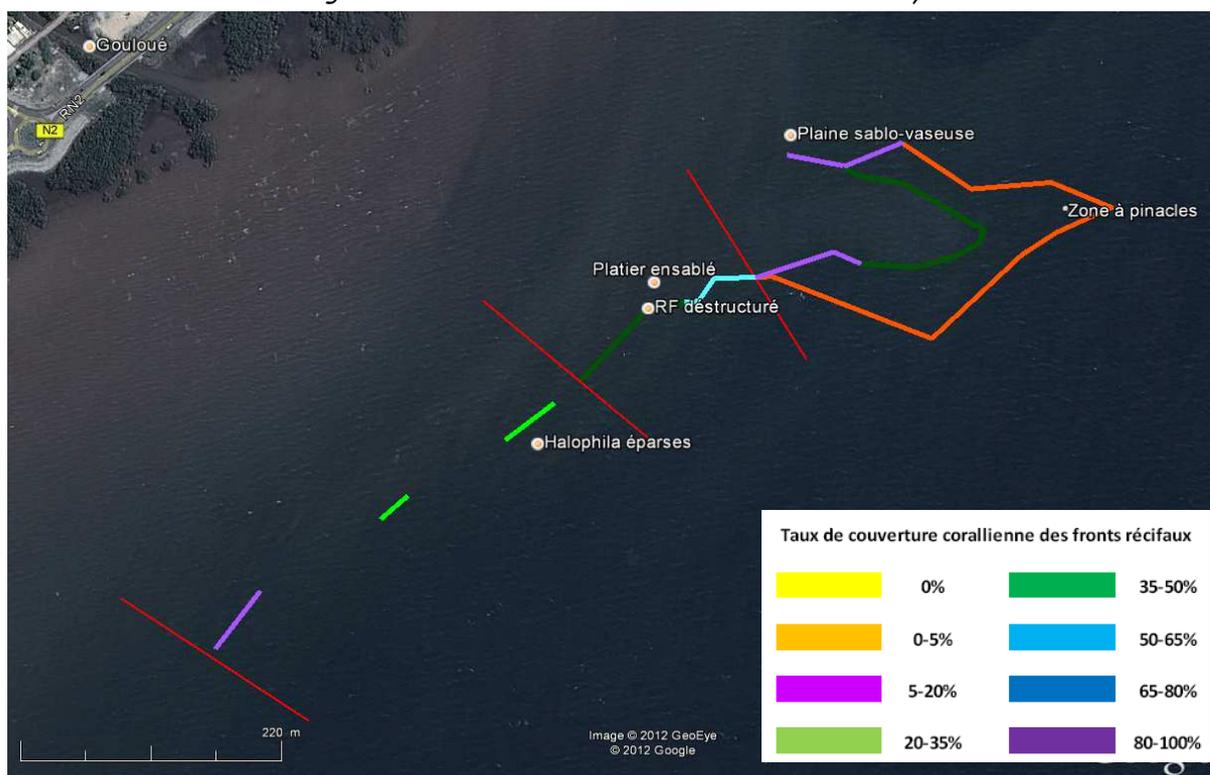
De rares brins épars à *Halophila* (<<5%) sont présents au pied de ces portions récifales.

Une dernière portion d'une soixantaine de mètres de long, isolée, présente une vitalité faible (<20 % ; cotation 3), avec localement quelques beaux faciès à *Acropores* digités et à colonies massives de *Favia stelligira* et submassives (*P. rus*). Un tombant plus prononcé est présent (de 2 à 3 m) au pied duquel se développe, sur un socle basaltique émergeant localement, de nombreuses colonies d'*Acropores* digités et quelques *Porites* plurimétriques. Les *Alcyonaires* (*Sinularia* spp. essentiellement) constituent 30% des peuplements. Le substrat dur est colonisé par un turf algal dense.

La présence d'éponges noires dressées (indéterminées) sur le platier et de quelques algues *Halimeda* sur le substrat meuble a été notée.

Une plaine sablo-vaseuse débute alors sur 1 kilomètre, jusqu'au récif frangeant de Tzoundzou.

Figure 43 : Vitalité des fronts récifaux de Passamainty



Source : Vincent Dinhut – Etude du milieu marin dans le secteur Mampudzou-Ironi, Décembre 2012.

Photo 23 : Faciès dominants du récif de Passamainty : 1 - Faciès à *Acropora digités* (*Acropora spp.*) à gauche - 2 : Faciès à *Porites massif* (du groupe *lutea-solida*) au centre - 3 : Faciès à *Galaxea astreata* à droite



Source : Vincent Dinhut

## PLATIER ET PLAINE SABLO-VASEUSE

Au delà du zéro hydrodynamique (ou CM : Côte marine), la faune endogée est quasiment absente. Le substrat est à dominance sableuse avec une granulométrie diverse et présente des ripple marks ainsi qu'une pente quasi-nulle. Sur les isobathes 0 à -1 CM, se développent plusieurs brins épars de phanérogames à *Halophila ovalis* et *H. stipulacea*, sans pour autant former de patchs denses (cf. Figure 44 et Photo 25). Leur couverture est inférieure à 5%. De petits terriers de la faune endogée font également leur apparition à cette profondeur.

Les investigations sur cette ligne isobathe ont permis de mettre en évidence une zone de petits patchs clairsemés à *H. ovalis* (cf. *Figure 44*), quasiment au droit de l'embouchure de la Kwalé (<20%), et au Nord Ouest, une zone plus large, de pelouse également clairsemée (<15%) composée de brins de *H. ovalis* et de *Halodule uninervis* (espèce ici morphologiquement peu développée et épiphytée).

Ces formations végétales décrites ne peuvent être réellement qualifiées d'«herbier» et nous noterons par ailleurs l'absence de trace d'herbivorerie par les tortues vertes. Les phanérogames ne sont plus observées en deçà de -2 CM.

La pente s'accroît de -2 à -3 CM où apparaissent les premiers tumuli à -3 CM et de petites colonies de bryozoaires éparses. Une zone plus dense à bryozoaires (30% de couverture) a été rencontrée sur -2.5 CM avant la dernière portion récifale de Passamainty. Les peuplements vagiles sont principalement représentés par de petits mollusques en grand nombre (*Mitra* cf. *bacillum*). nous noterons une amélioration des connaissances de la faune locale avec la première observation à Mayotte du nudibranche *Ceratosoma* tenue (com. P. BIDGRAIN). A -4 CM la pente devient importante et le substrat sableux présente de grands tumuli et terriers. Cette pente interne sablo-vaseuse continue jusqu'à des profondeurs de -26/-28 CM.

*Figure 44 : Localisation des phanérogames sur le platier de l'embouchure*



Source : Vincent Dinhut – Etude du milieu marin dans le secteur Mampudzou-Ironi, Décembre 2012.

Photo 24 : Substrat meuble - terriers de la faune endogée (à gauche) - tâches de cyanobactéries (au centre) - Ripple mark et granulométrie variée du platier (0 à -1 CM) (à droite)



Source : Vincent Dinhut

Photo 25 : Phanérogammes marines - Espèce la plus abondante : *Halophila ovalis* (à gauche) - Zone à *H. ovalis* et *Halodule uninervis*, cette dernière étant régulièrement épiphytée par des cyanobactéries algales (au centre) - Brins de *Halophila stipulacea* (à droite)



Source : Vincent Dinhut

## RECIF FRANGEANT DE TZOUNDZOU

### Portion 1 (825 m)

Un petit récif frangeant (1m de hauteur) se développe quasiment au droit de l'embouchure, et forme une pointe avec une orientation Sud-Est. Il présente plus de 50% de vitalité (cotation 6) sur 250 m avec un large faciès dominant à Porites massifs et quelques zones à Acropores digités. Les Alcyonaires sont très peu présents (<10%).

a vitalité diminue ensuite progressivement (cotation 5 puis 3) en direction du Sud Ouest où alternent des zones de bonne vitalité à faciès de Porites massifs et submassifs/Acropores digités, et des zones dégradées présentant des colonies mortes ou des débris coralliens colonisés par le turf algal. Les Alcyonaires sont toujours discrets (5%). Cette portion se termine par de grandes zones dégradées avec de petites colonies d'Acropores digités et quelques colonies de *F. stelligira* épiphytées par le turf algal. Nous noterons à cet endroit de nombreux coraux solitaires (cf . *Fungia* spp. & *Herpolita* sp.) et la présence de plusieurs anémones (*H. magnifica*).

Nous remarquerons localement le développement de quelques grandes tâches ( $\varnothing > 1m$ ) denses de cyanobactéries filamenteuses.

Photo 26 : Cyanobactéries filamenteuses observées ponctuellement sur le récif de Tzoundzou

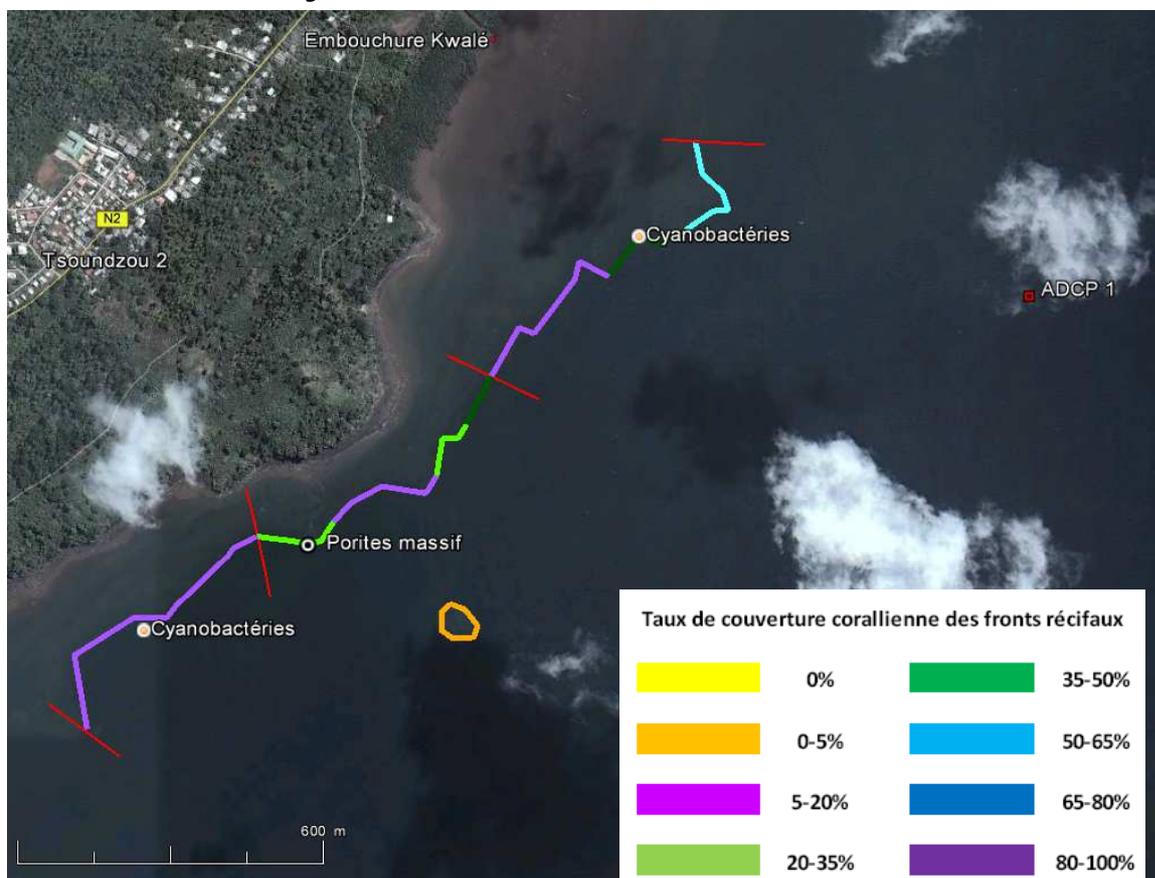


Source : Vincent Dinhut

## Portion 2 (665 m)

Un faciès dominant à *Galaxea astreata* apparaît à ce niveau, augmentant la vitalité avec de grandes colonies monospécifiques, accompagné de zones denses à petite colonies d'Acropores digités. Ces dernières se retrouvent également au pied du tombant. La couverture corallienne est ici estimée entre 35 et 50 % (cotation 5). La proportion d'Alcyonaires est d'environ 15 %, où l'espèce encroûtante *Rhytisma* sp. devient dominante sous forme de patchs, et de nombreuses colonies d'hydroides de feu (*Aglaophenia* cf. *cupressina*) auparavant erratiques, ont ici été notées.

Figure 45 : Vitalité des fronts récifaux de Tzoundzou



Source : Vincent Dinhut – Etude du milieu marin dans le secteur Mampudzou-Ironi, Décembre 2012.

La vitalité baisse à nouveau (cotation 4 puis 3), avec la présence de grandes zones non colonisées alternant avec des faciès à *Porites rus* (forme submassive), la proportion d'Alcyonaires étant faible (10%). A la fin de cette portion récifale se localise une zone où une turbidité constante a été observée durant toute la mission. C'est également à ce niveau qu'a été noté un faciès marqué à coraux solitaires (*Fungia* spp., *Herpolita* sp. & *Heliofungia* sp.).

*Photo 27 : De gauche à droite : Faciès à *Porites cylindrica*, Coraux solitaires (*Herpolita* sp & *Fungia* spp.), *Porites submassif* (*P. rus*), Colonie de *Favia stelligira* et Alcyonaire encroutant (cf. *Rhystima* sp.)*



Source : Vincent Dinhut

Le récif frangeant est alors « morcelé », présentant successivement des zones à petit tombant vertical (1 à 2m), subvertical, ou à pente détritique. L'apparition de grandes colonies monospécifiques à *Porites cylindrica* augmente la vitalité (cotation 4). Nous remarquerons ici que plusieurs faciès restreints (à Acropores digités, *Porites rus* & à *G. astreata*) alternent avec le précédent. Une dizaine de bénitiers (*Tridacna* sp. ; auparavant rares) ont également été observés. A ce niveau se trouve une colonie remarquable de *Porites* massif (Ø : 3m environ).

La présence de quelques grandes tâches (Ø>1m) denses de cyanobactéries filamenteuses sur le platier comme au pied du tombant est observée.

Un pinacle de grande taille, à environ 200m du frangeant, a également été inspecté. Il présente une partie sommitale (0 CM) faiblement colonisée (cotation 2) avec plus de 50 % d'Alcyonaires (*Sinularia* sp. & *Rhystima* sp.). La paroi subverticale sur ses parties Sud et Est s'atténue progressivement en une pente douce sablo-détritique à l'Est. La couverture benthique (<40%) au pied du pinacle (-6 CM) se constitue principalement de peuplements diversifiés de coraux mous (nombreux Néphthéidés). De petites colonies coralliennes se développent essentiellement sur les parois du pinacle (cf. *Physogyra* sp., *Tubastrea micranthus* & *Echinopora lamellosa*).

### Portion T3 (590 m)

Cette dernière portion du récif frangeant de Tzoundzou est relativement homogène ; le front récifal est toujours morcelé (ou affaissé) avec un petit tombant (1m) alternant avec des blocs éclatés et des zones à pentes détritiques. La vitalité est comprise entre 5 et 20%, s'atténuant vers le Sud Ouest, où la proportion d'Alcyonaires augmente (5 puis 25%), avec ponctuellement des tâches de cyanobactéries filamenteuses.

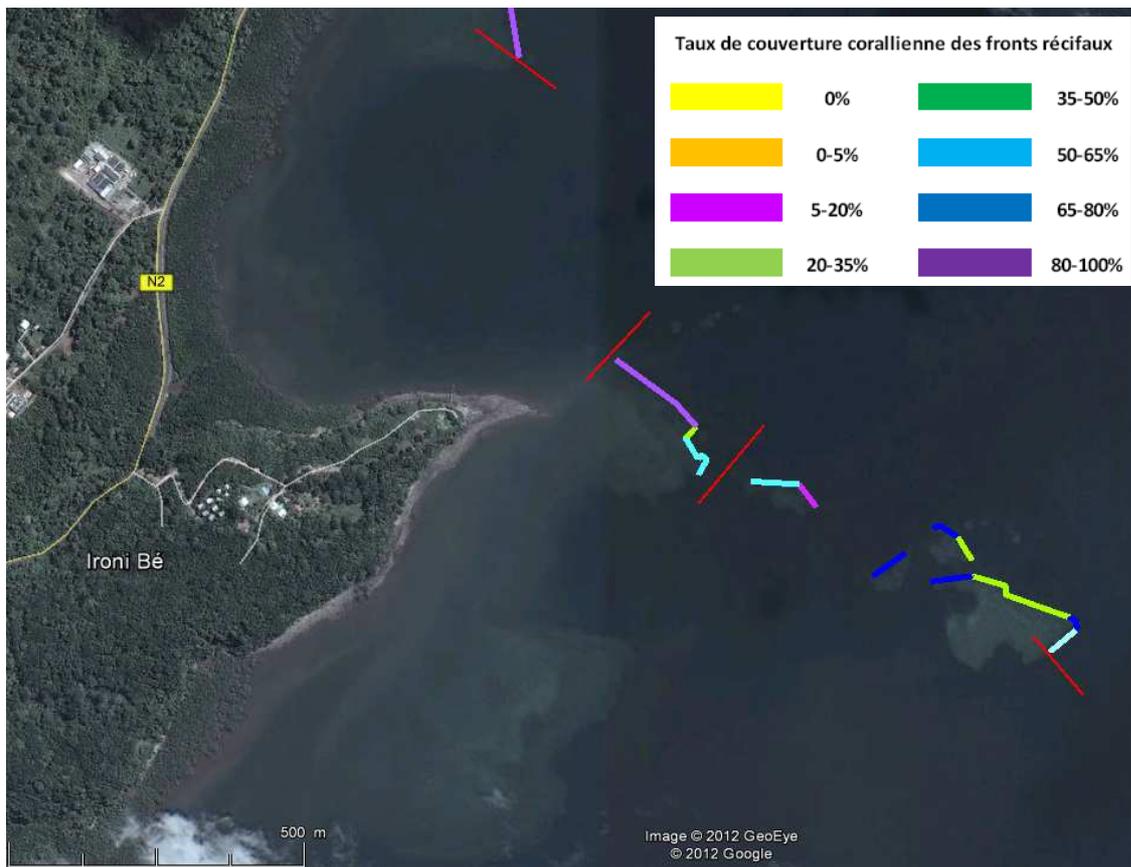
Les peuplements de coraux durs se présentent d'abord par des faciès, restreints mais denses, à Acropores digités et Porites (massif et submassif) contrastant avec des zones très faiblement colonisées révélant de nombreuses colonies mortes. La seconde partie de cette portion est caractérisée par une alternance des différents faciès précédemment observés, localisés sur des zones très limitées. Nous noterons ici la présence discrète (<5%) de l'éponge orange dressée (cf. *Acanthella* sp.), s'ajoutant aux indicateurs de dégradation de cette fin de portion (augmentation des Alcyonaires et présence de cyanobactéries).

## RECIFS DE LA POINTE D'IRONI-BE

### Portion 1 : récif frangeant (280 m)

Le front récifal de la pointe Ironi se présente sous la forme d'une pointe affaissée à colonies coralliennes éparses, avec un platier arasé. La vitalité est estimée à 15 % environ avec principalement de petits faciès à Acropores digités et des colonies massives (Porites, *F. stelligira*) et submassives (*P. rus*). Les Alcyonaires (*Sinularia* sp. & *Rhystima* sp.) sont peu présents (<10%). La vitalité augmente ensuite fortement (cotation 6), certainement en lien avec les conditions hydrodynamiques de l'effet « pointe », où domine un faciès à Acropores digités, accompagné de belles colonies d'Acropores tabulaires et de Porites massifs.

Figure 46 : Vitalité des fronts récifaux d'Ironi



Source : Vincent Dinhut – Etude du milieu marin dans le secteur Mamoudzou-Ironi, Décembre 2012.

*Photo 28 : Vitalité remarquable (70%) des faciès d'Acropores sur les récifs internes (à gauche), Peuplement de Nephtheidés (coraux mous) au pied des récifs internes (au centre), Colonie de Plerogyra cf. sinuosa (à droite)*



Source : Vincent Dinhut

## Portion 2 : récifs internes (760 m)

Cette pointe se prolonge par des parties récifales décamétriques, ici assimilées à des récifs internes, sur des fonds de -3 à -7 CM. Le premier récif présente sur sa partie Ouest une forte vitalité avec des peuplements analogues à l'extrémité de la pointe récifale. Nous noterons de belles colonies d'Acropores branchus et une colonie remarquable d'Acropore tabulaire ( $\emptyset$  : 2m). Les Alcyonaires sont peu présents (5%) avec localement des grosses colonies de Sinularia sp. La partie Est est moins vivante (15/20%), présentant un platier arasé colonisé par le turf algal et un faciès peu dense à Acropores digités.

La dernière partie récifale représente une zone à vitalité remarquable où localement les recouvrements en coraux durs atteignent les 70%, avec des faciès denses à Acropores digités et Porites submassifs. Nous noterons à l'extrémité Sud-Est un faciès particulier à Acropora formosa.

Au pied de ce dernier récif (-6CM) sont présents des peuplements denses (50% environ) avec une forte proportion d'Alcyonaires (Nephtheidae, Sinularia sp., Rhystima sp., Sarcophyton sp.), des éponges noires dressées et des espèces de scléactiniaires (<15%) caractéristiques des milieux hémisciaphyles et hypersédimentaires (Lobophyllia sp. Pleurogyra sp. & Pachyseris speciosa).

La zone centrale (façade Nord Est) est de moindre vitalité (cotation 4) avec de petites colonies éparses d'Acropores digités et tabulaires ainsi que des colonies massives de (Porites, Favia et cf. Platygyra sp.).

## OBSERVATIONS COMPLEMENTAIRES SUR LES PEUPELEMENTS VAGILES RENCONTRES

### Peuplements ichtyologiques

La faune ichtyologique observée sur les platiers récifaux apparaît comme pauvre et peu diversifiée, compte tenu des zones à forte vitalité rencontrées. Sur l'ensemble des secteurs, deux familles, au régime alimentaire globalement herbivore, sont largement dominantes :

les Pomacanthidés (poissons demoiselles) principalement représentés par l'espèce Chromis viridis, inféodées aux colonies d'Acropores, et les poissons des genres Abudedefduf et Amblyglyphidodon, mais également Pomacentrus pavo, P. cf. pikei & Stegastes sp., indicateurs de développement algal ;

les Acanthuridés (chirurgiens) et notamment les espèces Acanthurus sp., Ctenochaetus spp., Zebrasoma sp., et dans une moindre mesure, l'idole maure (*Zanclus cornutus*).

Les Labridés ont été observés en proportion normale, avec les espèces Gomphosus sp. (labre oiseau) et *Labroides dimidiatus* (labre nettoyeur).

Les poissons papillons (Chaetodontidés, au régime corallivore), indiquant généralement un récif en bon état de santé, sont relativement peu présents (*Chaetodon falcula*, *C. auriga* & *C. trifasciatus*). Les poissons anges (Pomacanthidés) n'ont quasiment pas été observés, les récifs frangeants ne représentant pas leur niche écologique préférentielle.

La rareté notable des mérous (Serranidés, moins d'une vingtaine de jeunes individus d'*Epinephelus* spp. ont été rencontrés) et des perroquets (Scaridés) indique une surpêche locale de ces familles d'intérêt commercial. Plusieurs indicateurs de petite pêche ont été par ailleurs constatés : filets, fil nylon, impact d'ancre de pirogue.

### Echinodermes

Sur les récifs frangeants une trentaine d'étoiles de mer *Linckia laevigata* ont été rencontrées, et un seul individu des espèces *Culcita* sp. (étoile coussin) et *Nardona* sp. (de petite taille). Une seule *Acanthaster planci* a été recensée au niveau de Passamainty. Les Ophiures et Crinoïdes n'ont pas été observés.

Les Holothuries sont relativement peu abondantes (moins de trente individus observés) avec classiquement *Holothuria atra* présente sur les platiers, et les espèces *Stichopus* sp. et *Thelenota anax* observées sur les fonds meubles. Ce sont toutes des espèces d'intérêt commercial, dont la collecte est interdite à Mayotte depuis 2004.

Les oursins, brouteurs d'algues, ont été peu recensés avec quelques individus (<20) de *Diadema* sp. et *Echinostrephus* sp. (bio-perforateur). Leur présence est généralement favorable au recrutement corallien.

### Crustacés

Des langoustes juvéniles (*Panulirus* sp.) ont été régulièrement observées dans de petites anfractuosités des platiers récifaux et une quinzaine de langoustes adultes ont été aperçues dans de petites grottes au pied des récifs internes de la pointe Ironi. Nous noterons également la présence des crevettes du genre *Callichirus* (*Tumuli*) et *Alpheus* (vivant en association avec les Gobiidés dans un terrier).

### Mollusques

Le bivalve fréquemment rencontré est l'huître zig zag (*Lopha* sp.) ayant la faculté de s'acclimater aux milieux dégradés, et de rares spondyles (*Spondylus* sp.) ont été aperçus. Nous noterons la faible présence du peigne iridescent (*Pedum spondylium*) se rencontrant classiquement dans les colonies massives (*Porites*, *Goniastrea*), ici très présentes. Les Bénéitiers (*Tridacna* sp.) sont recensés en nombre moindre, sur quelques portions récifales localisées où la vitalité est généralement bonne. Ces bivalves indiquent généralement un bon état de santé du récif.

Sur les zones à substrats meubles, de nombreux individus de mitres de petite taille (proches de l'espèce *Mitra bacillum*) ont été observés sur -1 à -2 m.

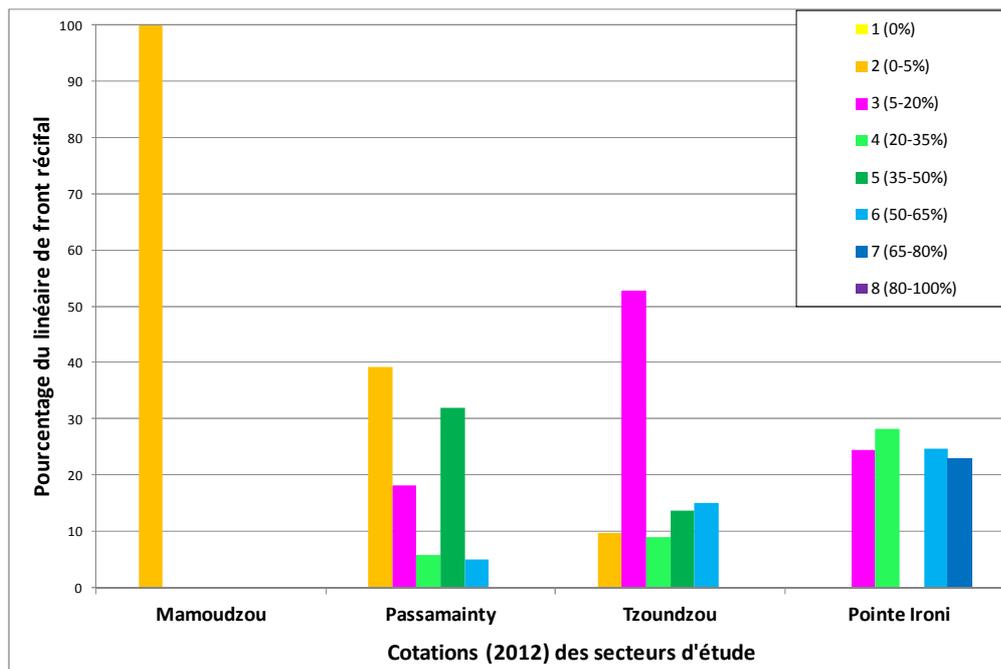
#### 5.3.4.3 Synthèse de la campagne d'observation

L'ensemble du linéaire récifal inspecté lors de cette étude représente 5.2 km où le recouvrement corallien moyen est de l'ordre de 25 %, ce qui est remarquable dans le contexte des dégradations des récifs frangeant de cette côte Est de Grande Terre. Les récifs internes d'Ironi bé, représentent le site le plus « sensible » du secteur, avec un recouvrement moyen de 46 % pour 685 m inspecté. Il se situe toutefois à plus de deux kilomètres de l'embouchure de la Kwalé.

Sans prendre en compte ce site de récif interne à forte vitalité, le reste des zones inspectées présente un recouvrement moyen de 21 %.

Le détail de chaque station est présenté dans la figure ci-dessous, où un gradient de vitalité se distingue globalement sur un axe NE/ SO. Dans la réalité, une alternance de la vitalité corallienne est constatée.

Figure 47 : Distribution des différentes cotations des taux de recouvrement corallien du secteur d'étude



Source : Vincent Dinhut – Etude du milieu marin dans le secteur Mamoudzou-Ironi, Décembre 2012.

Les faciès coralliens les plus fréquents sont ceux à **Acropores digités** et à **Porites massifs**, classiquement observés à Mayotte. La **diversité en coraux durs est relativement faible**, avec en moyenne moins de 15 espèces observées. Les **Alcyonaires sont peu représentés** dans les peuplements benthiques avec une moyenne de 10 % sur l'ensemble de l'étude où le genre *Sinularia* est dominant. Ce très faible taux de recouvrement (<<5%) est pour le moins singulier compte tenu des milieux rencontrés.

Certains signes, et notamment parmi les **groupes floristiques et faunistiques annexes**, témoignent cependant **d'un déséquilibre du milieu** (eutrophisation...) et montrent des indices de dégradation : présence de cyanobactéries (tâches importantes mais très localisées), de turf algal, dominance des poissons herbivores et planctonophages....

#### 5.3.4.4 Comparaison avec les résultats d'études antérieures

Comparativement à l'étude des récifs frangeants de Grande Terre de 2004 (WICKEL & THOMASSIN, 2005), de nombreux secteurs ont évolué dans leur taux de recouvrement corallien :

- Une légère amélioration est notée sur la pointe de Mamoudzou, passant de la cotation 1 à 2.
- La première partie du récif de Passamainty évolue plus nettement avec les cotations 2 passant à 3 et les cotations 3 passant à 4 voir à la cotation 5.
- Le récif frangeant de Tzoundzou voit également une forte progression sur sa première moitié (cotation 3 passant à 5 puis 4) mais une régression est constatée de la pointe de Tzoundzou 2 jusqu'au début de l'anse d'Ironi bé où globalement la cotation 4 passe à la cotation 3.
- Enfin une nette évolution est constatée à l'extrémité de la pointe du récif frangeant d'Ironi évoluant de la cotation 3 à 5 (les récifs internes ne faisant pas partie de l'étude de 2004).

D'une manière générale, une évolution positive est constatée sur le secteur d'étude sur les 8 années séparant les deux études, seule une portion récifale de la pointe Tzoundzou 2 étant en régression.

Nous préciserons toutefois, dans une approche critique de la méthodologie retenue, que les observations sous marines permettent des observations plus précises des peuplements et de la géomorphologie tandis que l'évaluation du taux de recouvrement depuis la surface (étude 2004) donne à l'observateur une vision plus globale de la vitalité du front récifal.

Nous reprendrons ici la comparaison faite sur la vitalité des récifs frangeants de l'îlot M'Bouzi (PARETO/APNEE/LAGONIA/ARVAM, 2010), où les auteurs constatent une légère diminution du recouvrement en coraux durs au profit d'une augmentation du recouvrement en coraux mous entre 2006 et 2010.

### 5.3.4.5 Identification des zones remarquables

Les résultats ont permis de définir des zones biologiques remarquables ainsi que la vulnérabilité des peuplements présents vis-à-vis du projet d'implantation de la station d'épuration de Mamoudzou Sud. Plusieurs stations à forte vitalité (>50% de recouvrement) ont été identifiées (cf. Figure 48) :

- Une courte portion récifale à Passamainty au droit de la Gouloué ;
- Le début du récif frangeant de Tsoundzou au droit de la Kwalé ;
- La pointe du récif frangeant d'Ironi, ainsi qu'une grande partie de ses récifs internes, sur leur façade Nord Est.

Ces zones représentent idéalement des stations potentielles de suivi des peuplements benthiques dans le cadre du projet actuel de stations d'épuration, auxquelles s'ajouteraient les stations de suivi déjà mises en place sur l'îlot M'Bouzi. Un point de suivi dans la zone à phanérogames pourrait également être retenu dans cette optique.

La bibliographie met également en évidence des zones remarquables :

- Le pinnacle corallien et les pointes de la façade Sud-Ouest de l'îlot M'Bouzi ((PARETO/APNEE/LAGONIA/ARVAM, 2010)) ;
- Des portions récifales des îles Hajangoua (WICKEL, 2006).

Douze « spots » de vitalité ont ainsi été identifiés, remarquables pour leur vitalité et présentant un faciès ou un habitat particulier.

Figure 48 : Localisation des zones remarquables (★) identifiées dans cette étude



Source : Vincent Dinhut – Etude du milieu marin dans le secteur Mamoudzou-Ironi, Décembre 2012.

### 5.3.4.6 Vulnérabilité des peuplements identifiés

La vulnérabilité des peuplements coralliens identifiés résulte du croisement de leur sensibilité, des caractéristiques du milieu récepteur et de l'analyse de risques d'impacts du projet.

Les coraux durs sont considérés comme très sensibles aux variations des facteurs environnementaux, et utilisés à ce titre comme indicateur biologique des milieux récifaux. Cependant, certains genres, tels les Porites ou les Physogyra, présents dans le secteur d'étude, montrent des facultés de résistance aux variations de la qualité des eaux. D'autres genres, tels les Acropora qui représentent le faciès dominant sur l'ensemble des sites prospectés, sont considérés comme moins endurants à ces variations.

Nous noterons par ailleurs que les peuplements coralliens situés dans la zone d'emprise des rejets « naturels » de la Kwalé, sont habitués depuis ces dernières décennies à des épisodes de crues et donc de dessalure importante, associée à de fort taux en MES. Phénomène s'amplifiant ces dernières années avec une urbanisation et un déboisement non contrôlés. Il apparaît toutefois aujourd'hui que des zones à forte vitalité sont présentes à 500 m au droit de l'embouchure.

L'endofaune de ces fonds vaseux de l'estran (une composante de la grande "Biocèneose des Sédiments Vaseux de Mode Calme) est particulièrement bien adaptée aux conditions d'euryhalinité des eaux et d'enrichissement en matière organique (comm. Pers. B. Thomassin). De même la phanérogame marine *Halophila ovalis* est parfaitement adaptée aux fonds vaseux ou sablo-vaseux terrigènes, puisqu'on la trouve à Mayotte depuis les estrans intertidaux jusqu'à 30-40 m de profondeur dans les fonds de baies ou les chenaux du lagon (comm. Pers. B. Thomassin).

Les peuplements les plus vulnérables aux impacts de rejet dans la Kwalé, de par leur localisation, sont ceux directement soumis à l'emprise du panache de rejet estimé à un rayon d'environ 1 km (observations lors de crues de la Gouloué). Cette zone inclue une grande partie du récif frangeant de Tzoundzou (dont un site de vitalité remarquable) et les patchs de phanérogames du platier. Cette zonation sera précisée par les études de modélisation du panache de rejet menées en parallèle.

## 5.4 SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DES LIEUX DES MILIEUX RECEPTEURS : DIAGNOSTIC/SENSIBILITE/CONTRAINTE

Les études bibliographiques et de terrain, menées dans le cadre de cette étude de milieu (étude la mangrove de Tzoundzou I réalisée par ESPACES, étude physique et biologique du milieu lagunaire face à l'embouchure de la rivière Kwalé (Hémisphère Sub, GIS-LAG-MAY et ISIRUS), étude rivière réalisée par BRLi de campagnes d'analyses sur la rivière Kwalé et modélisation de la dispersion du panache d'effluents), ont permis de mettre en évidence les principaux points suivants :

- Objectif environnemental du SDAGE Mayotte : Le **bon état chimique et biologique** de la masse d'eau de la Kwalé est **attendu** pour **2021**. Aucun report de délai n'a été préconisé.
- L'hydrologie de la rivière est caractérisée par une **très faible capacité de dilution** et **d'autoépuration** en période d'hiver austral du fait de très faible débit d'étiage (QMNA5 : 12 l/s)
- La particularité du secteur aval de la Kwalé est la présence d'un chenal à faible pente permettant une **forte influence de la marée** (de la station K.3 jusqu'à la mangrove comprise soit un linéaire de 1100 m environ). De fait, il est nécessaire d'intégrer l'hydrodynamisme du chenal afin de favoriser la diffusion du rejet ;
- La **qualité physico-chimique** des eaux de la Kwalé peut être qualifiée de très bonne à bonne en saison humide sur les matières organiques et oxydables et nutriment. Les épisodes pluvieux créés des pulses dégradant la qualité vis-à-vis des MES ou de la contamination bactérienne. Des phénomènes de relargage/remobilisation du phosphore sont également observés. En saison sèche, la qualité des eaux est plus stable mais présente une qualité dégradée en raison des forts taux de matières oxydables et une faible oxygénation du milieu ;

- **La qualité biologique** de la Kwalé aval est variable selon les compartiments étudiés. Elle se dégrade de l'amont vers l'aval sur les compartiments diatomés (algues) et macro-benthos : la qualité de ces peuplements est fortement dépendant de la qualité des eaux et de la nature des substrats qui s'altère progressivement (apports domestique, lessive, colmatage...). La qualité piscicole (richesse, densité) est fortement dépendante de la proximité du milieu marin : les stations à l'aval présente une meilleure qualité qu'à l'amont ;
- **L'hydrodynamisme** au droit de l'embouchure de la Kwalé est faible avec globalement de faibles vitesses de courant. Les courants de surface sont essentiellement influencés par les vents dominants saisonniers : Sud-Sud-est et Sud-Sud-ouest en saison sèche et Nord-ouest et Nord-est en saison humide. La dérive de surface est donc orientée vers le Nord-Nord-est en saison sèche et vers l'Est-Nord-est et le Sud-Sud-est en saison humide. Les courants plus profonds sont sous influence prépondérante des marées qui s'orientent vers le Sud-ouest au jusant et vers le Nord-est à marée montante.
- Le marnage peut atteindre jusqu'à 4 m à certaines périodes et les mouvements de marée ont donc une forte influence sur la dynamique des eaux côtières au droit de l'embouchure de la Kwalé et dans son secteur aval.
- Les **eaux lagunaires** du secteur d'étude présentent en saison des pluies les caractéristiques suivantes : pauvres en nutriments (éléments azotés, phosphore), teneur importante en oxygène notamment en surface, présence d'une couche saumâtre de surface, turbidité importante à l'embouchure<sup>21</sup>, très forte charge en bactéries avec des concentrations très élevées à l'embouchure et toujours importantes sur l'estran vaseux (à 300-500 m de l'embouchure et au Sud-est de cette dernière). Ces caractéristiques traduisent une dérive de la masse d'eau saumâtre sortant de la Kwalé vers le Sud-est en saison des pluies et au jusant.
- En saison froide, les concentrations en bactérie et en nutriments dans les eaux du lagon sont faibles excepté à l'embouchure. A 500 m de l'embouchure de la Kwalé, les eaux présentent des caractéristiques d'eaux lagunaires « ouvertes ». Les caractéristiques des stations traduisent une dérive littorale vraisemblable vers le Nord-est et Nord, sous l'influence des courants côtiers induits par les vents dominants (alizés du Sud à Sud-est).
- Le **linéaire récifal** inspecté au droit de l'embouchure de la Kwalé présente un recouvrement moyen de près de 25 % dominé par les faciès à Porites massifs et à Acropores digités et trois secteurs de vitalité remarquable. Une amélioration globale par rapport à la situation observée en 2004 est donc observée, ce qui est remarquable au regard du contexte global de dégradation des récifs de la côte Est de Grande Terre. Le secteur de la pointe de Tsoundzou 2 serait cependant en régression et les caractéristiques des groupes floristiques et faunistiques annexes traduisent un déséquilibre du milieu. Les secteurs les plus sensibles sont ceux situés au sein de la zone d'influence du panache de la Kwalé et notamment la zone à forte vitalité du récif de Tsoundzou à 500 m au droit même de l'embouchure de la Kwalé, et les herbiers du platier. Les acropores sont, de plus, plus sensibles aux variations de l'environnement que les Porites.
- La grande majorité des formations végétales de la **mangrove de Tzoundzou I**, présente un état sanitaire satisfaisant à l'exception des peuplements de front de mer (mangrove perhaline à *Sonneratia alba*) dont l'état sanitaire est moyen à mauvais selon les secteurs. Une grande partie de la mangrove de la zone d'étude est cependant soumise à des dégradations anthropiques (coupe de bois, pâturage extensif sur les tannes, rejets d'eaux pluviales et usées domestiques issues du village de Tsoundzou 1...). Les **faciès de végétation** sont **diversifiés** et par conséquent favorable à la **diversité faunistique** (avifaune et crabes) en particulier les faciès de mangrove les plus préservés.

Au vu des caractéristiques précédentes et notamment du fait de la très faible capacité de dilution et d'autoépuration du milieu, le secteur aval de la rivière Kwalé s'avère être un **milieu sensible** à une **dégradation de la qualité physico-chimique en saison sèche** qui entrainerait un **risque fort de non atteinte des objectifs environnementaux** (objectif de bon état écologique fixé pour 2021 dans le cadre de la DCE). Les contraintes du milieu sont d'autant plus fortes en saison froide où le faible débit de la rivière ne permet pas la dilution des effluents (débit minimum de la STEP de 4200 m<sup>3</sup>/j pour une tranche de 35 500 habitants jusqu'à 8 400 m<sup>3</sup>/j pour une station de pleine capacité 70 000 Habitants). Il à noter cependant que la forte **influence marine** sur ce secteur de la rivière offre à certains moments de la journée et en fonction du coefficient de marée, une **capacité supplémentaire de dilution**.

<sup>21</sup> L'embouchure est ici le limite externe de la mangrove.

Outre les risques que représentent les apports de MES, nutriments, bactéries... pour la qualité écologique du cours d'eau, les risques les plus importants sont à associer aux usages identifiés au niveau de la rivière (baignade et jeux aquatiques sur le secteur soumis à influence marine et usages domestiques comme la vaisselle). Ces pratiques imposent en effet des normes de qualité sanitaire et notamment bactériologiques très strictes.

## 6. Impacts attendus du rejet d'effluents en rivière sur la qualité du milieu

### 6.1 EVALUATION DE L'IMPACT DU REJET D'EFFLUENTS TRAITES SUR LA QUALITE DES EAUX DE RIVIERE

#### 6.1.1 Apports et conséquences attendues du rejet d'effluents de la STEP

La mise en place de la nouvelle STEP de Mamoudzou Sud vise à un objectif global d'amélioration des conditions d'assainissement du secteur pour une réduction des apports polluants et une amélioration globale de la qualité de l'environnement.

Actuellement, de nombreuses eaux usées sont en effet déversées directement sans aucun traitement dans les milieux naturels. Cet apport est cependant diffus et l'essentiel des apports polluants associés à ces eaux usées n'atteint la rivière que lors des fortes pluies. Le rejet de la STEP n'aura plus un caractère diffus mais sera unique et localisé. Le débit de rejet sera de plus important au regard du débit naturel du cours d'eau en période d'étiage en particulier.

Même si un traitement poussé est réalisé, un rejet d'effluents dans le milieu est à l'origine d'apports en Matière organique (DCO, DBO), de nutriments, de MES ou encore de bactéries. Le paragraphe suivant rappelle les principaux apports associés **aux rejets d'effluents de STEP en rivière** et les conséquences attendues au regard des caractéristiques de la Kwalé.

Le rejet d'une station d'épuration traitant des effluents urbains a pour conséquences :

- Un apport en matières organiques et oxydables (DCO, DBO5) ;
- Dans le cas de la Kwalé, un renforcement des conditions d'anoxie serait préjudiciable, notamment en période sèche lorsque de la matière organique s'est accumulée dans le cours d'eau et que les débits sont faibles. **Ces conditions d'anoxie sont fortement préjudiciables pour l'ensemble de l'écosystème.**
- Une des conséquences indirectes de l'apport en matières organiques et oxydables est le colmatage des substrats par les champignons et bactéries engendrant une perte en diversité et une polluo-résistance des taxons.
- Un apport en nutriments (azote et phosphore);
- L'apport de nutriments risque de favoriser le développement de nouveaux peuplements d'algues eutrophes, colmatant les substrats et concurrençant les peuplements actuels. Une des conséquences est une modification de la chaîne alimentaire par la production primaire pouvant entraîner à terme une modification de l'ensemble des peuplements (macro-benthos, poissons);
- Le risque apparait élevé sur le secteur de la Kwalé non soumis à influence marine en raison d'un développement d'algues filamenteuses sur les secteurs où le milieu est localement plus ouvert en raison d'une ripisylve dégradée.
- Sur le secteur soumis à influence marine, les substrats colmatés par des vases ne sont pas de bon support pour le développement des algues, le développement de ces dernières pourraient être fortement limitées.
- Le phosphore rejeté est susceptible d'être rapidement fixé dans les sédiments puis relargué lors d'épisodes d'anoxie ou encore transféré suite à une remobilisation des sédiments.
- Un apport en matières en suspension (MES) ;

- Le risque associé aux apports de MES apparait comme faible sur la Kwalé en période des pluies en raison des apports naturels importants en MES occasionnés par les épisodes pluvieux intenses et pouvant être considérés comme largement supérieurs à ceux générés par une station d'épuration tant en flux qu'en concentration.
- Sur le secteur non soumis à influence marine, le risque apparait modéré à élevé en période sèche en raison des faibles débits de la Kwalé limitant la dilution ainsi que la forte proportion des zones lenticules en étiage favorisant les dépôts.
- Sur le secteur soumis à influence marine, il semble que la remise en suspension des vases du chenal lié aux mouvements de marée provoque une turbidité supérieure à celle engendrée par un rejet de station d'épuration.
- Une contamination bactérienne ;
- Le risque de modification de la qualité bactérienne de la Kwalé en période des pluies apparait faible en raison de la contamination actuelle particulièrement élevée. En revanche, on peut s'attendre à une dégradation de la qualité bactérienne en saison sèche par un apport continu de la STEP d'une eau traitée mais conservant une concentration bactérienne supérieure à celle du milieu naturel.
- Une augmentation des débits de base de la rivière ;
- L'augmentation du débit de la Kwalé par le rejet de la STEP aura principalement des incidences perceptibles pendant la saison sèche en raison de la faiblesse des écoulements. Le QMNA5 de la Kwalé est évalué à 12 l/s. Il est attendu un débit moyen d'environ cinquante litres/seconde pour la STEP à mi capacité et près d'une centaine à pleine capacité soit une augmentation de débit d'un facteur 5 à 10 à l'étiage.
- D'un point de vue hydrodynamique, ces débits supplémentaires auront pour conséquences d'augmenter les vitesses d'écoulement et les hauteurs d'eau de quelques centimètres si le rejet est réalisé dans la Kwalé hors influence marine. Les espèces de pleine eau voir rhéophiles peuvent être favoriser en raison de l'augmentation de leurs surface habitats. En cas de rejet dans la Kwalé dans le secteur sous influence marine, l'impact du débit de la STEP sera fonction du niveau de la marée/intensité (lié au coefficient) ainsi qu'au sens de la marée (jusant ou flot). Le renforcement du débit de la Kwalé par le rejet de la STEP (eau douce) peu localement favoriser les espèces ayant une préférence pour le milieu fluvial. Pour autant, l'influence marine du secteur restera prépondérante en raison du cycle des marées.

Le risque majeur de dégradation de la qualité physico-chimique et biologique de la Kwalé par un rejet de station d'épuration est lié à la constitution d'un « bouchon chimique » engendré par le volume d'effluent ne pouvant rejoindre le milieu marin en raison du flot : une optimisation devra être portée sur le lieu et le timing du rejet.

## 6.1.2 Estimation de la qualité des eaux de rivière en aval de la station

Afin de définir plus précisément les incidences des rejets de la future STEP selon les différents scénarios et modalités de rejet, le chapitre ci-après analyse l'impact des rejets selon les capacités d'autoépuration du milieu en lien avec les saisons/débit de la Kwalé.

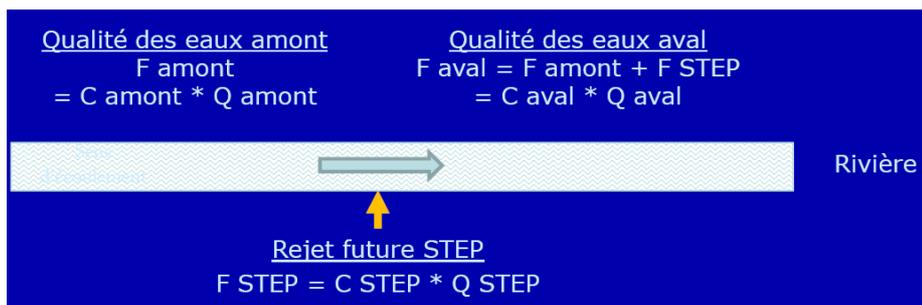
### 6.1.2.1 Démarche

L'impact du rejet des effluents de la future station d'épuration de Mamoudzou Sud dans la rivière Kwalé a été estimé pour les deux horizons de capacité de la future STEP : 35 000 habitants et 70 000 habitants. L'évaluation de la qualité du milieu en aval de la station a été réalisée sur la base du calcul :

- du flux<sup>22</sup> amont au point de rejet, sur la base des résultats des analyses de qualité des eaux réalisées dans le cadre de cette étude, en fonction des différentes périodes : étiage, période des pluies, épisodes pluvieux.
- du flux issu de la future STEP selon le procédé épuratoire retenu et les modalités de rejet envisagées,

et ce pour différentes conditions saisonnières (période des pluies et saison sèche).

<sup>22</sup> Pour rappel le flux = débit x concentration



Cette évaluation de l'influence du rejet de la STEP sur la qualité des eaux de rivière à partir du calcul des flux tient intègre donc la notion de débit de la rivière et de celui du rejet.

L'impact est évalué pour les paramètres MES, Azote global et Escherichia coli, seuls paramètres quantifiés au niveau de la rivière en terme de concentration. En effet, la DCO et la DBO<sub>5</sub> ont des concentrations dans la rivière pour les trois périodes données en dessous des limites de détection.

### 6.1.2.2 Flux actuel au point de rejet - flux amont

Les hypothèses de flux actuel (flux amont) au niveau de la rivière sont basées sur les résultats d'analyse des prélèvements réalisés au point K2, point positionné au droit de la future STEP.

Tableau 34 : Flux actuel dans la Kwalé au droit de la future station

	Etiage	Période des pluies	Episode pluvieux
Débit (l/s)	44,0	572,0	4 000,0
DCO (kg/j)	178,7		
MES (kg/j)	41,8	2 866,4	27 164,2
NGL (kg/j)	0,5	11,7	54,5
E.Coli (unités Log)	10,8	13,8	15,2

Ce calcul permet d'évaluer la charge actuelle présente dans la Kwalé en fonction des périodes. Cette charge est très variable, en fonction de la situation du cours d'eau pour les paramètres DCO, DBO<sub>5</sub>, MES et dans une moindre mesure pour *Escherichia coli*.

Afin de pouvoir évaluer les impacts du rejet au regard des normes de qualité des cours d'eau en vigueur, les valeurs obtenues sont comparées aux normes SEQ EAU V2 aptitude à la Biologie + SEEE (cf. code couleur ci-après).

Limites des classes d'état				
très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais

### 6.1.2.3 Rappel des caractéristiques de la future station - rejet futur

- 70 000 habitants à terme en deux phases de 35 000 habitants,
- Débit moyen journalier de 8400 m<sup>3</sup>/j à terme
- Deux traitements envisagés :
  - ▶ boues activées + traitement tertiaire (tamisage et UV),
  - ou
  - ▶ filière membranaire.

Les ratios de pollution associés à un habitant mahorais type sont les suivants : (Etude de définition de l'assainissement des eaux usées de Mamoudzou Sud – EGIS Eau & ENTECH, 2010):

- ▶ DCO: 45 g/H/j
- ▶ DBO<sub>5</sub> : 100 g/H/j
- ▶ MES : 60 g/H/j

- ▶ NGL : 10 g/H/j
- ▶ PT : 1 g/H/j

Les charges polluantes en entrée de station ont été estimées pour les deux tranches (mi-capacité et capacité de 70 000 habitants) sur la base des précédents ratios (cf. tableau suivant).

Tableau 35 : Charges polluantes en entrée de station - phasage en deux tranches

Habitants	35 000	70 000
<b>Charges hydrauliques</b>		
Débit moyen journalier (m3/j)	4 200	8 400
Débit moyen horaire (m3/h)	175	350
Débit de pointe de temps sec (m3/h)	350	700
Débit de pointe de temps de pluie (m3/h)	525	1 050
<b>Charges de pollution en entrée de STEP</b>		
DBO5 (kg/j)	1 575	3 150
DCO (kg/j)	3 500	7 000
MES (kg/j)	2 100	4 200
NGL (kg/j)	350	700
PT (kg/j)	35	70

Pour rappel, les niveaux de qualité de rejet sont les suivants.

Tableau 36 : Niveau de rejet et performance de la STEP

	Normes de rejet	Performances attendues	
	Arrêté du 22/07/07	Boues Activées + Traitement Tertiaire	Filière membranaire
DCO (mg/l)	125	90	50
DBO5 (mg/l)	25	15	10
MES (mg/l)	35	10	5
NGL (mg/l)*	15	10	10
PT (mg/l)*	1	1	0,5
E.Coli (n/100 ml)		1000	500

\* rejet considéré dans un milieu sensible sans contrainte foncière en adéquation avec le volume du bassin d'aération

Sur la base du tableau précédent, le flux moyen journalier attendu en sortie de STEP (F STEP) a été estimé. Les résultats des apports issus d'une station de 35 000 habitants puis de 70 000 habitants sont présentés ci-dessous.

Tableau 37 : Estimation du flux rejeté par la future STEP en fonction de la filière de traitement

	35 000 habitants			70 000 habitants		
	Normes de rejet Arrêté du 22/07/07	Boues Activées + Traitement Tertiaire	Filière membranaire	Normes de rejet Arrêté du 22/07/07	Boues Activées + Traitement Tertiaire	Filière membranaire
DCO (kg/j)	525	378	210	1050	756	420
DBO5 (kg/j)	105	63	42	210	126	84
MES (kg/j)	147	42	21	294	84	42
NGL (kg/j)	63	42	42	126	84	84
PT (kg/j)	4,2	4,2	2,1	8,4	8,4	4,2
E.Coli (unités Log)		10,6	10,3		10,9	10,6

### 6.1.2.4 Concentration en aval du futur point de rejet

Dans les paragraphes suivants, les flux calculés sont exprimés en concentrations pour plus de lisibilité et facilité de comparaison par rapport aux normes de qualité en vigueur.

Les concentrations dans la rivière en aval du point de rejet sont estimées pour les trois conditions hydrologiques et les deux niveaux de capacité de traitement.

#### Saison froide - Etiage

Les concentrations en MES, NGL, DCO et Escherichia coli attendues dans l'eau de la rivière en saison froide suite au rejet de la future STEP sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 38 : Estimation des concentrations à l'aval du rejet de la STEP - Etiage

Concentration à l'aval du point de rejet	Actuel (point K2)	35 000 habitants		70 000 habitants	
		Boues Activées + Traitement Tertiaire	Filière membranaire	Boues Activées + Traitement Tertiaire	Filière membranaire
MES (mg/l)	11,0	10,5	7,9	10,3	6,9
DCO (mg/l)	47,0	69,6	48,6	76,6	49,1
NGL (mg/l)	0,1	5,3	5,3	6,9	6,9
E.Coli (col/100ml)	1 843,0	1 400,5	1 138,1	1 262,6	918,4

Limites des classes d'état				
très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais

En période d'étiage, une diminution des concentrations en MES est attendue dans la rivière en aval de la station avec un traitement des effluents par filière membranaire et avec la filière de type boues activées même à pleine capacité. Les rejets de la station d'épuration ont donc un impact positif sur le milieu récepteur en permettant en diminution des concentrations en MES.

Les concentrations en DCO dans le milieu évoluent peu avec la filière membranaire et augmentent avec un traitement par boues activées + traitement tertiaire. Le milieu reste classé de qualité médiocre vis-à-vis de ce paramètre.

En période d'étiage, quelque soit le process, il y a une légère amélioration de la qualité bactériologique du cours d'eau par rapport à la situation initiale. Malgré l'apport positif des rejets de la station sur les concentrations en E. coli, la qualité d'eau restent malgré tout largement au-delà des normes de qualité des eaux de baignade. La dilution apportée par les rejets de la station d'épuration avec une filière membranaire à capacité nominale permet d'observer une diminution de moitié des concentrations en E.coli dans le milieu récepteur.

L'impact le plus fort concerne les paramètres azotés, très peu présents initialement dans la rivière en période d'étiage (0,1 mg/l – très bonne qualité) et qui seront apportés par les rejets de la STEP. Quelque soit le traitement utilisé Boues activées + traitement tertiaire ou process membranaires, les concentrations en azote global déclasseront la qualité de la rivière en qualité moyenne pour la mi-capacité de station à médiocre pour la pleine capacité.

#### Saison humide (période des pluies)

Les concentrations en MES, NGL et Escherichia coli attendues dans l'eau de la rivière en saison chaude et humide suite au rejet de la future STEP sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 39 : Estimation des concentrations à l'aval du rejet de la STEP - Saison humide

Concentration à l'aval du point de rejet	Actuel (point K2)	35 000 habitants		70 000 habitants	
		Boues Activées + Traitement Tertiaire	Filière membranaire	Boues Activées + Traitement Tertiaire	Filière membranaire
MES (mg/l)	58,0	54,2	53,8	51,0	50,3
NGL (mg/l)	0,2	1,0	1,0	1,7	1,7
E.Coli (col/100ml)	132 300	122 016	121 976	113 225	113 153

Limites des classes d'état				
très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais

Cette estimation met en évidence qu'en saison humide quelque soit le traitement retenu et la capacité considérée, la mise en place de la STEP permet une légère diminution des concentrations de la Kwalé en MES et E. Coli. Les valeurs de MES restent cependant supérieures à 50 mg/l et la qualité de l'eau qualifiée de moyenne vis-à-vis de ce paramètre. Les concentrations en E.coli sont évaluées à une valeur inférieure à l'aval de la STEP mais restent élevées du fait des concentrations d'E.coli présentes dans la rivière liées au lessivage des sols.

Le rejet des effluents entraîne une augmentation des concentrations en azote global mais la qualité reste très bonne au regard des normes en vigueur (concentrations inférieures à 2,5 mg/l).

### Episode pluvieux intense

Les concentrations en MES, NGL et *Escherichia coli* attendues dans l'eau de la rivière après un épisode pluvieux intense suite au rejet de la future STEP sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 40 : Estimation des concentrations à l'aval du rejet de la STEP - Episode pluvieux intense

Concentration à l'aval du point de rejet	Actuel (point K2)	35 000 habitants		70 000 habitants	
		Boues Activées + Traitement Tertiaire	Filière membranaire	Boues Activées + Traitement Tertiaire	Filière membranaire
MES (mg/l)	78,6	77,8	77,7	77,0	76,9
NGL (mg/l)	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4
E.Coli (col/100ml)	412 000	407 065	407 059	402 247	402 236

Limites des classes d'état				
très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais

Lors des épisodes pluvieux intenses, l'impact attendu est proche de celui de la saison humide en général : pas de modification significative des concentrations en MES qui restent importantes (qualité médiocre du cours d'eau), légère baisse du nombre d'*Escherichia coli* et augmentation des concentrations d'azote global.

Quelque soit le flux engendré par la station d'épuration, les deux traitements envisagés aboutissent à une même valeur d'azote global dans la rivière. L'impact du rejet lors d'épisodes pluvieux intenses, notamment en terme de concentrations azotées, est moins accentué du fait du phénomène de dilution très important lié à l'importance du débit de la rivière.

## 6.2 EVALUATION DES IMPACTS DU REJET D'EFFLUENTS TRAITES EN RIVIERE SUR LA QUALITE DE LA MANGROVE

### 6.2.1 Généralités sur les impacts du rejet d'eaux usées sur les mangroves

#### 6.2.1.1 Cas des rejets réalisés uniquement à marée haute

En l'absence d'expériences antérieures sur le rejet d'eaux usées épurées dans les mangroves locales à marée haute, nous avons fait un point sur les connaissances actuelles provenant d'expériences réalisées sur des mangroves comparables à travers le monde.

## IMPACTS DES ELEMENTS N ET P

Source : Y.S Wong, C.Y Lan, G.Z. Chen, Centre de recherche, département biologie, Hong Kong, Université des sciences et de la technologie, Centre de recherche des sciences environnementales, Université de Zhongshan, république de Chine.

Il n'y a pas d'impact des nutriments (N, P, C organique) sur les palétuviers :

Selon une étude comparative avec *Avicennia marina* pendant une période d'un an entre une mangrove qui reçoit des eaux usées d'une commune et une mangrove témoin ; les rejets en N, P et carbone organique n'ont pas d'effets négatifs sur la croissance des palétuviers.

Lors de cette expérience les rejets avaient les caractéristiques suivantes :

Paramètres	Moyenne
pH	7.52
Conductivité ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	102
NTK ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	24.5
P total ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	1.23
DCO ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	122.5
DBO <sub>5</sub> ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	55.9

Les résultats avec la mangrove témoin ont été les suivants :

- ▶ pas de différence au niveau de la structure des plantes, la croissance (hauteur et diamètre) et la biomasse.
- ▶ les feuilles récoltées ont, après analyse, les mêmes concentrations (avec les témoins) en Carbone Organique, N, P et K.
- ▶ pas de variation de pH dans le sol
- ▶ pas de variation de carbone organique dans le sol

C'est la combinaison sol saturé/plante/micro-organismes qui offre les conditions aérobies et anaérobies favorables à la diminution de ces polluants.

Il est aussi précisé par les chercheurs de cette étude que les nutriments peuvent parfois avoir des actions positives sur les plantes et accélérer leur croissance.

## IMPACT DES EAUX USEES SUR LE SOL

Equipe de BOONSONG Kanokporn. Départements : sciences générales, sciences marines, botaniques, université de Calalongkorn, Pathumwan, Thaïlande. Août 2002

Mesure des impacts lors de rejets d'eaux usées sur le sol d'une mangrove pendant 18 mois :

Paramètres des rejets :

Paramètres	Moyenne
pH	7.44
Salinité (ppt)	0.57
DBO ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	32.13
NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	2.118
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	0.028
N total ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	14.84
P total ( $\text{mg. l}^{-1}$ )	4.874

## Impact sur le pH

Il est possible que les rejets d'eaux usées amènent une diminution du pH sur le sol qui peut être attribuée à la nitrification de l'azote de l'ammonium et de l'azote organique.

Dans l'étude, il n'y a pas de diminution de pH car les eaux de rejets municipales contiennent des concentrations peu élevées en azote.

Il est à noter que l'inondation régulière du sol par les hautes marées permet de maintenir les valeurs du pH. Les eaux municipales sont rejetées pendant les hautes marées ; ceci permet la dilution des polluants et le maintien du pH.

### **Impact sur la conductivité du sol :**

Selon l'étude, il n'y a pas d'impact sur la conductivité du sol ; la mangrove a des concentrations en sel relativement hautes ce qui enlève la possibilité aux anions et aux cations d'augmenter la conductivité électrique.

### **Impact sur la matière organique du sol**

C'est dans la zone du Ceriops tagal, la zone la moins inondée de l'étude, que la quantité de matière organique dans le sol est la plus faible.

En effet, le sol est très aéré et les micro-organismes dégradent plus facilement la matière organique.

Le taux de décomposition est moins élevé dans les zones les plus inondées. Avant les rejets, le sol avait une quantité de matière organique supérieure à celle après les rejets. Cependant au cours du temps, cette quantité de matière organique tend tout de même à augmenter.

### **Impact sur l'azote total du sol**

L'azote total était plus élevé dans le sol avant les rejets. Ceci est dû au fait que les concentrations en azote dans les eaux usées étaient très faibles.

Les palétuviers ont de fortes capacités pour assimiler l'azote et ils diminuent les concentrations dans le sol.

Selon cette étude, il n'y a pas d'impact significatif du rejet d'eaux usées sur le sol.

Wong et Tann en 1995 ont effectué la même étude pendant un an et arrivent aux mêmes conclusions. Il est noté toutefois que Wong et Tann attendaient les marées hautes pour rejeter les eaux usées.

### **Impact sur le P total**

Avant les rejets, les concentrations en P total sont inférieures à celles obtenues après les rejets.

Ceci dépend du potentiel Redox : plus il est petit plus l'absorption de P augmente.

Le phosphate des eaux usées rajouté à la mangrove est rapidement immobilisé et le taux d'absorption dépend :

- du taux d'argile dans le sol
- du taux en fer
- du potentiel redox

### **Impact sur la texture du sol**

Les 18 mois de rejets n'ont pas causés d'impact sur la granulométrie du sol.

Conclusion :

Les rejets d'eaux usées n'ont pas causés de changement sur le pH, la conductivité, les éléments N total, P total et la texture du sol. Seules quelques variations dans le temps ont été observées.

Rejeter les eaux usées pendant la période des hautes marées permet de limiter les impacts.

Il est clairement signalé dans cette étude et dans d'autres références bibliographiques que 18 mois d'expérience ne sont pas suffisants pour réellement poser des conclusions sur les impacts possibles.

C'est pourquoi, les premiers projets devront être accompagnés de suivis sur le terrain à long terme.

### IMPACT DES METAUX LOURDS

Si les eaux usées du projet contiennent des métaux lourds, un impact sur les palétuviers, le sol et l'activité microbienne de la mangrove est à prévoir (Source : M.W.YIM and, N.F.Y TAM - Département de chimie et biologie, Université d'Hong Kong, Chine.)

La même étude comparative que précédemment a été effectuée mais avec des rejets d'eaux usées contenant des métaux lourds (Cu, Zn, Cd, Cr, Ni) et avec l'espèce *Bruguiera gymnorrhiza*.

Elément	mg/l
Cu	3
Zn	5
Cd	0.2
Cr	2
Ni	3

Remarque : les concentrations en métaux lourds des rejets de la STEP de Mamoudzou Sud seront très faibles, s'agissant d'effluents domestiques, sans industries et avec un réseau séparatif pour les eaux pluviales.

Néanmoins, même si on peut considérer que les teneurs sont négligeables, il est important de souligner quels peuvent être leurs impacts éventuels :

Le stockage des métaux lourds dans le sol et les plantes peut être toxique :

Les métaux lourds vont s'immobiliser dans les sols de la mangrove et vont être absorbés par les plantes. La racine fonctionne en général comme une barrière qui retient la majeure partie des métaux lourds et qui réduit les transferts aux autres parties de la plante. C'est dans la racine et dans les tiges que l'on trouve le plus de métaux lourds stockés. On en trouve très rarement dans les feuilles.

C'est ce stockage des métaux lourds dans la plante qui peut provoquer des effets toxiques sur les palétuviers.

La toxicité des métaux lourds peut avoir plusieurs effets tant sur le sol que sur les palétuviers :

#### Impacts sur le sol

- diminution des activités microbiennes du sol.
- action sur la fertilité du sol

#### Impacts sur la croissance des palétuviers

- diminution du diamètre des tiges, de la hauteur, du nombre de feuilles

## Impacts sur la biomasse :

S'il y a contamination, la biomasse chute car la toxicité diminue la production de feuilles et de racines.

## Impacts sur la physiologie

- les métaux lourds diminuent la formation de chlorophylle, la photosynthèse et provoquent la chute des feuilles,
- ils peuvent agir sur la capacité de la plante à absorber des nutriments et sur les transports d'eau dans les vaisseaux,
- ils interfèrent aussi sur la respiration et la production de racines.

Les métaux lourds qui s'accumulent dans les plantes et dans le sol peuvent aussi avoir des effets néfastes pour la faune. En effet, les crabes qui se nourrissent dans la boue par exemple, pourraient être affectés avec de fortes concentrations en métaux lourds.

Les poissons peuvent accumuler de nombreux polluants dans leurs tissus adipeux. Ces contaminants se transmettent alors dans la chaîne alimentaire. Avec des concentrations trop élevées ils peuvent provoquer la mort des individus.

Nous avons vu aussi, que l'activité de la faune du sol peut être réduite.

Nous pouvons donc en conclure que s'il existait des métaux lourds dans les rejets, leur toxicité pourra amener une dégradation de la mangrove.

Cependant, les eaux usées traitées étant uniquement d'origine domestique, les teneurs en métaux lourds devraient rester faibles et l'impact sur la mangrove sera donc négligeable. Il sera toutefois nécessaire de quantifier les teneurs dans les effluents rejetés pour s'assurer de leur innocuité.

## IMPACT DES MATIERES EN SUSPENSIONS (MES)

Les MES rejetées après le traitement subissent les phénomènes de coagulation et décantation dans la mangrove et ceci pourrait être favorable à la croissance des palétuviers, du moins dans un premier temps. En effet, la salinité et les racines des palétuviers favorisent ces deux étapes et donc la sédimentation qui est vitale pour les palétuviers. Il n'y a donc pas à priori d'impact négatif des MES.

### 6.2.1.2 Cas des rejets réalisés uniquement à marée basse

Une expérimentation de rejet d'eaux usées après un traitement primaire est en cours depuis 2006 dans la mangrove de Malamani (Commune de Chirongui) à Mayotte. Cette expérimentation financée par le SIEAM avec la participation du CNRS qui consiste à épandre les eaux usées à marée basse directement dans la mangrove a fait l'objet d'une thèse de Mme Mélanie HERTEMAN (Evaluation des capacités bioremédiatrices d'une mangrove impactée par des eaux usées domestiques. Application au site pilote de Malamani) soutenue en 2010. Les principales observations et conclusions résultant de cette étude sont données ci-après.

## IMPACT SUR LES SEDIMENTS

### 1. Capacité épuratoire du sédiment de la mangrove :

- ▶ Le sédiment de la mangrove de Malamani se caractérise par une forte salinité, une texture fine, un pouvoir réducteur élevé, une faible teneur en nutriments et un pH légèrement acide. Chacun des paramètres s'établit selon un gradient amont-aval, ce qui entraîne des caractéristiques propres à chacun des faciès à *Ceriops tagal* (C) et à *Rhizophora mucronata* (R). La population microbienne nécessaire au bon déroulement du cycle de l'azote y semble bien présente.

- ▶ L'ensemble de ces propriétés semble favoriser le pouvoir nitrificateur et dénitrificateur potentiel nécessaire à l'épuration des composant azotés provenant de rejets d'eaux usées domestiques. L'apport d'azote et de substrat carboné par ces eaux déclenche ces processus rendu possibles par la présence des bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes. Les capacités de nitrification et de dénitrification semblent plus performantes dans le faciès à *R. mucronata*.
- ▶ Une partie de l'azote et du phosphore est stockée dans le sédiment. Une autre portion est absorbée par les palétuviers.

## 2. Impacts des eaux usées domestiques :

- ▶ Les nitrates ont tendance à migrer dans l'eau de la nappe plus facilement que l'ammonium, et ce, de façon plus marquée dans le faciès R.
- ▶ Le phosphore, qui provient majoritairement des lessives, s'accumule dans les couches inférieures (1m). Cette tendance s'observe plus nettement dans le faciès C.
- ▶ Bien que les milieux marin ou côtier soient hostiles pour la survie de la plupart des bactéries, on constate une augmentation de la concentration en *E. coli*, surtout dans le faciès R.

Le faciès R semble plus efficace dans l'épuration des éléments azotés que le faciès C. Le phosphore s'y accumule moins, sans doute grâce à l'absorption des *R. mucronata* plus importantes que celle des *C. tagal* qui sont de plus petits arbres. En revanche, le caractère plus ombragé et moins salé du faciès R semble plus propice à la survie des *E. coli*.

## IMPACTS SUR LA PHOTOSYNTHESE ET LA CROISSANCE DES PALETUVIERS

La structure de la végétation a été analysée avant les premiers rejets d'eaux usées (novembre 2006,) puis 6 mois et 18 mois après le début des rejets. Aucune différence significative n'a été observée dans la période et la structure de la végétation n'a pas été modifiée en termes de densité ou de taux de mortalité.

En revanche, l'apport d'eaux usées domestiques prétraitées sur deux faciès de végétation engendre une augmentation significative de l'efficacité photosynthétique, de la concentration en pigments, et de la croissance des palétuviers. Pour *C. tagal*, la concentration en chlorophylle *a* double entre la parcelle témoin et la parcelle impactée

Pour *R. mucronata*, la concentration en chlorophylle *a* augmente aussi significativement.

Le taux photosynthétique moyen augmente significativement de 5,98 (témoin) à 9,69 (impacté)  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  pour les *C. tagal* ainsi que pour les *R. mucronata* : 8.68 (témoin) contre 10,66 (impacté)  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Enfin, les effluents ont aussi engendré une augmentation significative de la croissance des palétuviers, en particulier de la longueur et largeur des feuilles, de la taille des rameaux et de la longueur des propagules.

Composées essentiellement de N, P et véritable apport en eau douce, les eaux usées ont le même effet qu'un fertilisant, d'autant plus dans un milieu aussi pauvre en nutriments et aussi salé que les sédiments de mangrove. Ces résultats mettent en avant la capacité de cet écosystème à absorber l'apport de composants organiques comme l'azote sans provoquer de rupture dans l'équilibre fonctionnel observable à court terme et sans effets secondaires apparents sur la végétation.

Cependant, de récents articles ont mis en avant des conséquences négatives face à l'enrichissement excessif en éléments nutritifs dans la mangrove (Martin et al., 2010), pouvant même conduire à la mort des palétuviers dans des condition de salinité élevée (Lovelock et al., 2009).

Si ces résultats semblent démontrer que des eaux usées domestiques ont des effets positifs sur le fonctionnement de la mangrove après 18 mois de rejets, certains auteurs montrent néanmoins que l'excès de N et P pourrait, dans certains cas, entraîner une rupture fonctionnelle pour la végétation de mangrove (Lovelock et al., 2009 ; Martin et al., 2010).

Tandis que nos résultats préliminaires montrent que les eaux usées sont absorbées par les palétuviers et stimulent le fonctionnement de la végétation, des expérimentations doivent être poursuivies et des bilans de N total et P doivent être établis afin d'évaluer l'efficacité bioremédiatrice de la mangrove et de connaître les effets cumulés de l'apport des eaux usées à plus long terme.

### IMPACTS SUR LES POPULATIONS DE CRABES

De nombreux facteurs interviennent dans la répartition des crabes : espèce végétale dominante, ouverture du milieu, granulométrie et caractéristique du sédiment, topographie, salinité, niveau de la nappe, régime des marées. La corrélation entre l'ensemble de ces facteurs et l'abondance et la distribution des espèces de crabes reste complexe (Chapman and Tolhurst, 2004).

Rejeter des eaux usées domestiques revient à ajouter au milieu de la matière organique, des nutriments (azote et phosphore) et de l'eau douce et ce, de façon quotidienne dans l'expérimentation de Malamani. Ces apports et ce changement hydrodynamique peuvent modifier un ou plusieurs paramètres influençant la distribution des crabes ainsi que leur mode alimentaire et leur comportement.

De manière générale, l'apport d'eaux usées semble profitable aux espèces de Sesamidae et la plupart des *Uca* en ce qui concerne leur densité. Cependant, il semble que les communautés inféodées au faciès de mangrove à *Cerriops tagal* réagissent moins bien que celle du faciès à *Rhizophora mucronata*. Cela est en partie dû au fait de la stagnation des eaux dans ce milieu.

Mais le travail réalisé ici reste incomplet. Il serait judicieux de procéder aux mêmes types d'analyses en les complétant par des études comportementales des différentes espèces et en renouvelant les comptages tout en prenant en compte les paramètres suivants : saisons, marées différentes, étude de comportement de crabes en nocturne.

Du fait de leur importante activité de bioturbation, un changement dans la structure de la communauté pourrait faire basculer l'équilibre fonctionnel de la mangrove. Il est donc impératif de se focaliser sur les différentes espèces des crabes, de mieux connaître leur physiologie et leur comportement et d'identifier précisément quelles sont les espèces qui réagissent à l'impact des eaux usées dans le temps, en analysant leur abondance et leur densité spécifique (diminution ou augmentation de densité, apparition ou disparition d'un faciès).

## 6.2.2 Evaluation des impacts possibles du rejet d'eaux usées dans la mangrove de Tsoundzou 1 en fonction de sa sensibilité

L'état initial réalisé met en évidence que sur les 24.2 ha de mangrove que comporte le littoral de Kwalé, 5.2 ha forment la mangrove externe et 19 ha la mangrove interne. Au sein de la mangrove externe environ 4 ha sont situés à proximité immédiate de l'embouchure de la Kwalé et 1,2 ha se trouvent à plus de 800 m au nord de l'embouchure. Au sein de la mangrove interne, 3.7 ha se trouvent en rive droite et 15.3 ha en rive gauche. Les impacts sont évalués sur la base des caractéristiques de la STEP et des effluents et des normes de qualité attendue définis au paragraphe 6.1.2.4.

Sur la base de ces caractéristiques, les rejets annuels dans le milieu récepteur seraient donc de :

Tableau 41 : Rejets annuels en kilos dans le milieu récepteur

	Rejets annuels en kg pour 35 000 habitants		Rejets annuels en kg pour 70 000 habitants	
	Boues activées + Traitement tertiaire	Filière membranaire	Boues activées + Traitement tertiaire	Filière membranaire
DCO	137970	76650	275940	153300
DBO5	22995	15330	45990	30660
MES	15330	7665	30660	15330
NGL	15330	15330	30660	30660
PT	1533	766,5	3066	1533

La mangrove de Kwalé présente différents secteurs plus ou moins connectés hydrauliquement avec la rivière Kwalé dans laquelle les rejets seront réalisés et qui seront pas conséquents plus ou moins exposés aux effluents qui y seront rejetés (voir figure ci-après).

#### 6.2.2.1 Impacts des rejets sur les peuplements de mangrove interne en rive gauche de la Kwalé au-delà du transect C

Les secteurs les moins exposés sont ceux de la mangrove interne Nord, en rive gauche de la Kwalé au delà du transect C, qui sont alimentés en eau par un drain débouchant dans un petit peuplement de mangrove externe très éloigné de la rivière, soit à plus de 800 mètres.

Ces peuplements ne subiront vraisemblablement aucun impact du rejet effectué dans la rivière Kwalé car les effluents seront dilués dans la rivière puis dans le lagon avant d'arriver à hauteur du drain qui alimente ce secteur de mangrove.

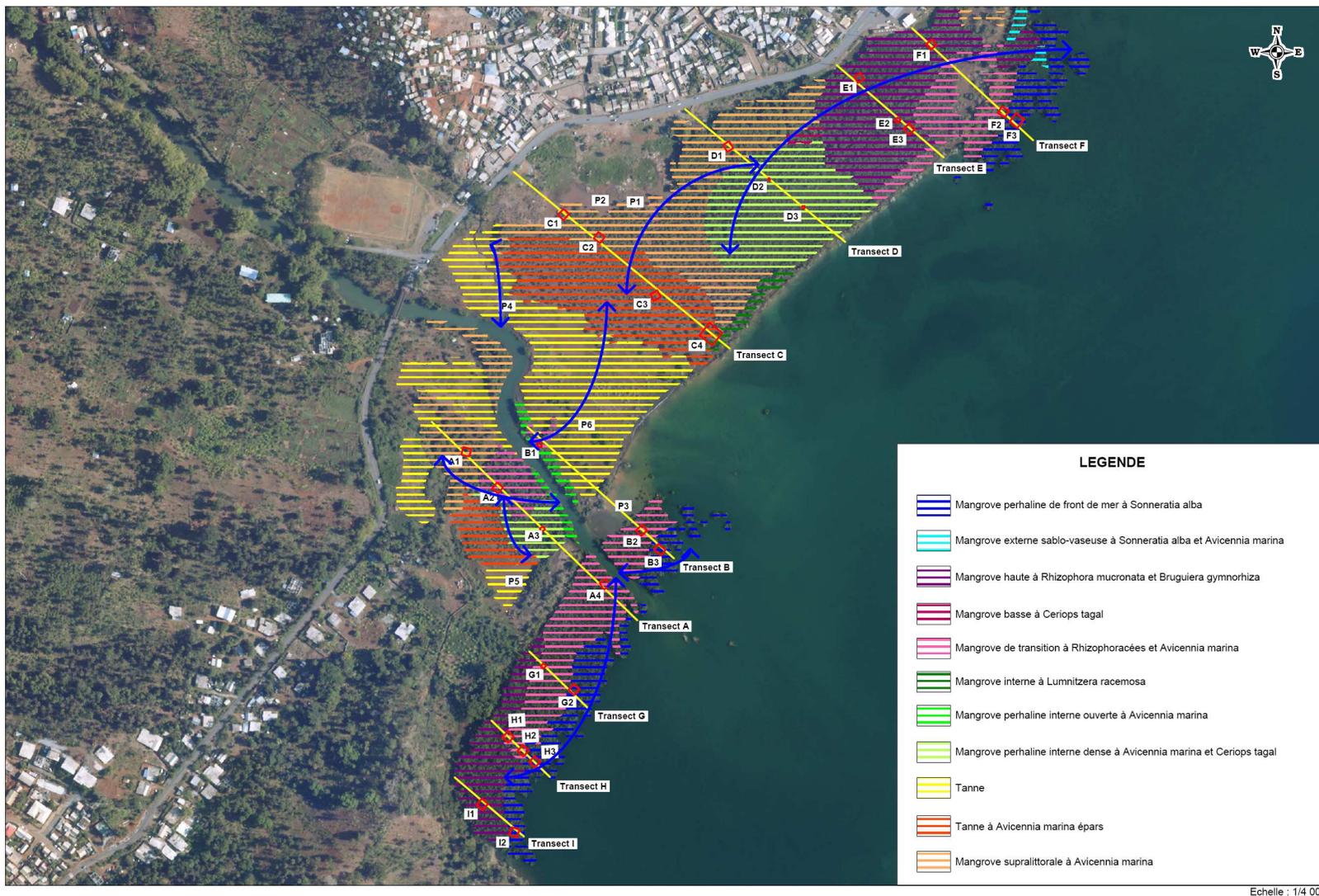
#### 6.2.2.2 Impacts des rejets sur les peuplements de mangrove interne en rive gauche de la Kwalé jusqu'au transect C

La mangrove interne de la rive gauche jusqu'au transect C composée principalement de tannes et de tannes à *Avicennia* épars n'est inondée que très épisodiquement lors des marées à forts coefficients lorsque les eaux marines font déborder la rivière habituellement dans sont lit avec une côte supérieure à environ 2 m NGM soit 3.78 m Côte Marine. Ces marées se produisent en moyenne 4 jours par mois.

Dans ces peuplements on ne trouve qu'une seule espèce de crabe, *N. meinerti*, en raison de l'aridité du terrain.

Ces peuplements font l'objet de pâturage extensif de zébus et chèvres sur les tannes et tannes à *Avicennia marina* épars qui subissent à la fois le broutage de la végétation mais aussi un piétinement intense qui compacte le sol et limite les possibilités de régénération. Les quelques régénérations d'*Avicennia marina* observées près du village sont maintenues à l'état de bonzaïs par les animaux.

Figure 49 : Carte des habitats de la mangrove de Tzoundzou I - Repérage de la connectivité des formations avec la rivière Kwalé ou le lagon





Dans ces conditions, il apparaît que les impacts à attendre seront très limités dans le cas d'un rejet en continu :

- Les apports de nutriments seront mobilisables par la végétation car les eaux s'infiltreront dans un substrat sec (effet comparable à un rejet à marée basse), mais sur des durées très réduites (4 jours par mois).
- Les populations de crabes seront peu exposées aux effluents qui seront dilués et infiltrés rapidement dans le sol.

**Au final, les impacts à attendre sur ces peuplements pourraient être nuls ou au mieux légèrement positifs pour la végétation dans le cas d'un rejet des effluents en continu.** La végétation pourrait bénéficier d'un apport supplémentaire de nutriments. Cette amélioration des conditions de milieu pourrait aider les arbres à mieux résister au pâturage.

Les populations de crabes ne devraient pas subir d'impacts significatifs compte tenu de la fréquence très faible des inondations.

**En cas de rejet uniquement à marée descendante, pour profiter d'un effet de chasse vers le lagon, l'impact serait nul** car les eaux de la rivière seraient emportées sans pouvoir déborder vers la mangrove.

### *6.2.2.3 Impacts des rejets sur les peuplements de mangrove interne en rive droite de la Kwalé*

La mangrove interne de la rive droite est un peu plus concernée par la qualité des eaux de la rivière car le drain qui l'alimente est connecté directement sur la partie aval de la Kwalé. Toutefois, les eaux de la rivière s'écoulent au lagon sans traverser directement la mangrove qui est inondée uniquement par la marée montante. Les effluents seront donc dilués par l'eau de mer avant de rejoindre ces formations.

Dans ces peuplements, on trouve plusieurs espèces de crabe, qui ont une activité de bioturbation importante.

Dans ces conditions il apparaît que les impacts à attendre seront très limités :

- Les apports de nutriments seront facilement mobilisables par la végétation car les eaux s'infiltreront en partie dans le substrat lors de la marée montante.
- Les populations de crabes seront peu exposées aux effluents qui seront dilués.

**Au final, les impacts à attendre sur ces peuplements pourraient être nuls ou au mieux légèrement positifs pour la végétation dans le cas d'un rejet des effluents en continu.** La végétation pourrait bénéficier d'un apport supplémentaire de nutriments.

Les populations de crabes ne devraient pas subir d'impacts significatifs compte tenu de la dilution des effluents.

**En cas de rejet uniquement à marée descendante, pour profiter d'un effet de chasse vers le lagon, l'impact serait nul** car les eaux de la rivière seraient emportées sans pouvoir remonter vers ce secteur de mangrove.

### *6.2.2.4 Impacts des rejets sur les peuplements de mangrove externe à l'embouchure de la Kwalé*

Enfin, les mangroves externes situées au Nord et au Sud de l'embouchure de la Kwalé seront plus directement exposées aux effluents rejetés mais avec des variations liées aux paramètres suivants :

- Débit de la rivière (saison sèche/saison des pluies),
- Hauteur de la marée,

- Courantologie locale,
- Rejet en continu ou uniquement à marée descendante.

Ces différents paramètres qui influent sur la dilution des effluents et leur répartition dans le lagon et sur le littoral sont déterminants pour prévoir un éventuel impact sur la mangrove mais sont difficiles à combiner et à synthétiser de façon prédictive.

Les peuplements de front de mer sont constitués d'une mangrove perhaline à *Sonneratia alba* qui est exondée principalement lors des marées de vives eaux. En arrière de ce front, on trouve des formations mixtes à Rhizophoracées et *Avicennia marina* au Nord et des formations hautes à *Rhizophora mucronata* et *Bruguiera gymnorrhiza* au Sud. Ces formations sont exondées très régulièrement, y compris lors des marées à faible coefficient.

Sur le plan sédimentaire, on note un gradient Nord Sud. Si l'on classe les prélèvements selon des classes de granulométrie croissante, les placettes se regroupent dans les classes de texture suivantes :

- Limon : B3
- Limon sableux : A4, B2, G1, G2, I2
- Sable limoneux : H1, H2, I1
- Sable : H3

Si l'on se réfère à ces résultats d'analyses granulométriques les secteurs les plus proches de l'embouchure de la Kwalé sont les plus calmes sur le plan hydrodynamique alors que l'extrémité Sud de la mangrove semble plus exposée avec des fractions sableuses prédominantes.

Malgré l'absence des gros Sesamidae dans les formations de front de mer à *Sonneratia alba*, les espèces présentes dans la mangrove externe sont adaptées aux conditions du milieu qui permettent à certaines espèces de se réfugier dans les racines (*C. Ortmanni*) et à d'autres de forer leur terrier dans un substrat à dominante sableuse (*U. annulipes*). Les populations présentes sont installées durablement et sont en équilibre avec leur biotope.

**Au final, les impacts à attendre sur ces peuplements pourraient être nuls ou au mieux légèrement positifs pour la végétation dans le cas d'un rejet des effluents en continu.** La végétation pourrait bénéficier d'un apport supplémentaire de nutriments.

Les populations de crabes ne devraient pas subir d'impacts significatifs compte tenu de la dilution des effluents.

**En cas de rejet uniquement à marée descendante, pour profiter d'un effet de chasse vers le lagon, l'impact serait nul** car les eaux de la rivière seraient emportées sans pouvoir remonter vers ce secteur de mangrove.

## 6.3 EVALUATION DES IMPACTS SUR LE LAGON DU REJET EN RIVIERE D'EFFLUENTS TRAITES

### 6.3.1 Evaluation des impacts sur les populations marines des récifs

Ce paragraphe est principalement basé sur les résultats de l'étude de la matière vivante lagonaire (ISIRUS).

Comme vu précédemment au paragraphe 5.3.4.6 « Vulnérabilité des peuplements identifiés », les peuplements au droit de l'embouchure de la Kwalé sont habitués à des épisodes de dessalure et de forte concentration en MES. Les récifs coralliens ont une grande capacité de résistance et de régénération. Certains secteurs, présentant une bonne vitalité, semblent même s'être adaptés aux conditions de plus en plus dégradées du milieu. Parmi les coraux dominants, les acropores sont particulièrement sensibles aux variations des facteurs environnementaux. Les Porites en revanche seraient plus résistantes. Les principaux impacts attendus concerneraient ainsi les acropores du récif de Tsoundzou et les herbiers du platier situés dans le secteur majeur d'influence du panache de la Kwalé.

L'endofaune de ces fonds vaseux de l'estran (composante de la Biocénose des Sédiments Vaseux de Mode Calme) est particulièrement bien adaptée aux conditions d'euryhalinité des eaux et d'enrichissement en matière organique (comm. pers. B. Thomassin). La phanérogame marine *Halophila ovalis* est parfaitement adaptée aux fonds vaseux ou sablo-vaseux terrigènes (comm. pers. B. Thomassin).

Les impacts attendus des effluents du projet de STEP dans la Kwalé entraîneraient dans une zone proche de l'embouchure une couche de surface dessalée, enrichissant le milieu en nutriments (azote, phosphates, ...) se déplaçant suivant les vents de saisons. Cette couche est estimée à une dizaine de centimètres, pouvant tripler en cas de forts épisodes pluvieux (comm. pers. B. Thomassin).

Cet apport supplémentaire pourrait se traduire, dans un premier temps, par une augmentation de la production primaire benthique et phytoplanctonique. L'ensemble des espèces végétales de la zone d'emprise directe des effluents pourrait donc se développer, particulièrement le turf algal présent en proportion variable sur les fronts récifaux et les patchs de cyanobactéries algales. Les phanérogames vont également profiter de cet apport, et principalement l'espèce pionnière *H. ovalis*. L'espèce, *H. uninervis*, plus sensible aux variations de l'environnement, est actuellement épiphytée par de petites cyanobactéries risque de se développer plus rapidement que leur hôte, jusqu'à parasiter complètement les feuilles et condamner leur présence.

Ce phénomène d'envahissement peut être observé, sur une plus grande échelle et dans un second temps, à la zone d'emprise des rejets, avec un développement rapide des peuplements d'algues benthiques (cyanobactéries et turf), pouvant affecter le recrutement, la nutrition, la croissance et à terme coloniser les peuplements coralliens. Ce cas extrême est le constat de zones où les rejets non contrôlés ont conduit à une eutrophisation du milieu.

Cet impact est cependant à relativiser car les eaux sortant de la Kwalé vont s'étaler (et se diluer) en surface sur toute la largeur de l'estran vaseux, en limite du récif frangeant. La vitalité corallienne serait donc peu influencée par les eaux de la kwalé. L'apport de sels nutritifs n'affecterait pas les peuplements de la frange de l'estran (peuplements épars sur les ballasts coralliens et formations coralliennes) et le risque d'eutrophisation des eaux de cette frange externe de l'estran par cette seule influence est peu probable et ne risque pas, à elle seule, de provoquer un développement de Cyanobactéries potentiellement nuisibles et/ou toxiques (*Beggiatoa*, *Lynbia*, etc.) qui viendrait à diminuer l'état de vitalité des espèces de coraux (Madréporaires), par ailleurs bien adaptées à cet environnement particulier (comm. pers. B. Thomassin).

Le marnage important de l'île, atteignant quasiment 4 m, induit **un risque particulier dans le cas de rejet en épisode de marées basses de vives-eaux**, où le stress environnemental de peuplements coralliens est maximal (exondation) et la dilution naturelle par le milieu est absente. Dans ces conditions, l'impact de la couche d'eau dessalée et chargée entrainerait à court terme une percolation du platier et un risque de blanchiment important, particulièrement pour les espèces de scléactiniaires sensibles. Les peuplements de phanérogames observés au droit de l'embouchure seraient également rapidement dégradés dans ces conditions. A moyen terme, seraient observés une baisse de la vitalité corallienne et un déséquilibre des peuplements ichtyologiques et de la faune marine d'une manière générale.

Les rejets doivent donc être contrôlés quantitativement, mais également qualitativement, avec une attention particulière aux respects des seuils réglementaires pour éviter les phénomènes d'eutrophisation du secteur. Les modalités de rejet préconisée, qui minimisent ces impacts, sont proposés au paragraphe 7.1.2.

### 6.3.2 Etude du panache relatif au rejet des effluents de la STEP en rivière par modélisation

L'étude de modélisation de la dispersion du rejet dans la rivière Kwalé des effluents traités par la future STEP de Mamoudzou Sud a été réalisée par Philippe GOURBESVILLE et son équipe de l'Association d'Analyse Spatiale.

L'objectif de cette modélisation hydrodynamique bidimensionnelle était de simuler les éventuels impacts du rejet des effluents dans le secteur aval de la Kwalé sur la qualité des eaux et les conséquences associées sur les usages du milieu lagunaire et côtier.

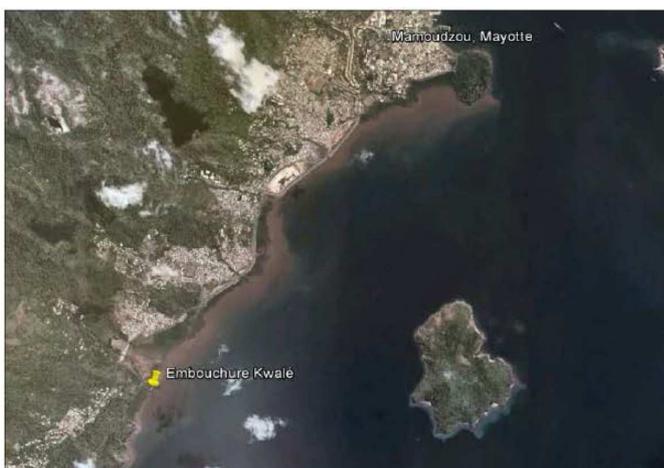
**Le rapport complet de cette étude est joint au présent dossier :** Association d'Analyse Spatiale, novembre 2012. Modélisation des rejets du site de traitement de Mamoudzou Sud, Mayotte. Un CD contenant quelques vidéos des simulations est également fourni.

Les résultats de cette étude de modélisation sont présentés ci-dessous. Il convient de se reporter au rapport complet plus de détails méthodologiques notamment sur le calage et la validation du modèle.

#### 6.3.2.1 Modèle hydrodynamique

Un modèle bidimensionnel MIKE 21 FM a été utilisé pour représenter les processus de circulation hydrodynamique sur l'ensemble du secteur d'étude – secteur Nord du domaine lagunaire Est de Mayotte et estuaire de la Kwalé. L'emprise a volontairement été étendue afin d'éviter les problèmes de frontières et d'assurer une bonne représentativité des phénomènes (orientation et intensité des courants).

*Photo 29 : Secteur d'étude couvert par le modèle hydrodynamique.*



Le modèle a été élaboré à partir des données bathymétriques SHOM et des mesures ponctuelles réalisées dans le cadre des campagnes bathymétriques et courantologiques spécifiques à cette étude (cf. paragraphe 5.3.1 consacré à l'étude de Hémisphère Sub).

Figure 50 : Carte bathymétrique du secteur Est du lagon de Mayotte et grille de calcul pour le modèle hydrodynamique 2D.

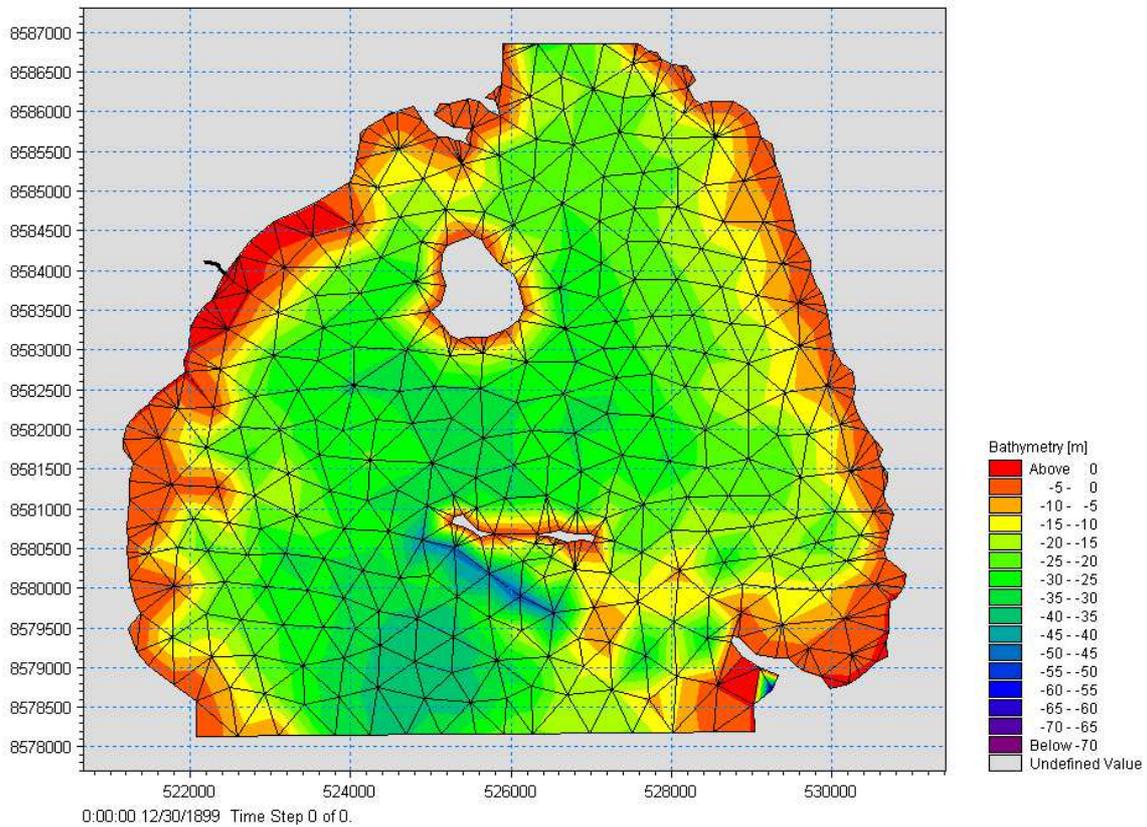
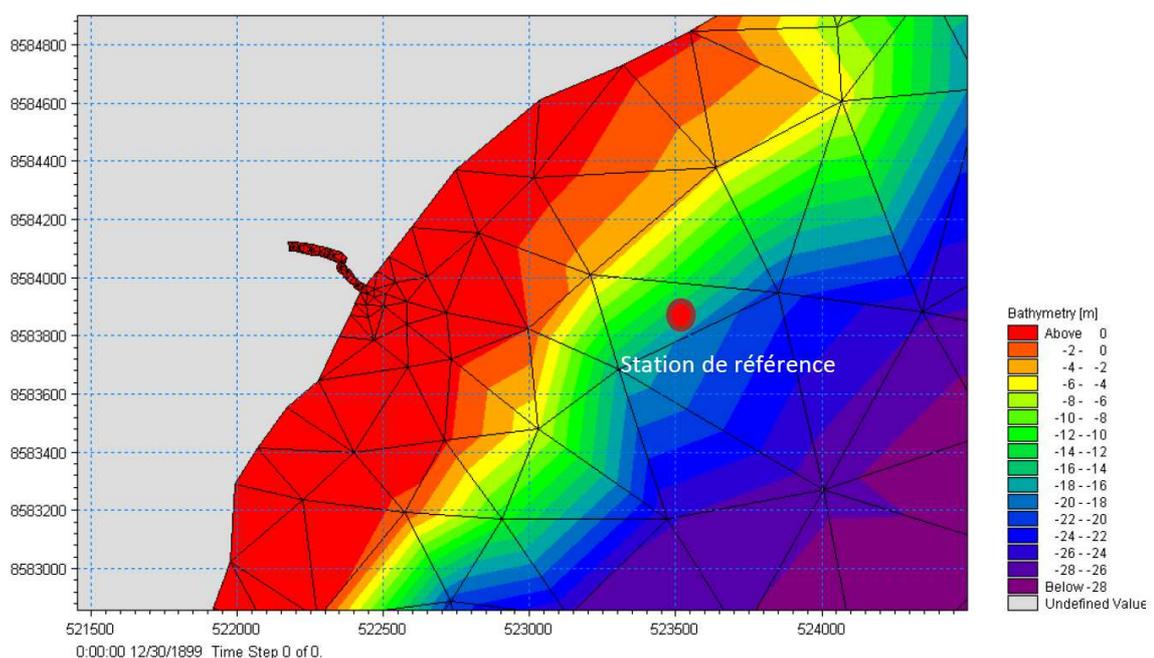


Figure 51 : Carte bathymétrique du secteur Est du lagon de Mayotte et grille de calcul pour le modèle hydrodynamique 2D pour le secteur d'étude : estuaire de la Kwale et Tsoundzou.



Les conditions marégraphiques et de vent sont utilisées comme données aux limites du modèle et comme forçage.

Divers paramètres intervenant dans les processus de qualité des eaux – température moyenne, turbidité, taux de décroissance des bactéries (T90) ... - ont par ailleurs été renseignés dans le modèle afin de permettre de simuler les différentes hypothèses de traitement des eaux.

La validation du modèle hydrodynamique a été réalisée à partir de la confrontation des résultats obtenus dans les différentes simulations et les mesures obtenues (valeurs d'intensité et de direction du courant) lors des phases de suivi courantologique et lâché de drogues réalisées en saison humide et en saison sèche en 2012 par Hémisphère Sud dans le cadre de cette étude.

Les résultats obtenus avec le modèle sont très satisfaisants :

- l'orientation du courant est bien reproduite sur le site de référence et les principales variations – et leur amplitude - sont bien reproduites dans le temps de la simulation. L'alternance des cycles de marée apparaît clairement ;
- l'intensité du courant est bien reproduite avec des vitesses qui se développent autour d'une valeur moyenne de 10 à 20 cm.s-1 – selon les différentes périodes - qui correspond bien aux observations intégrées sur la verticale. Les valeurs calculées représentent bien la réalité des vitesses mesurées et leurs variations.

Les résultats de cette confrontation sont donc très satisfaisants mais il convient cependant de souligner que les valeurs calculées par le modèle **représentent des résultats moyens sur la verticale** : vitesse moyenne et orientation sur l'intégralité du tirant d'eau. En revanche, les valeurs de terrain obtenues lors des campagnes de mesure d'Hémisphère Sud ont été acquises pour différentes profondeurs (sub-surface, mi profondeur et fond) et sont donc représentatives de plusieurs conditions hydrodynamiques de la tranche d'eau. En d'autres termes, et dans certaines conditions particulières, les valeurs mesurées peuvent ne pas être représentatives des conditions générales d'écoulement dans le lagon pour un secteur du lagon. Les valeurs acquises lors du suivi *in situ* ne semblent pas incohérentes par rapport à l'organisation générale des courants dans le lagon (Cf. figures ci-dessous).

Figure 52 : Orientation et intensité du courant - Secteur Est - Lagon de Mayotte

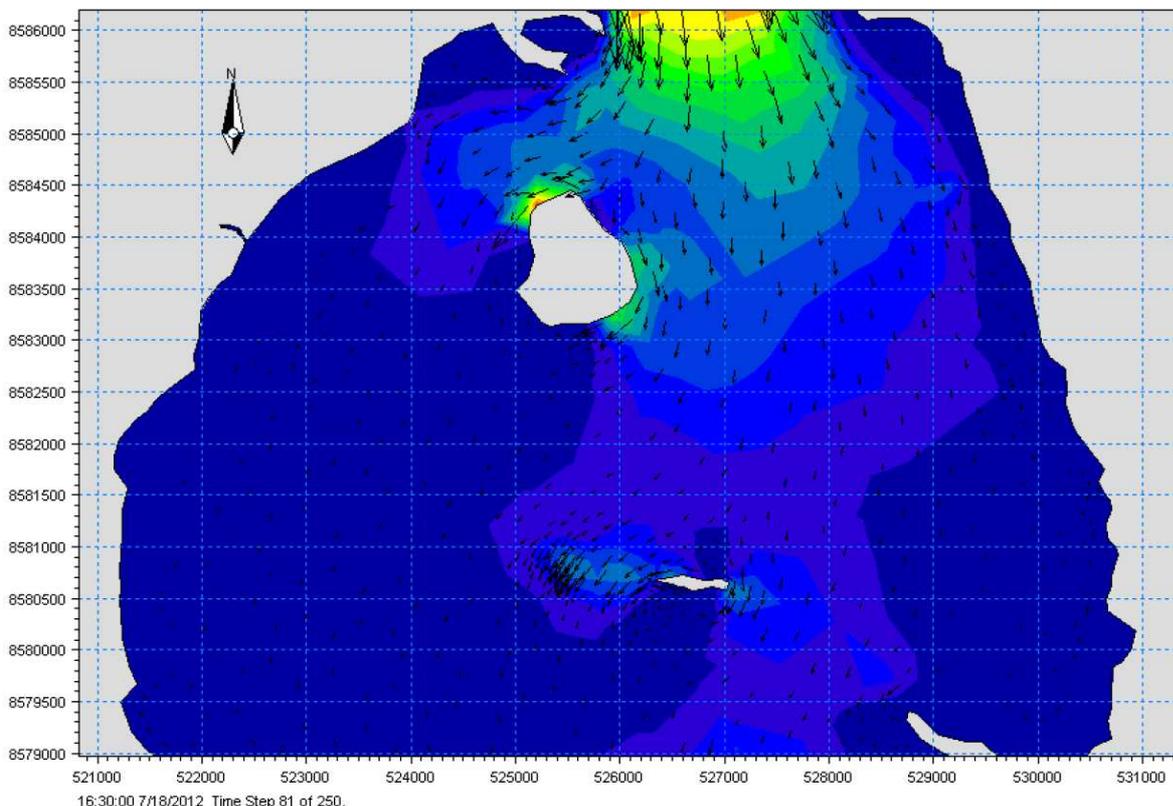
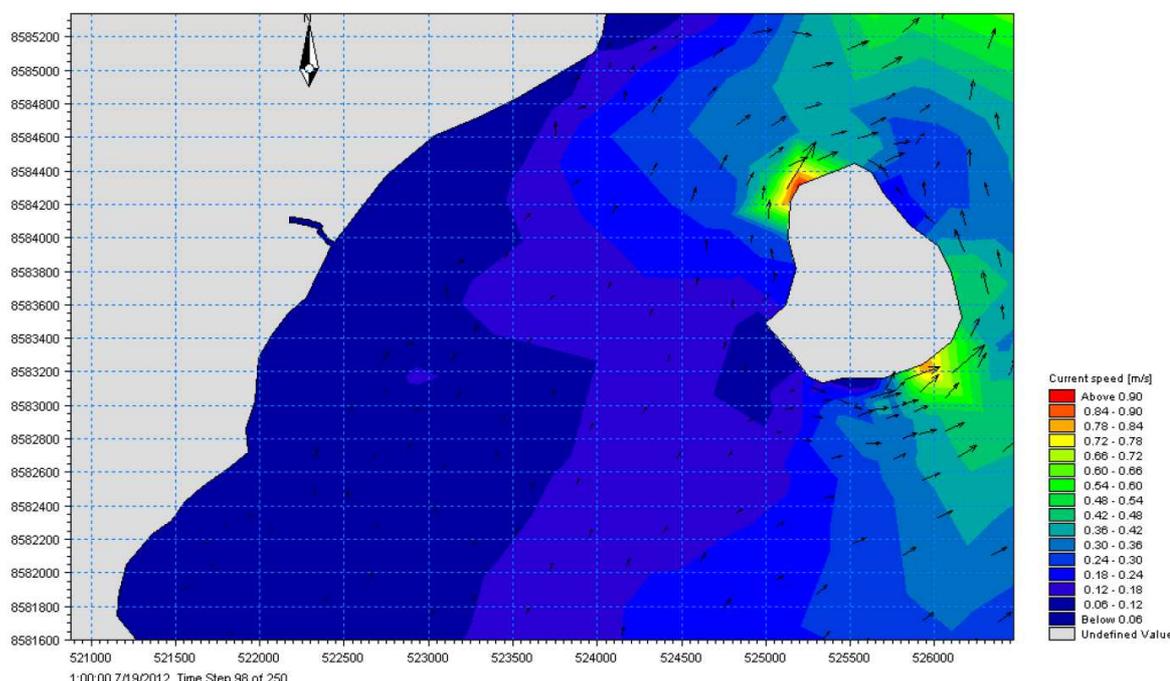


Figure 53 : Densité du courant dans le secteur de l'estuaire de la Kwalé- Secteur Est



## DEFINITION ET REPRESENTATIVITE DE LA PERIODE DE SIMULATION

La période de simulation est définie pendant la saison sèche qui correspond à la phase qui présente les conditions courantologiques les plus pénalisantes pour un rejet avec des vitesses très faibles. Les différentes simulations ont été réalisées sur une période de 6 jours consécutifs: du 27 juillet 2012 au 5 août 2012. La durée de simulation a volontairement été définie sur plusieurs jours afin de pouvoir représenter les processus d'accumulation qui peuvent se développer à l'issue de plusieurs cycles de marée. La représentativité de la période de simulation retenue a été analysée à partir des données marégraphiques et météorologiques.

Compte tenu de l'impact modéré du vent sur la dynamique globale des courants et l'importance du cycle marégraphique, la représentativité de la simulation s'établit au minimum à 30% du temps annuel.

La période de simulation correspond à une phase de mortes eaux (1/3 des situations courantologiques) et de vents faibles à modérés représentative d'au minimum 30% des conditions annuelles en dehors de toute caractéristique saisonnière.

Afin de compléter les évaluations réalisées en période sèche, une série de simulations a également été réalisée pour la saison humide également sur une période de faibles coefficients (du 27 mars au 4 avril 2012) afin d'évaluer une situation potentiellement défavorable.

Les mesures de vitesse réalisées lors du suivi présentent des valeurs faibles et sont donc représentatives d'une situation contraignante : dispersion faible des effluents.

Une station de référence est localisée à proximité de l'estuaire de la Kwalé, au niveau du lagon et sur une profondeur supérieure à 20 mètres (cf. position du courantomètre).

### 6.3.2.2 Hypothèses de simulations

Les simulations de la qualité des eaux doivent permettre d'évaluer l'impact des rejets sur le milieu lagunaire et de valider les différents usages qui peuvent se développer dans le milieu naturel. Pour juger de l'impact sur le milieu, des critères liés aux usages doivent être définis pour analyser les résultats des simulations.

Lors de précédentes études menées sur différents sites d'implantation d'installations de traitement à Mayotte, les services gestionnaires de l'Etat avaient souhaité utiliser comme indicateur principal la concentration en bactéries (Coliformes essentiellement). En effet, cette valeur permet de discriminer les situations par rapport aux normes des eaux de baignade et de la production conchylicole.

- Pour les Coliformes Fécaux :

*Eaux de baignade Valeur impérative : <2 000 (/100ml) Valeur guide : <100 (/100 ml)*

- Pour les Coliformes Totaux :

*Eaux de baignade Valeur impérative : <10 000 (/100ml) Valeur guide : <500 (/100 ml)*

*Conchyliculture Valeur guide : <300 (/100ml)*

Pour le site de Tsoundzou et l'estuaire de la Kwalé, un principe d'analyse des résultats pourrait être celui d'une qualité « eaux de baignade » à la côte, le long du littoral. Cette disposition permet d'éviter un risque sanitaire trop important pour la population riveraine et les usagers du lagon.

Ces valeurs sont donc utilisées pour visualiser les résultats de simulation. Les impacts sont alors immédiatement visibles par rapport aux seuils des différentes normes.

Les paramètres DBO<sub>5</sub> et MES ainsi que la concentration en PT et NGL sont également simulés par le modèle et permettent de donner une information supplémentaire sur les impacts attendus.

Une valeur moyenne de T90 de 12 heures est appliquée pour les différentes simulations (cf. Martin et Bonnefont, 2002 et l'article de synthèse publié en 2004 dans TSM (Cf. Annexe du rapport de l'Association d'Analyse Spatiale jointe à de rapport). Compte tenu de la localisation du site de rejet – cours d'eau et estuaire sur un estran turbide - il est raisonnable d'envisager des temps de disparition proches des valeurs moyennes observées lors des suivis pour des phases d'ensoleillement faible et de turbidité importante. La durée de 12 heures permet de réaliser une évaluation qui s'inscrit dans des conditions défavorables et va dans le sens de la sécurité.

Pour chaque scénario, un jeu de simulations a également été réalisé pour un T90 fixé à 2 heures. Ces résultats fournissent une base de comparaison théorique et permettent d'analyser l'impact d'un rejet dans des conditions optimales.

Les concentrations en DBO<sub>5</sub> et en MES tout comme pour PT et NGL sont fixées à 0 pour le milieu récepteur au début de la simulation. Les observations de terrain sont totalement insuffisantes pour renseigner l'ensemble du modèle couvrant le secteur ouest du lagon de Mayotte. Les différentes valeurs obtenues sont donc à ajouter aux valeurs observées localement pour analyser la dynamique des processus.

Les simulations sont réalisées aux deux saisons pour différents scénarios de dimensionnement et de fonctionnement : Pleine capacité, mi-capacité de la station et défaillance:

## QUALITE DES EFFLUENTS REJETES EN SAISON SECHE

Pour la saison sèche, les valeurs prises en compte dans le modèle sont rassemblées dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 42 : Paramètres pour les effluents rejetés à Tsoundzou dans le cours aval de la Kwalé

STEP Mamoudzou Sud	Pleine capacité (70 000 Eq. Hab)	Mi capacité (30 000 Eq. Hab)	
Paramètres	Concentration du rejet après Traitement par filière membranaire		unité
DBO5	10	10	mg/l
MES	5	5	mg/l
Bactério2	1.00E+04	1.00E+04	coliformes/100 ml
Bactério1	1.00E+04	1.00E+04	coliformes/100 ml
PT	0,5	0,5	mg/l
NGL	10	10	mg/l
Q rejet	97,2	48,6	l/s
Q moyen de la Kwalé	40	40	l/s

Tableau 43 : Paramètres pour les effluents rejetés à Tsoundzou dans le cours aval de la Kwalé

STEP Mamoudzou Sud	Pleine capacité (70 000 Eq.hab.)	Mi-capacité (35 000 Eq.hab)	
Paramètres	Concentration du rejet sans traitement		unité
DBO5	25	25	mg/l
MES	35	35	mg/l
Bactério 1	1.00E+09	1.00E+06	e. coli/ 100 ml
Bactério 2	1.00E+09	1.00E+06	e. coli/ 100 ml
PT	1	1	mg/l
NGL	15	15	mg/l
Q rejet	97,2	48,6	l/s
Q moyen de la Kwalé	40	40	l/s

Les différentes simulations sont réalisées à demi et pleine capacité, conformément aux informations des tableaux 42 et 43.

Les différents résultats obtenus avec un T90 de 12 heures sont présentés sur les figures des pages suivantes. Les graphiques présentent également les valeurs de DBO5 (mg/l), de MES (g/m<sup>3</sup>), de PT (mg/l) et de NGL (mg/l).

Les concentrations utilisées pour les simulations sont les suivantes :

- Coliformes Fécaux: 10e+04 et 10e+06. La concentration de 10e+09 correspond à celle d'un effluent brut, sans traitement et peut être associée une situation de défaillance de la station de traitement.
- DBO: 10 et 25 mg/l
- MES: 5 et 35 mg/l

**Remarque importante** : la valeur de 10e+06 qui est envisagée dans la simulation complémentaire peut être assimilée aux Coliformes Totaux (et non pas aux seuls Coliformes Fécaux dont la concentration est toujours inférieure).

La situation d'un rejet après traitement primaire n'est pas envisagée compte tenu des concentrations (et des résultats obtenus avec des situations plus favorables).

**QUALITE EFFLUENTS REJETES EN SAISON HUMIDE**

Pour la saison humide, les valeurs prises en compte dans le modèle sont rassemblées dans les tableaux ci-dessous.

*Tableau 44 : Paramètres pour les effluents rejetés à Tsoundzou dans le cours aval de la Kwalé*

STEP Mamoudzou Sud	Pleine capacité (70 000 Eq. Hab)	Mi capacité (30 000 Eq. Hab)	
Paramètres	Concentration du rejet après Traitement par filière membranaire		unité
DBO5	10	10	mg/l
MES	5	5	mg/l
Bactério2	1.00E+04	1.00E+04	coliformes/100 ml
Bactério1	1.00E+04	1.00E+04	coliformes/100 ml
PT	0,5	0,5	mg/l
NGL	10	10	mg/l
Q rejet	97,2	48,6	l/s
Q moyen de la Kwalé	40	40	l/s

*Tableau 45 : Paramètres pour les effluents rejetés à Tsoundzou dans le cours aval de la Kwalé*

STEP Mamoudzou Sud	Pleine capacité (70 000 Eq.hab.)	Mi-capacité (35 000 Eq.hab)	
Paramètres	Concentration du rejet sans traitement		unité
DBO5	25	25	mg/l
MES	35	35	mg/l
Bactério 1	1.00E+09	1.00E+06	e. coli/ 100 ml
Bactério 2	1.00E+09	1.00E+06	e. coli/ 100 ml
PT	1	1	mg/l
NGL	15	15	mg/l
Q rejet	97,2	48,6	l/s
Q moyen de la Kwalé	40	40	l/s

### 6.3.2.3 Résultats des simulations de dispersion des effluents en saison froide

#### SCENARIO 1 - PLEINE CAPACITE (70 000 HABITANTS) + VENT

Figure 54 : Pleine capacité + vent - Concentration DBO5

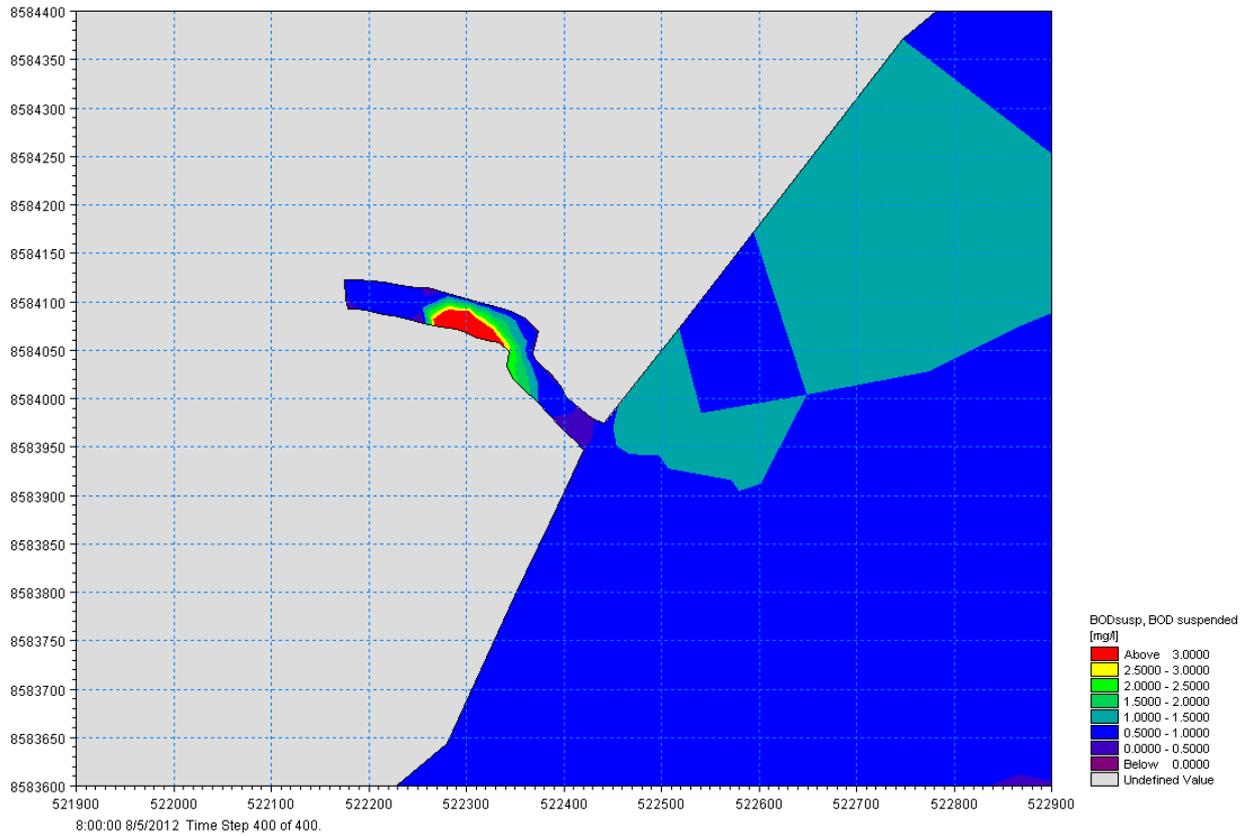


Figure 55 : Pleine capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES) - Vue globale

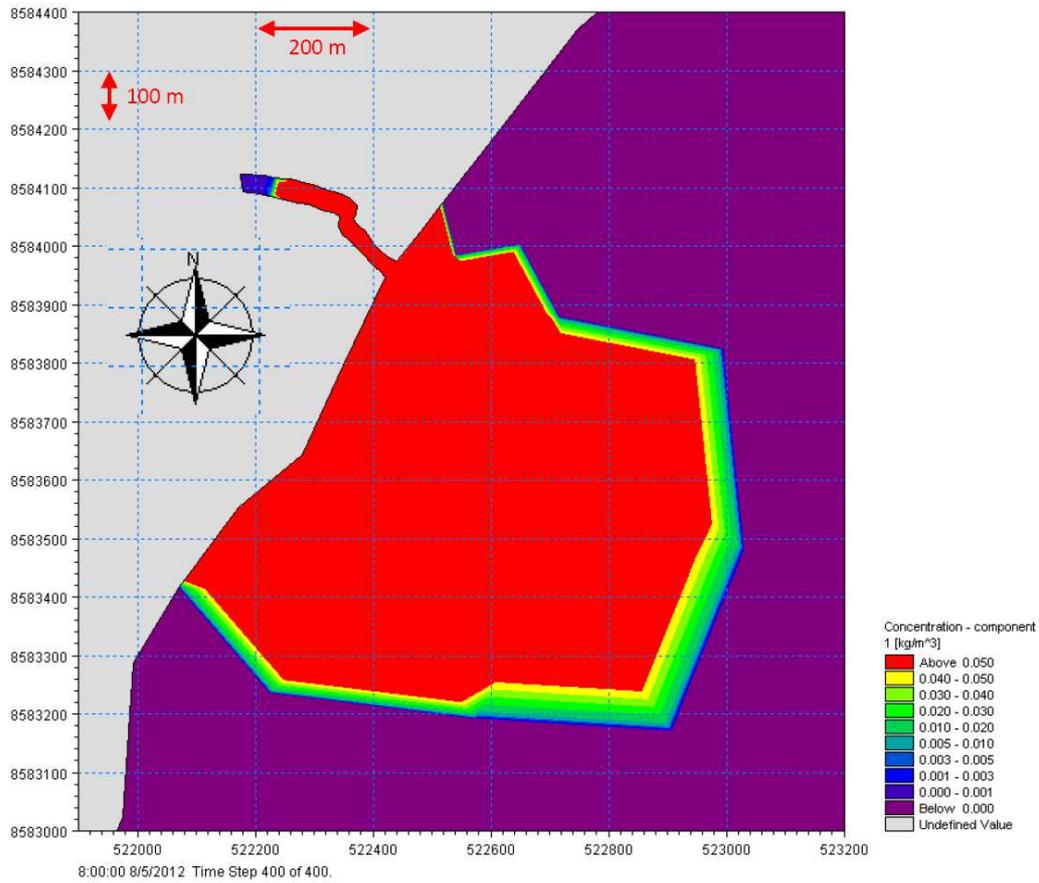


Figure 56 : Pleine capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES) - Vue de détail

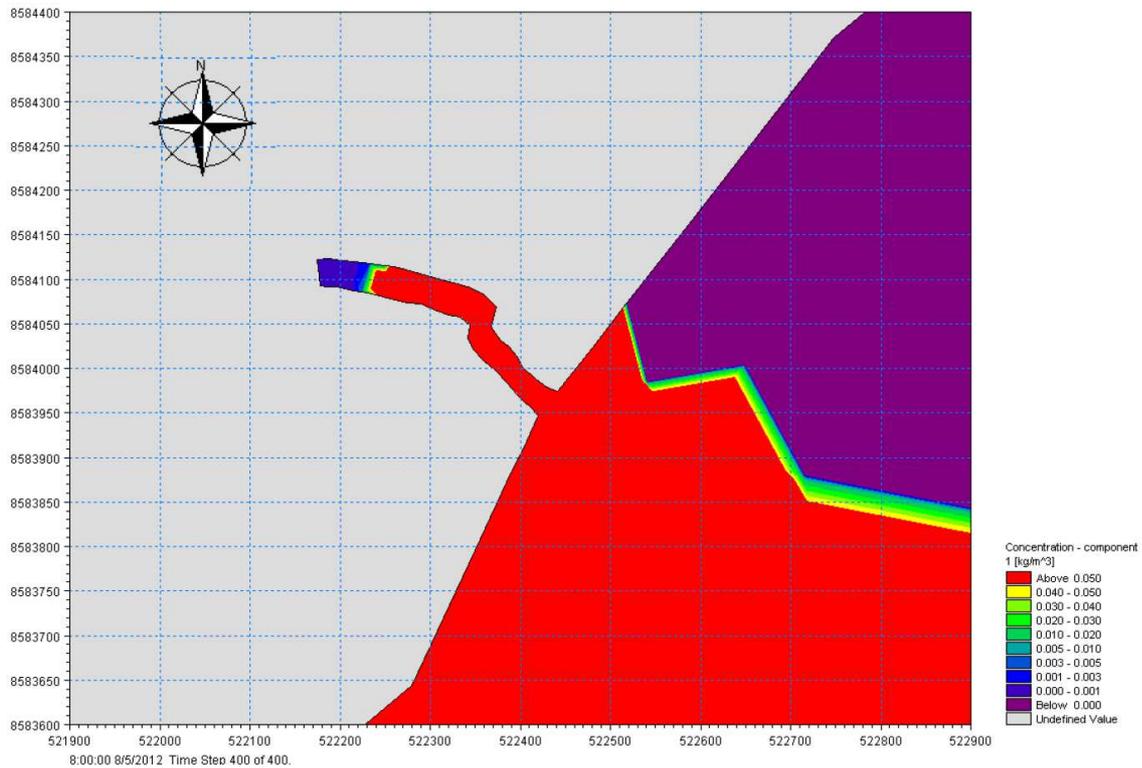


Figure 57 : Pleine capacité + vent - Concentration PT

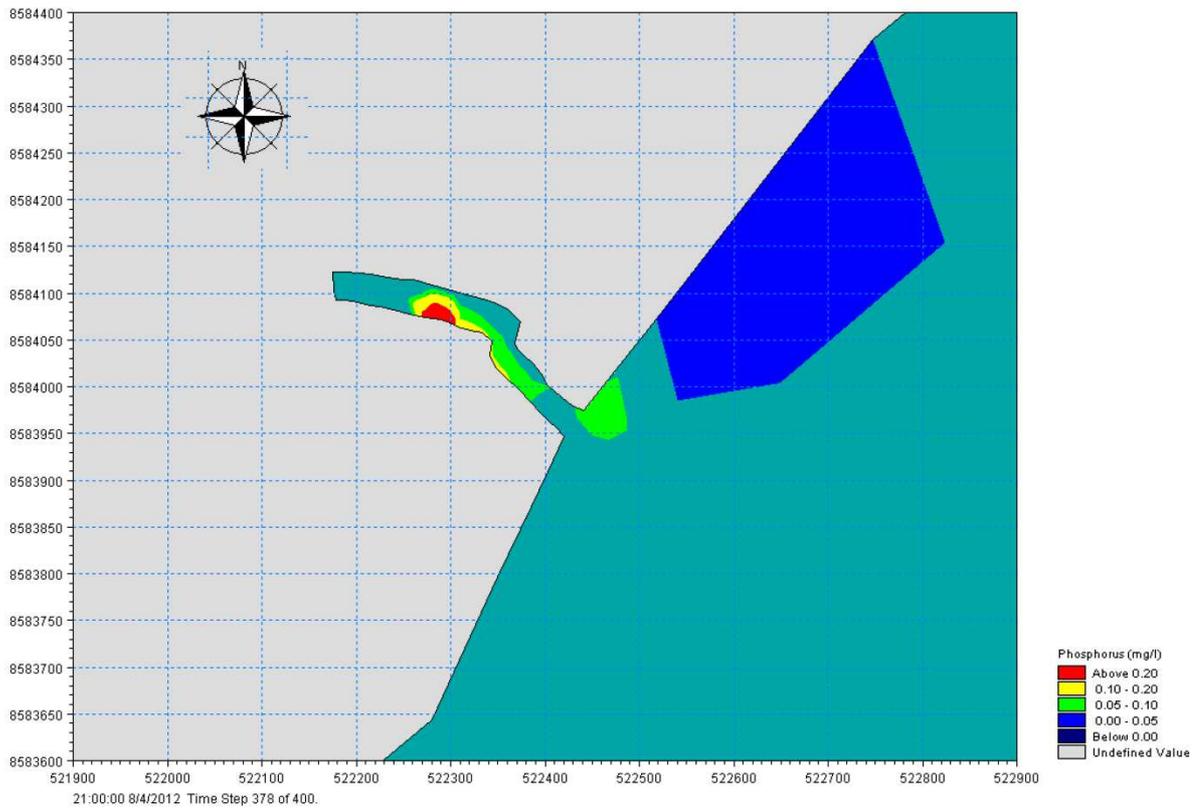


Figure 58 : Pleine capacité + vent - Concentration NGL

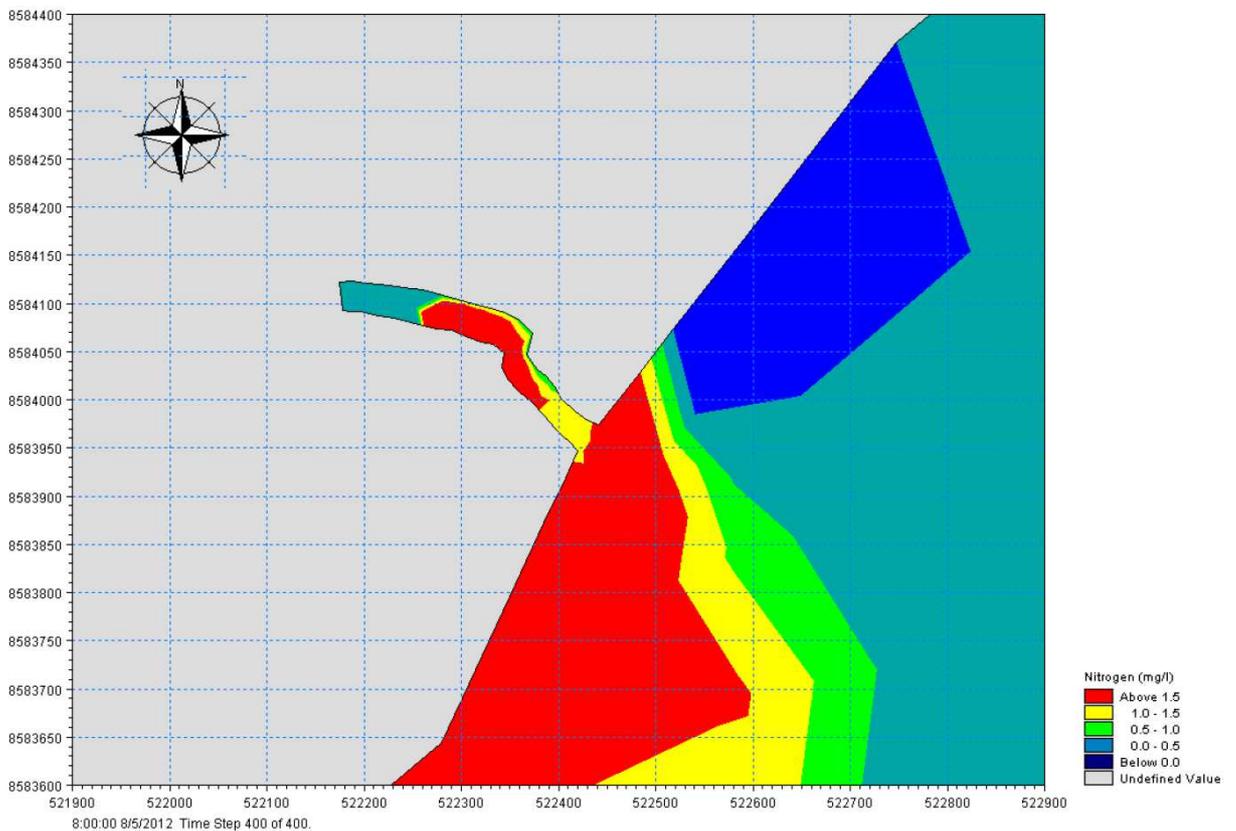


Figure 59 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 104 - Vue globale

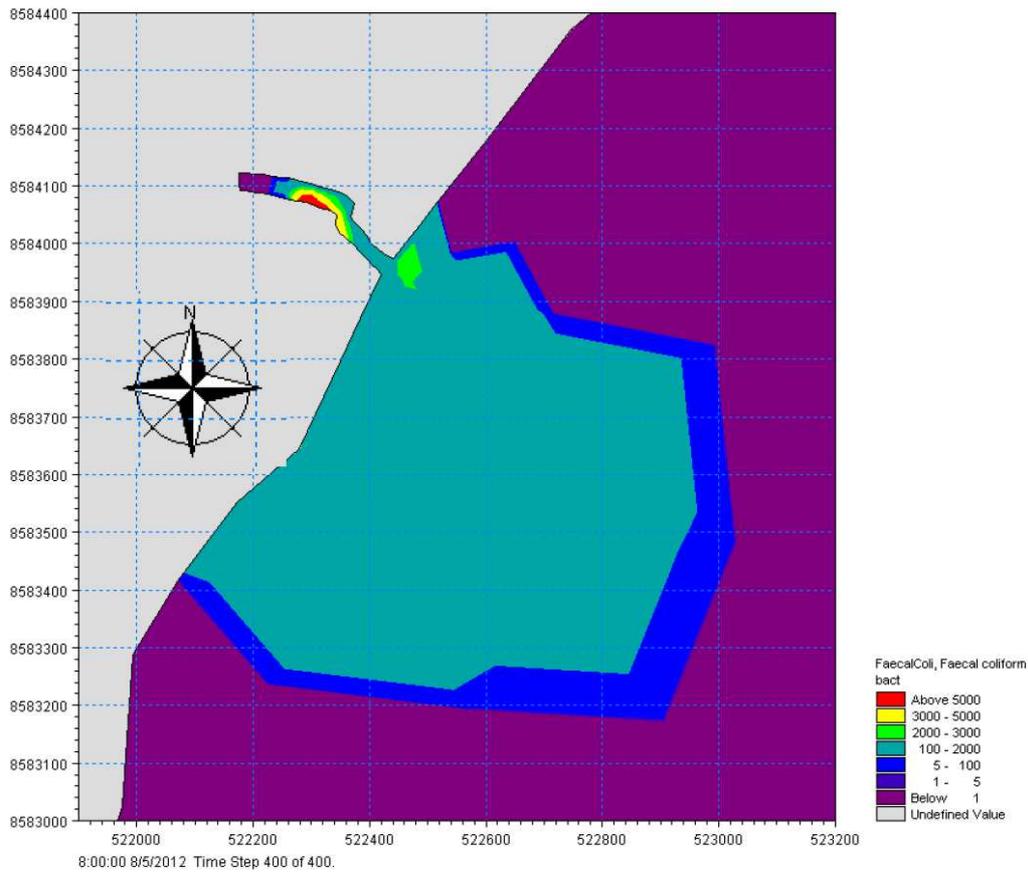


Figure 60 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 104 - Vue de détail

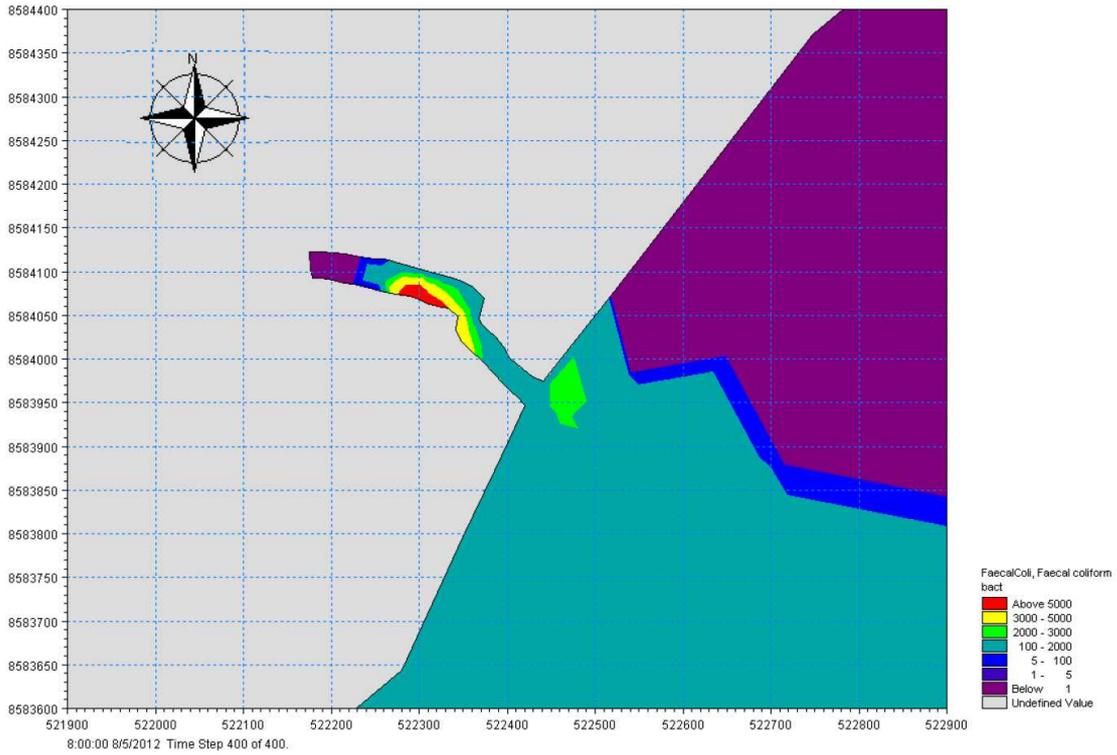


Figure 61 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106- Vue globale

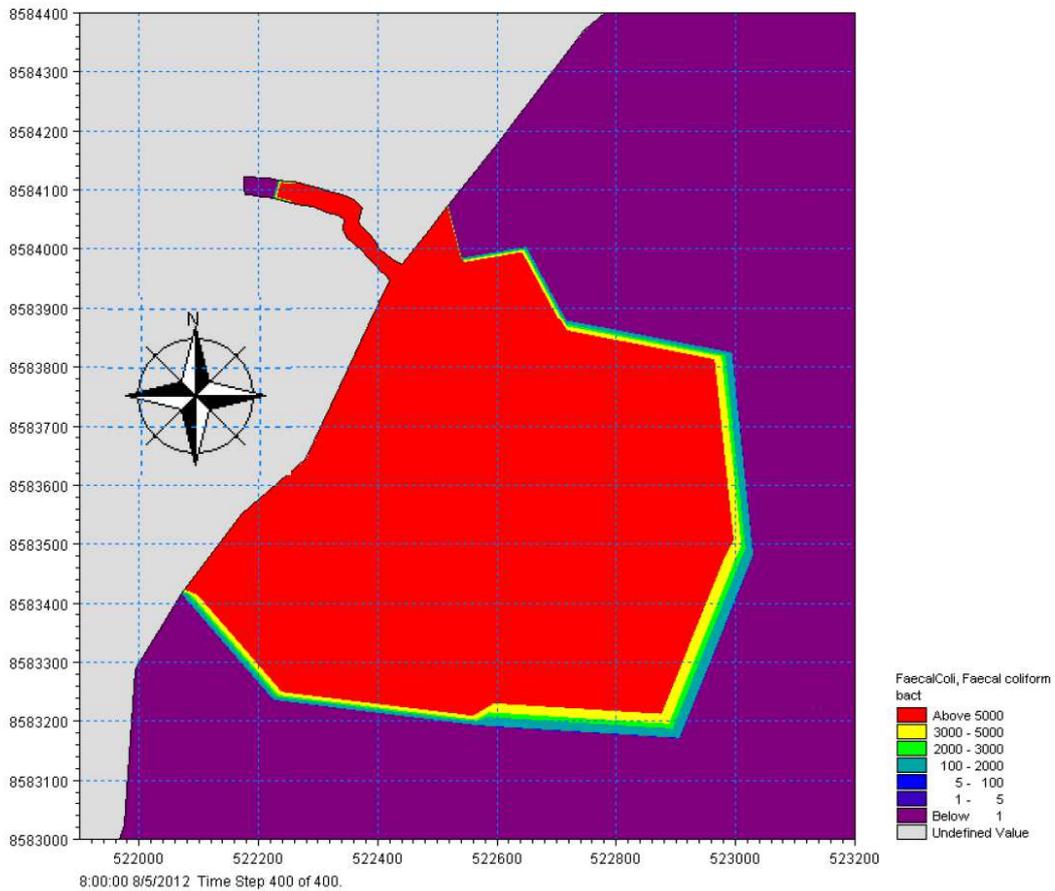


Figure 62 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106- Vue de détail



**SCENARIO 2 - DEMI CAPACITE (35 000 HABITANTS) + VENT**

Figure 63 : Demi capacité + vent - Concentration DBO5

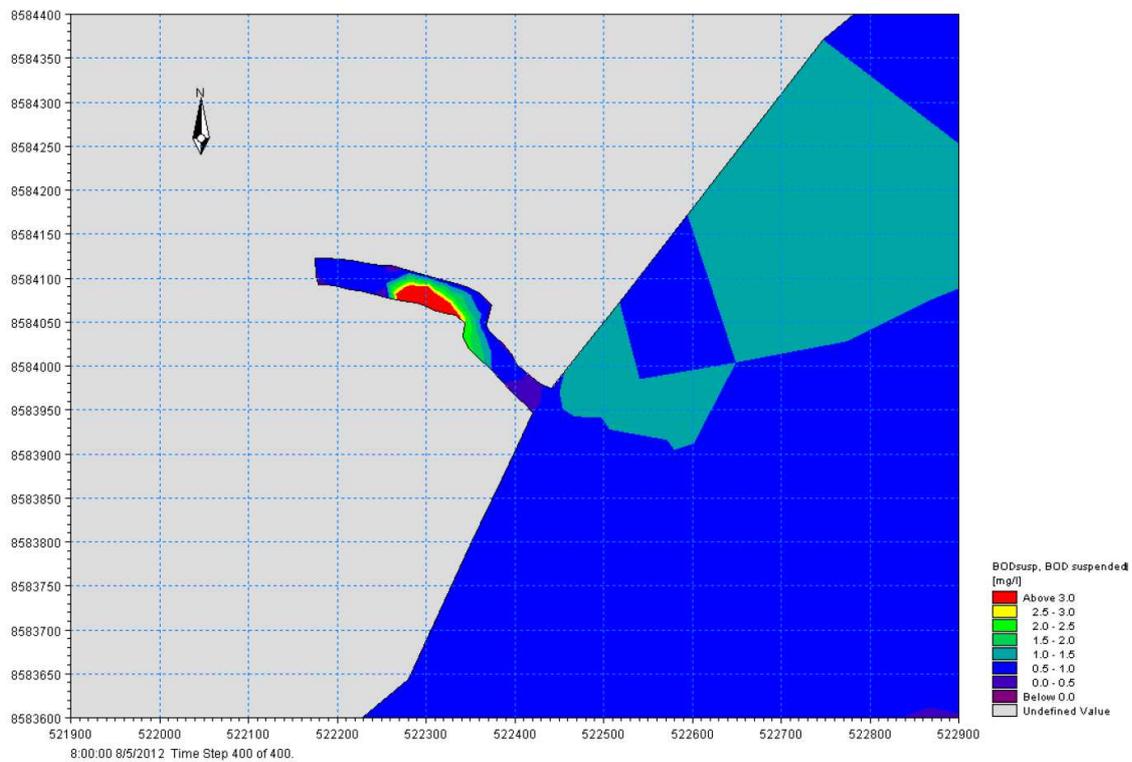


Figure 64 : Demi capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES)

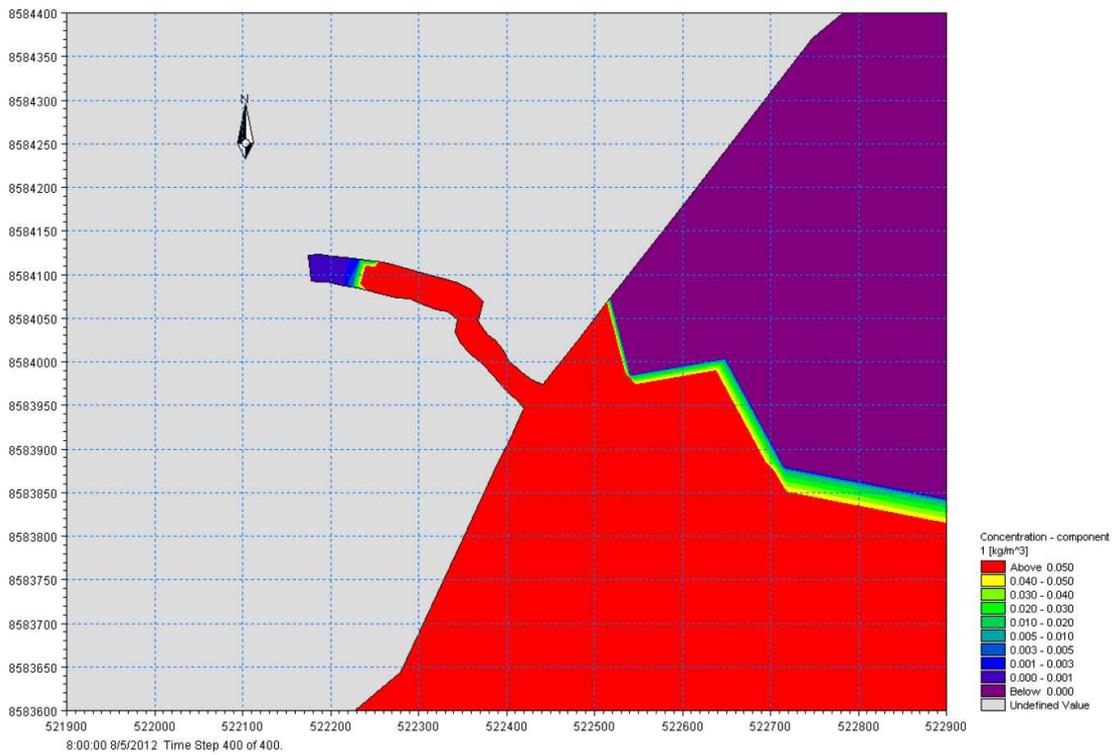


Figure 65 : Demi capacité + vent - Concentration PT

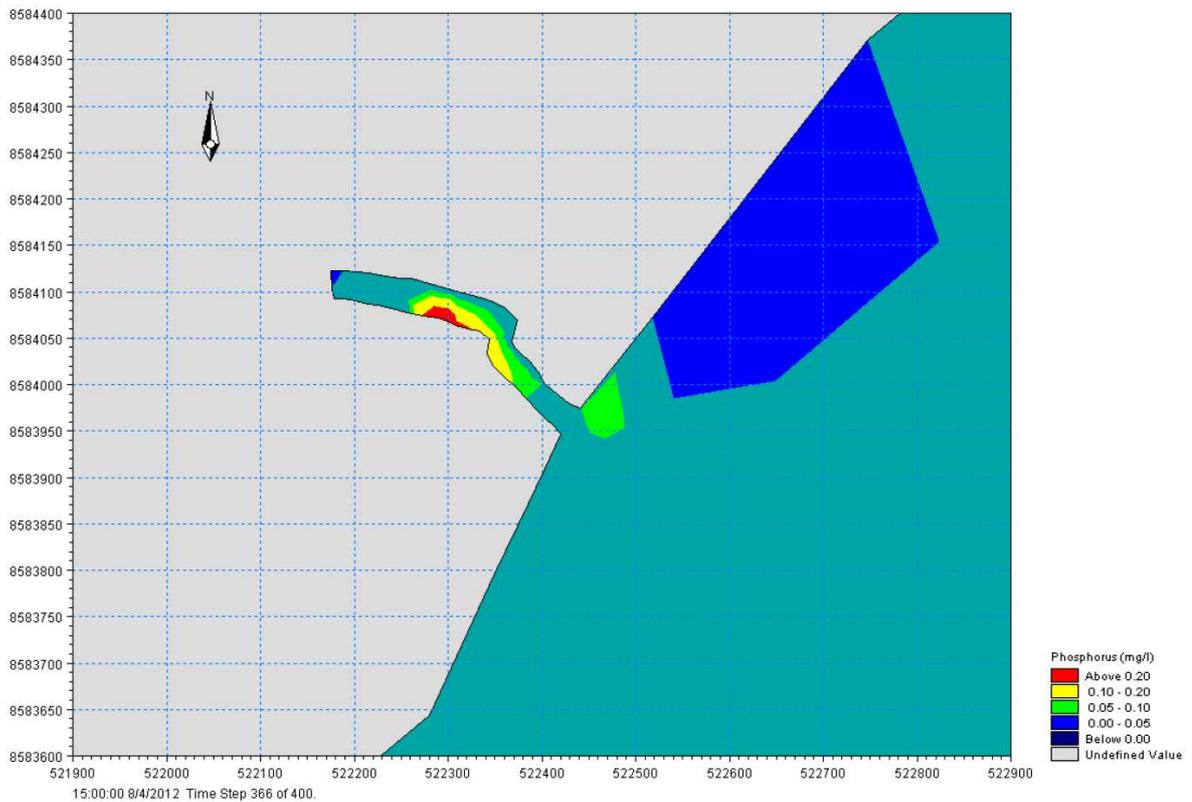


Figure 66 : Demi capacité + vent - Concentration NGL

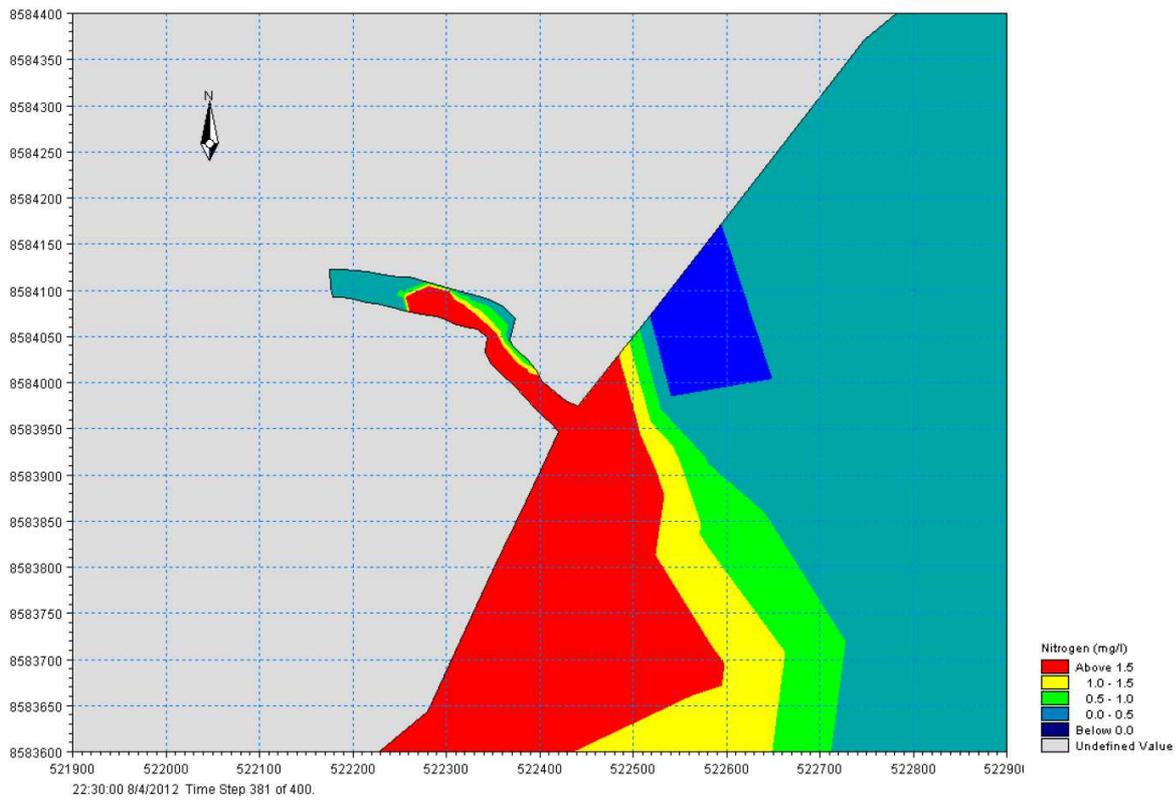


Figure 67 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106 - Vue globale

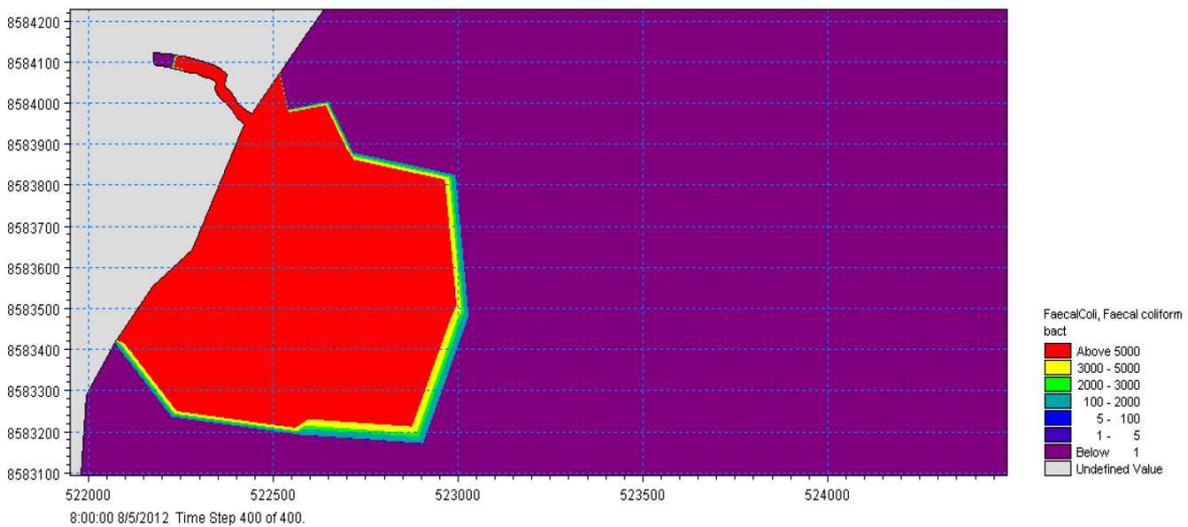


Figure 68 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106- Vue de détail

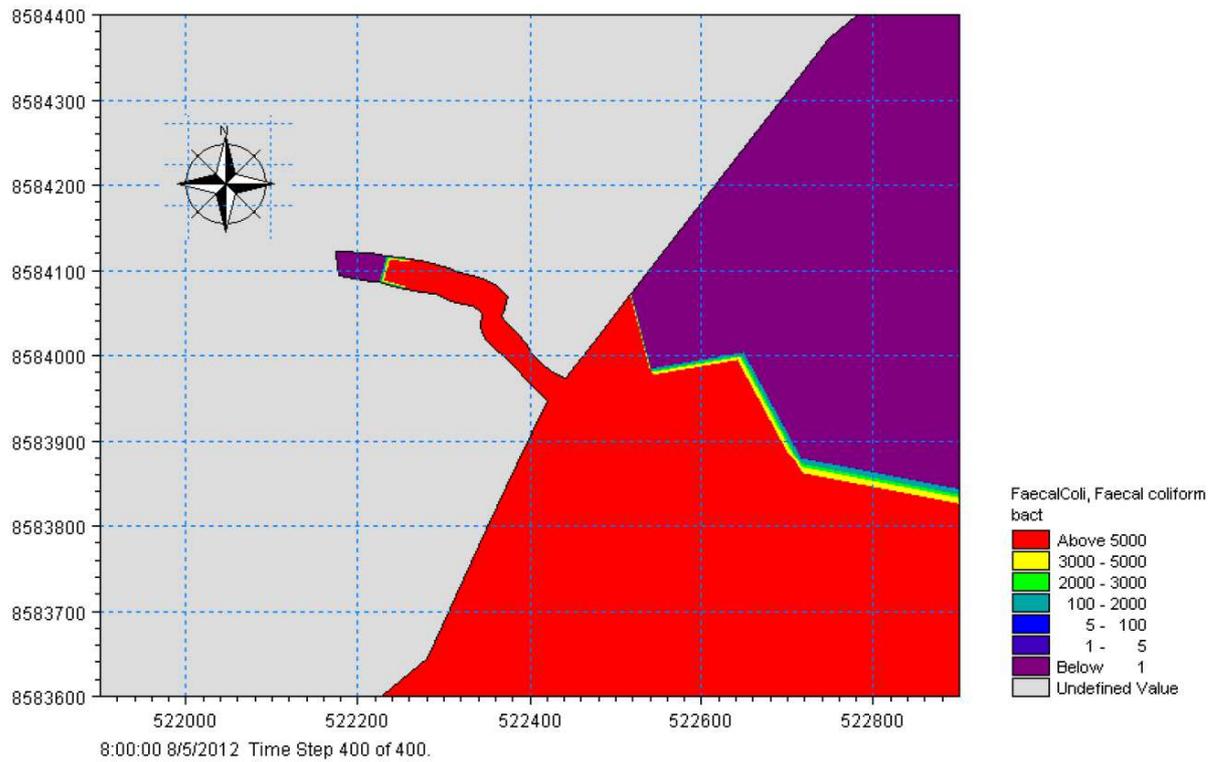
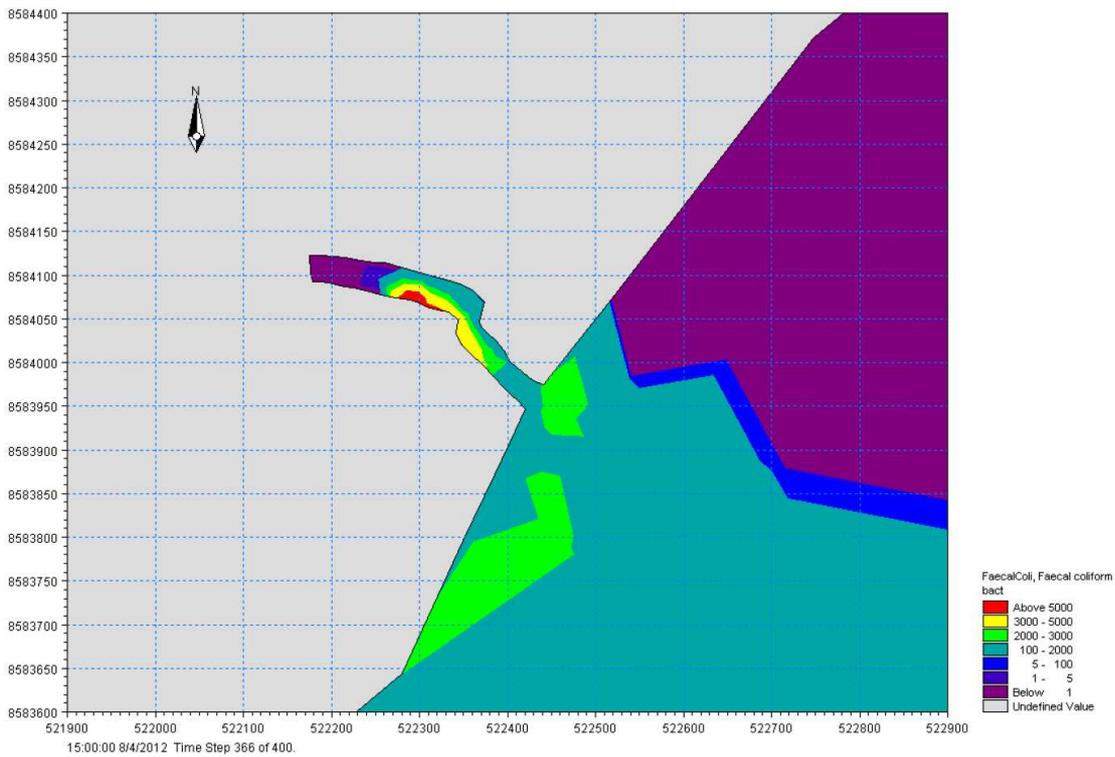


Figure 69 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 104



**SCENARIO 3 - DEMI CAPACITE (35 000 HABITANTS) + VENT / SANS TRAITEMENT**

Figure 70 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration DBO5

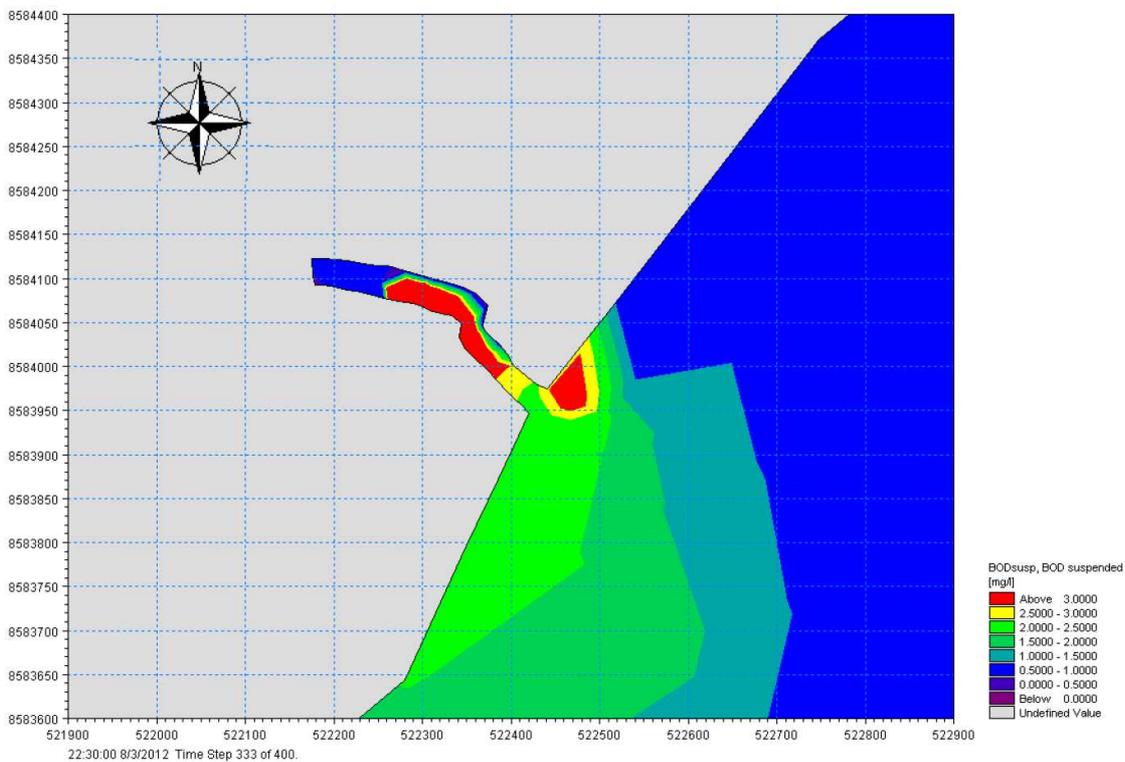


Figure 71 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Matières en Suspension (MES) - Vue globale

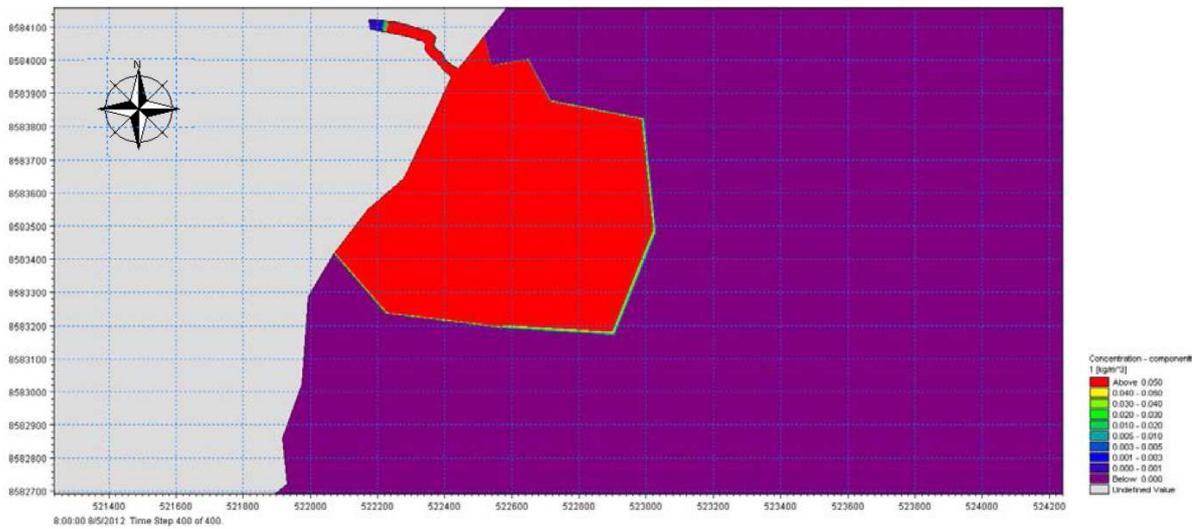


Figure 72 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Matières en Suspension (MES) - Vue de détail

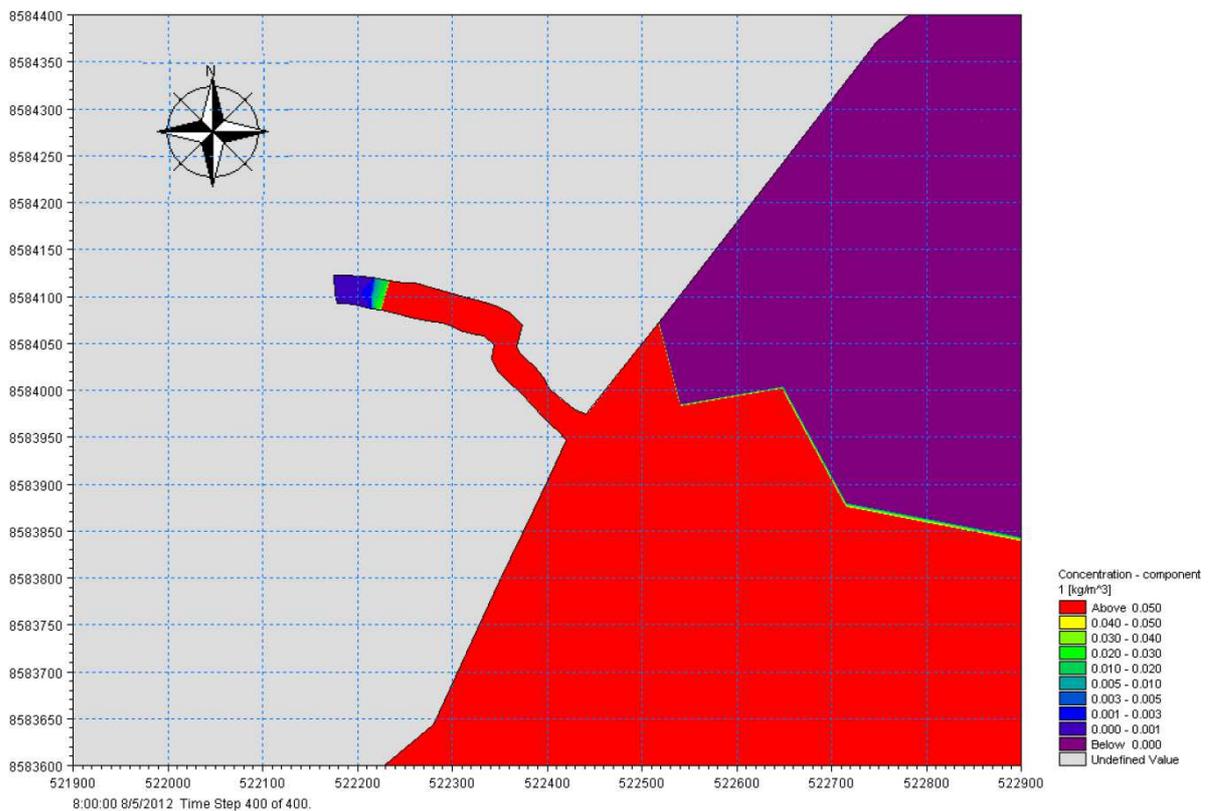


Figure 73 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration PT - Vue de détail

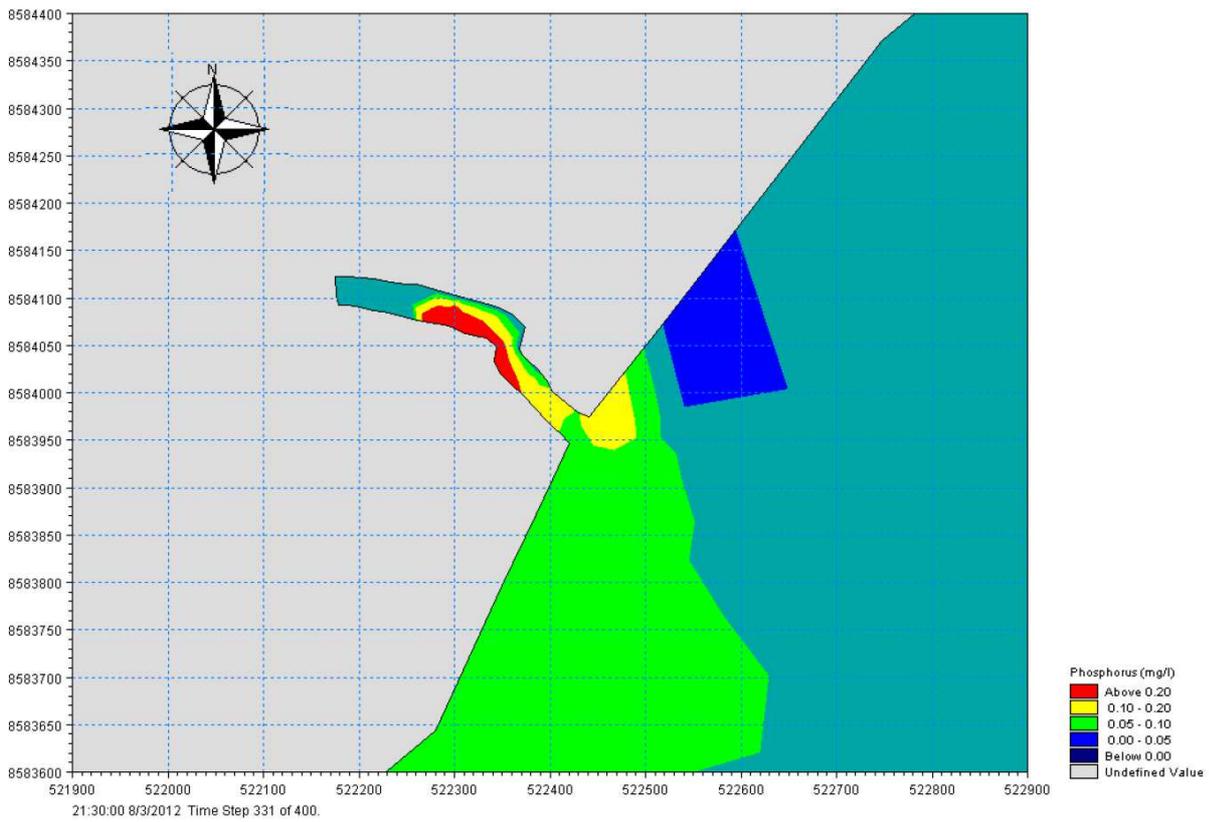


Figure 74 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration NGL

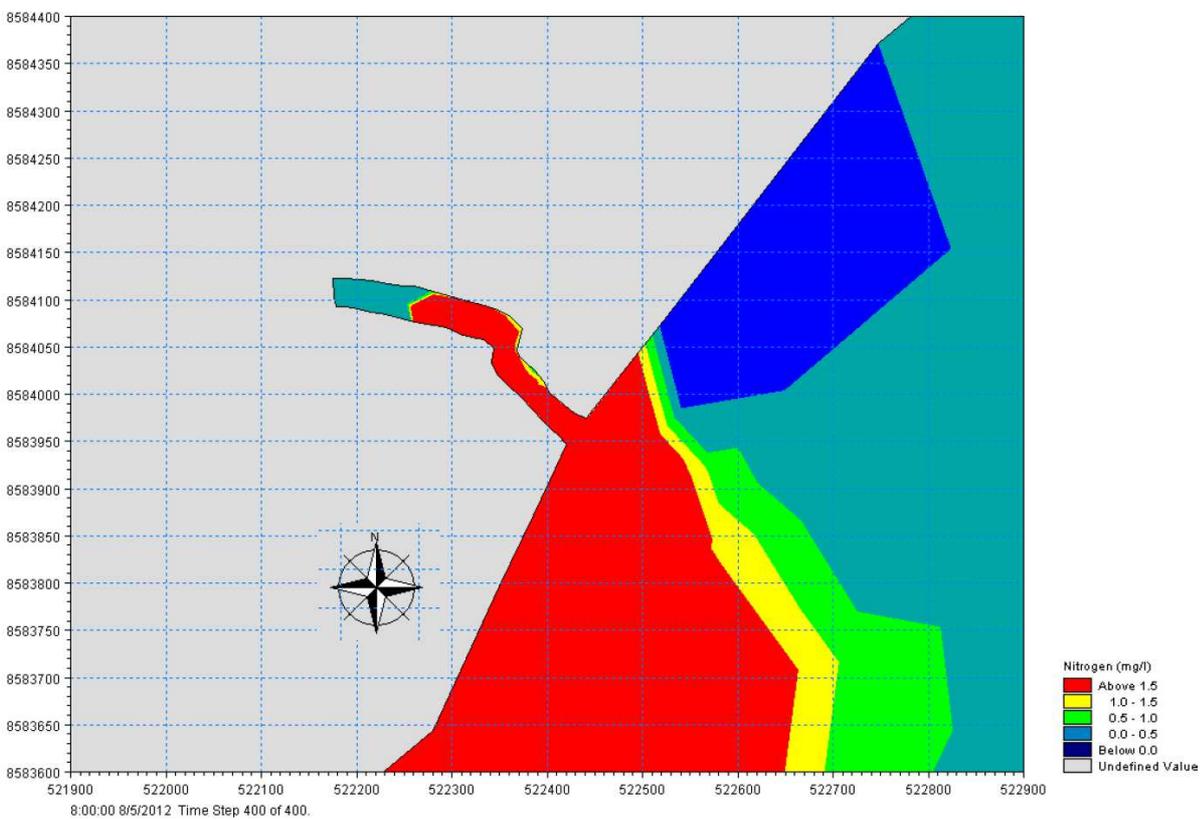


Figure 75 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106 - Vue globale

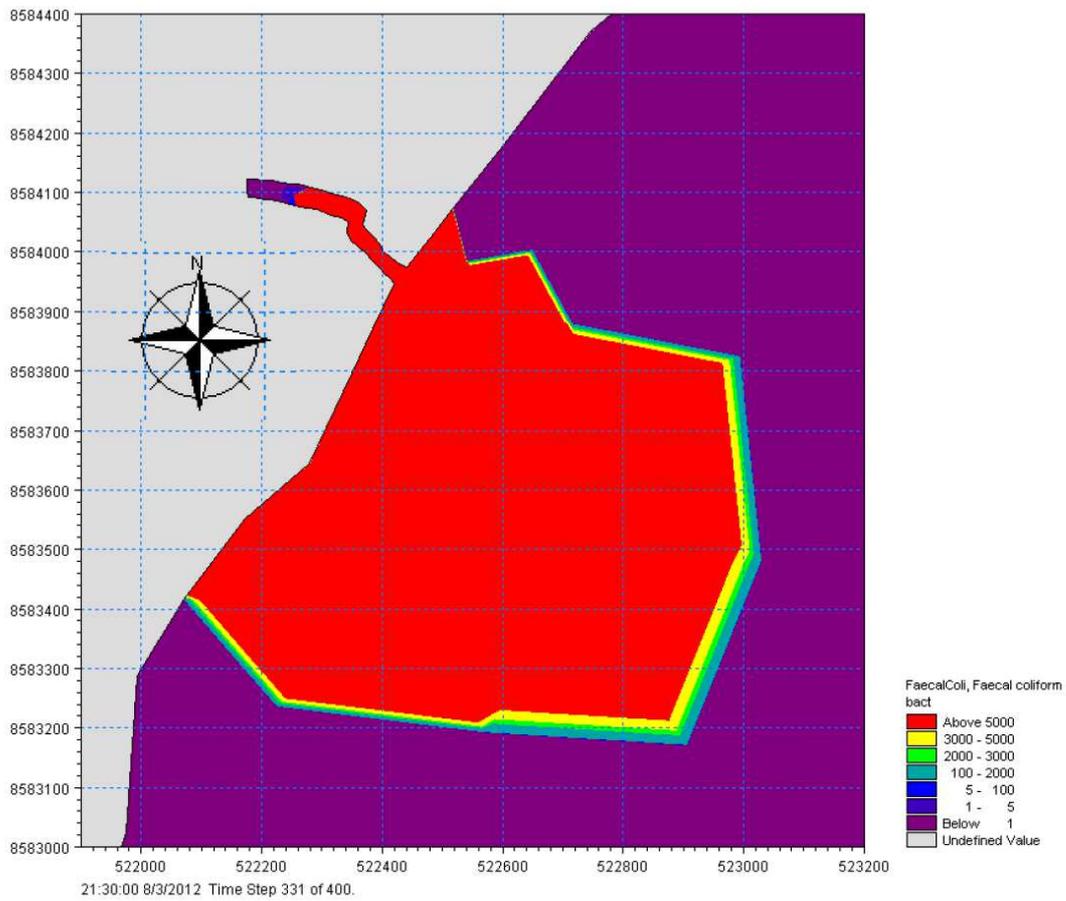


Figure 76 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106- Vue de détail

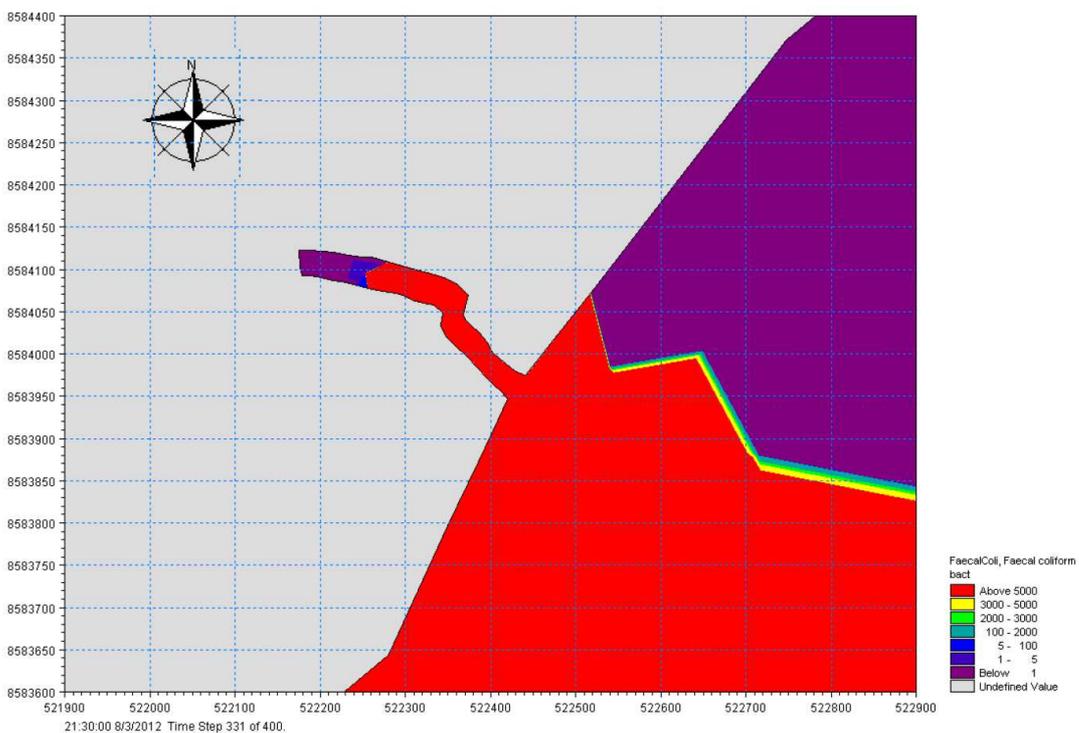


Figure 77 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 109- Vue globale

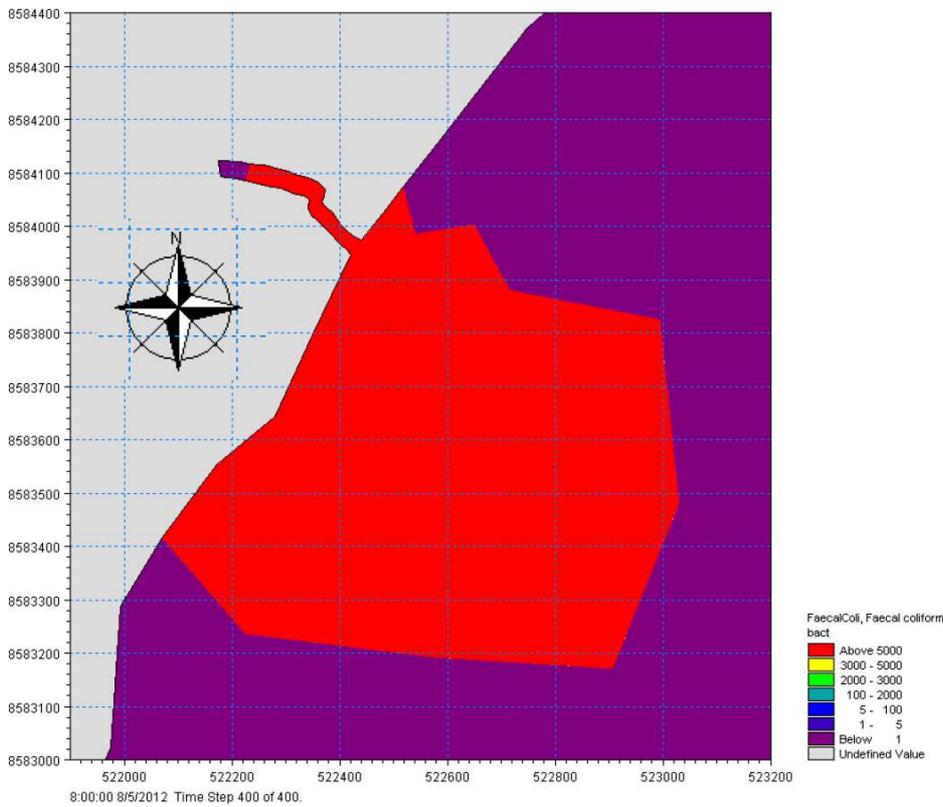
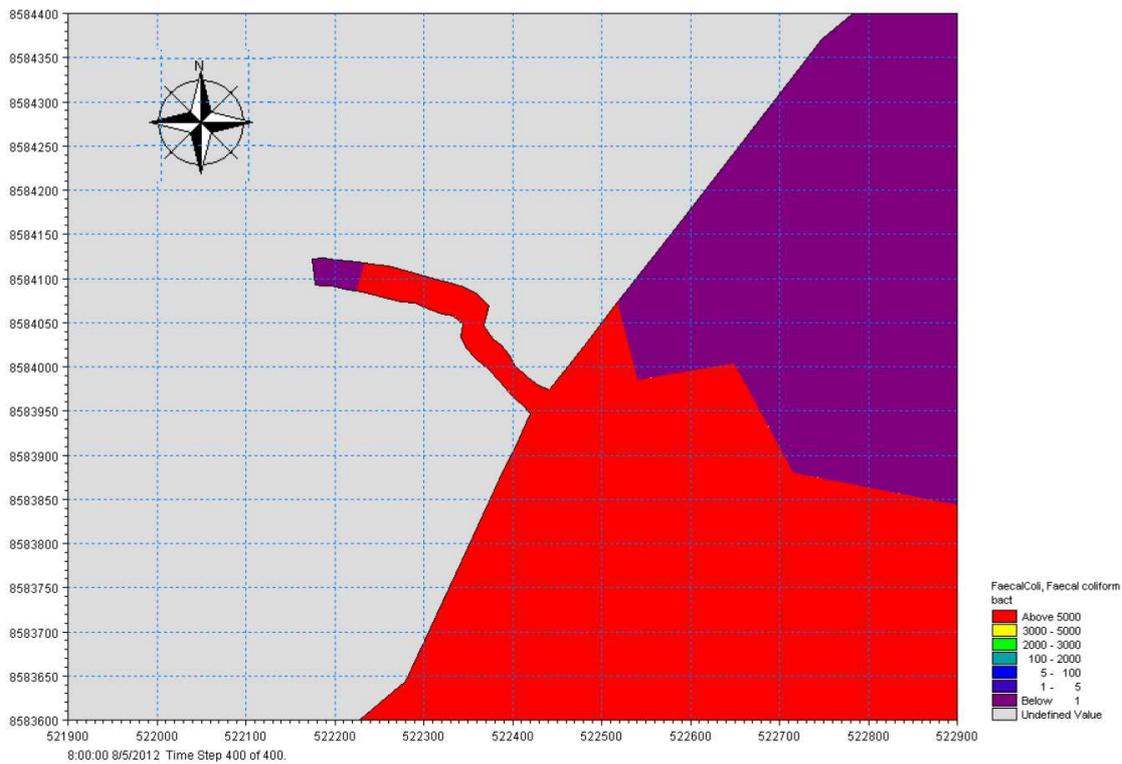


Figure 78 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 109- Vue de détail



## Conclusion

Dans les différentes simulations réalisées pour les 3 scénarios, de manière générale, le rejet connaît une dispersion limitée en raison des conditions hydrodynamiques caractérisées par des vitesses faibles. Un phénomène d'accumulation se développe dans plusieurs scénarios pour différents paramètres.

Pour la période de simulation et pour les situations de pleine et demi capacité, l'hydrodynamique permet de faire disparaître rapidement les Coliformes fécaux avec une concentration de  $10^4$  et d'obtenir une qualité des eaux littorales conformément à la norme des eaux de baignade en dehors du cours aval de la Kwalé qui reste pollué par l'effluent. En revanche, avec une concentration de  $10^6$ , toutes les configurations testées donnent des résultats défavorables et la norme des eaux de baignade est largement dépassée. Une accumulation se développe en direction du Sud, principalement sur l'estran et dans le domaine affecté par le marnage quotidien.

Une bonne indication de la dynamique et en particulier de l'accumulation des bactéries est donnée par la distribution des teneurs en MES. Les figures présentent très clairement les secteurs dans lesquels s'accumulent les particules en suspension.

La dispersion des MES est importante au large de l'embouchure (environ 600 m face à l'embouchure) et vers le sud (le long d'un linéaire de côte de 600 m et jusqu'à près de 850 au Sud-est de l'embouchure).

La distribution des Coliformes suit globalement cette dynamique. En cas de défaillance du traitement, le rejet peut polluer de manière très sensible une surface de près d'un kilomètre carré avec une concentration en Coliformes fécaux supérieure à 5000 germes / 100 ml.

Si ces résultats s'avèrent trop contraignants compte tenu des objectifs retenus pour le littoral de Mayotte, une solution alternative pourrait être recherchée avec un rejet réalisé dans le lagon, via un émissaire, à une distance suffisante permettant d'atteindre des secteurs de courant plus importants. Dans cette hypothèse, le niveau de traitement devrait être limité et apporter une concentration en Coliformes fécaux à  $10^6$ .

### 6.3.2.4 Résultats des simulations de la dispersion des effluents en saison humide

#### SCENARIO 1 - PLEINE CAPACITE (70 000 HABITANTS) + VENT

Figure 79 : Pleine capacité + vent - Concentration DBO5

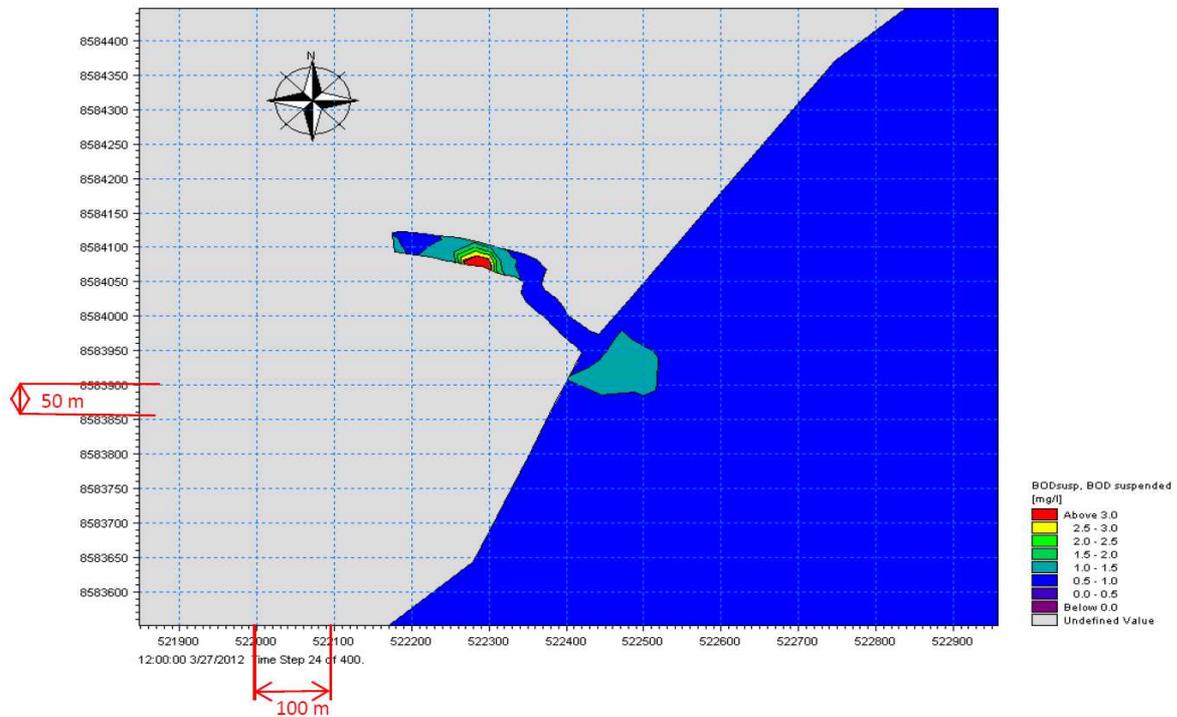


Figure 80 : Pleine capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES)

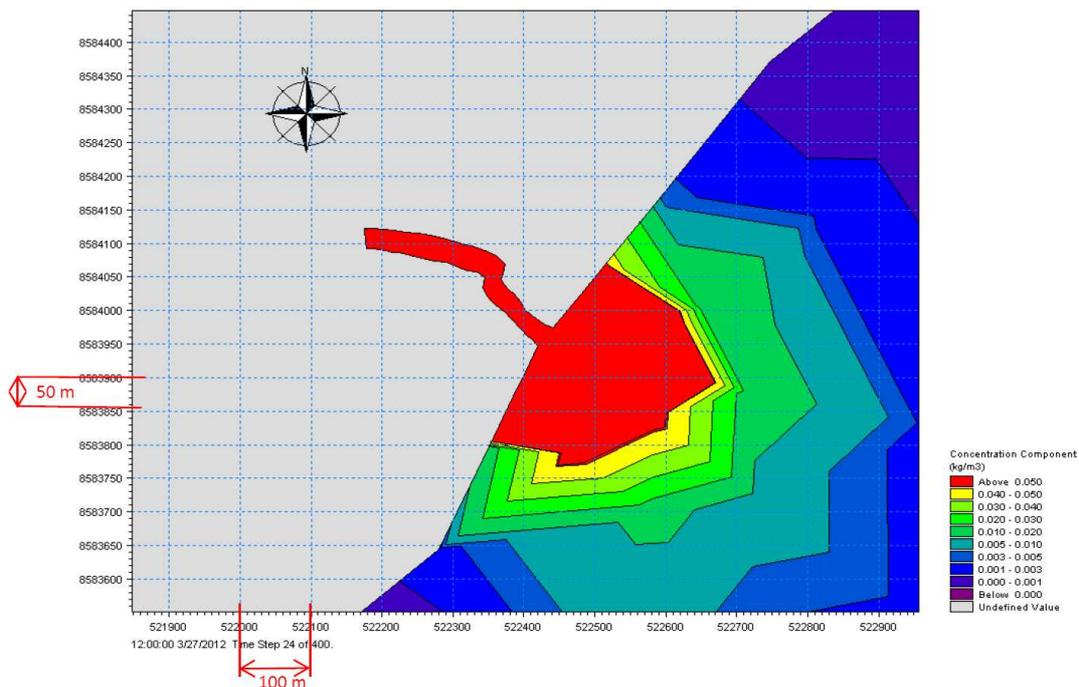


Figure 81 : Pleine capacité + vent - Concentration PT

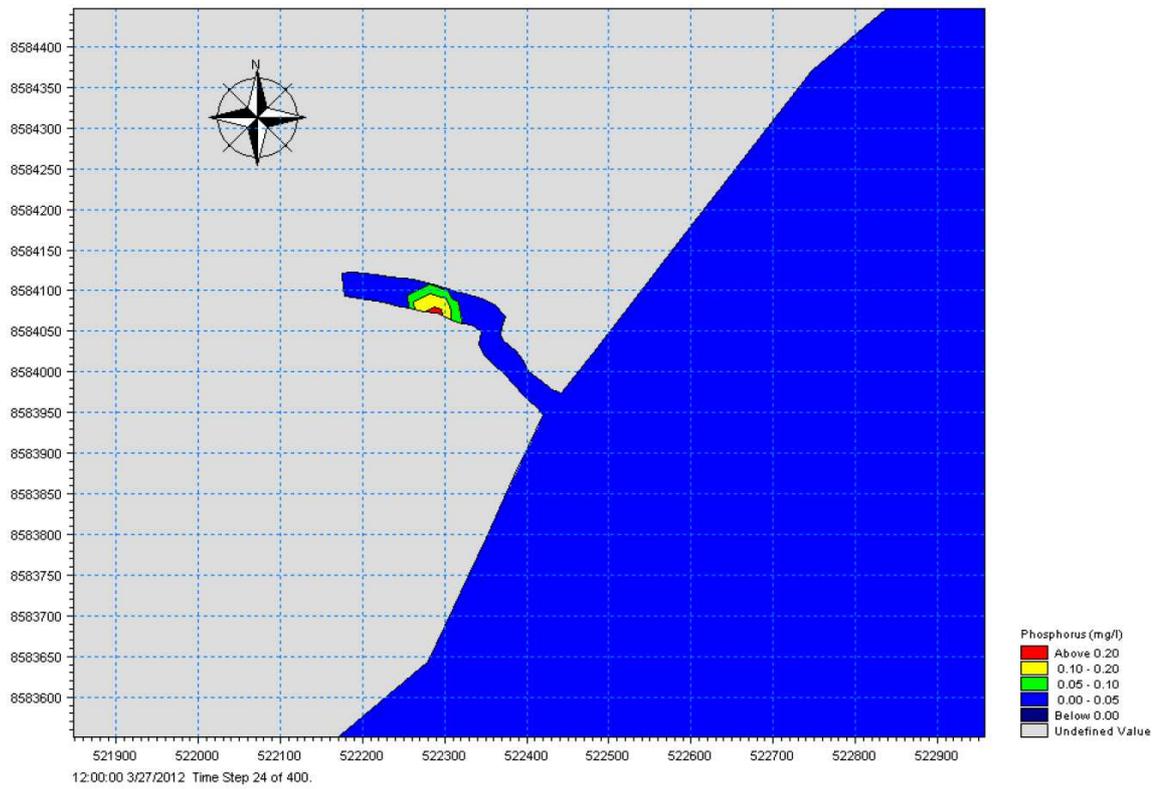


Figure 82 : Pleine capacité + vent - Concentration NGL

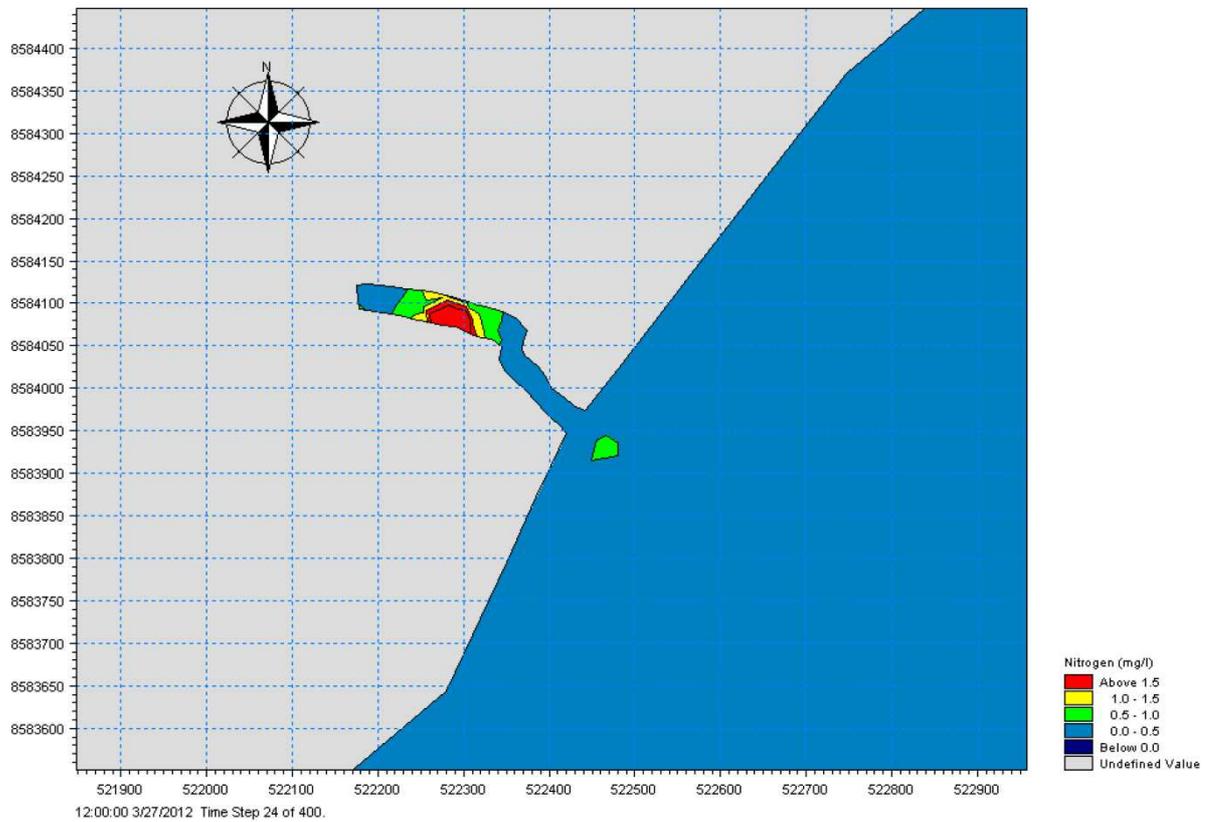


Figure 83 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106

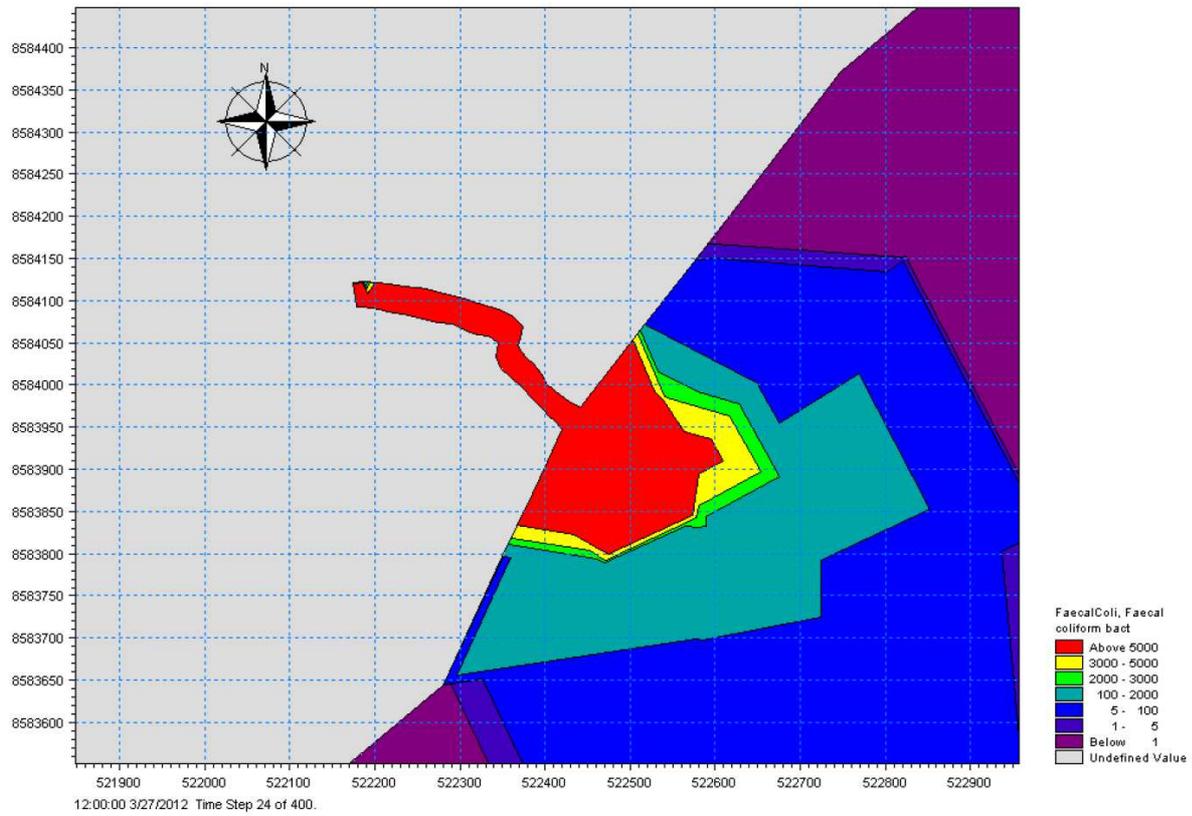


Figure 84 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 104

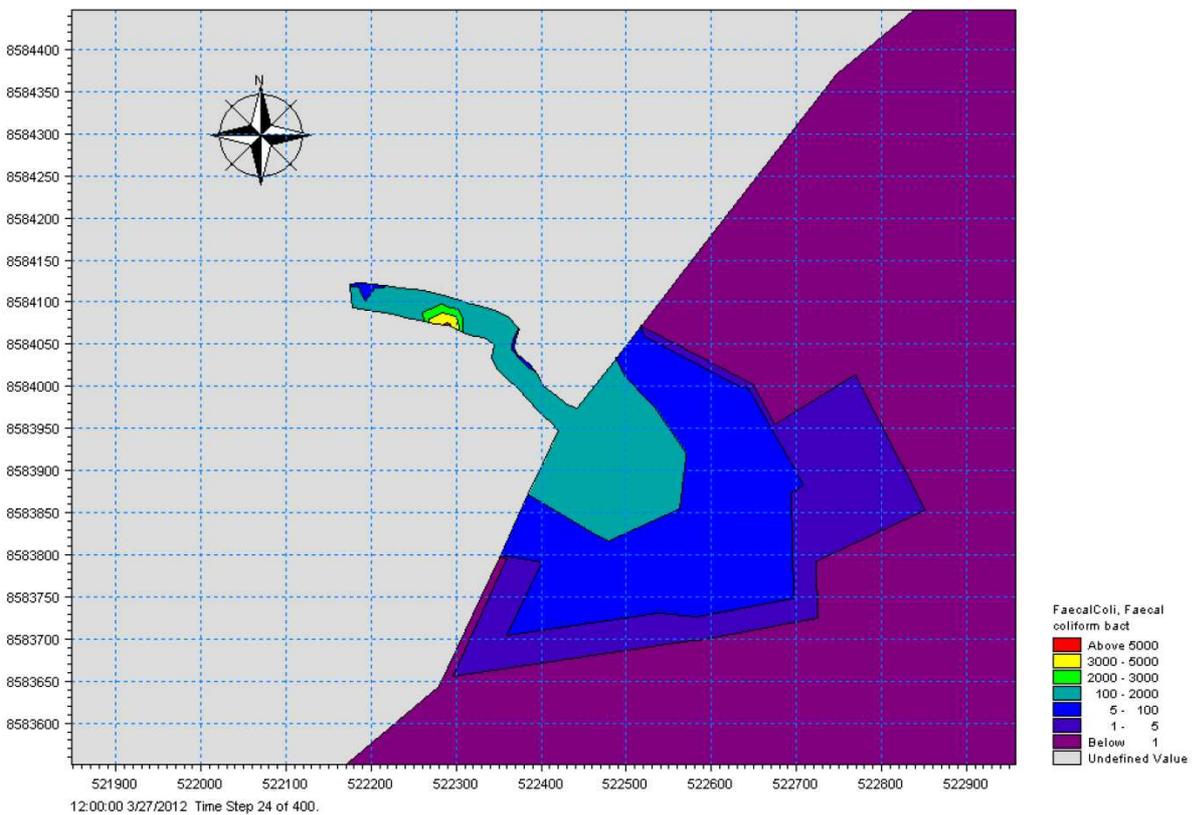


Figure 85 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 106

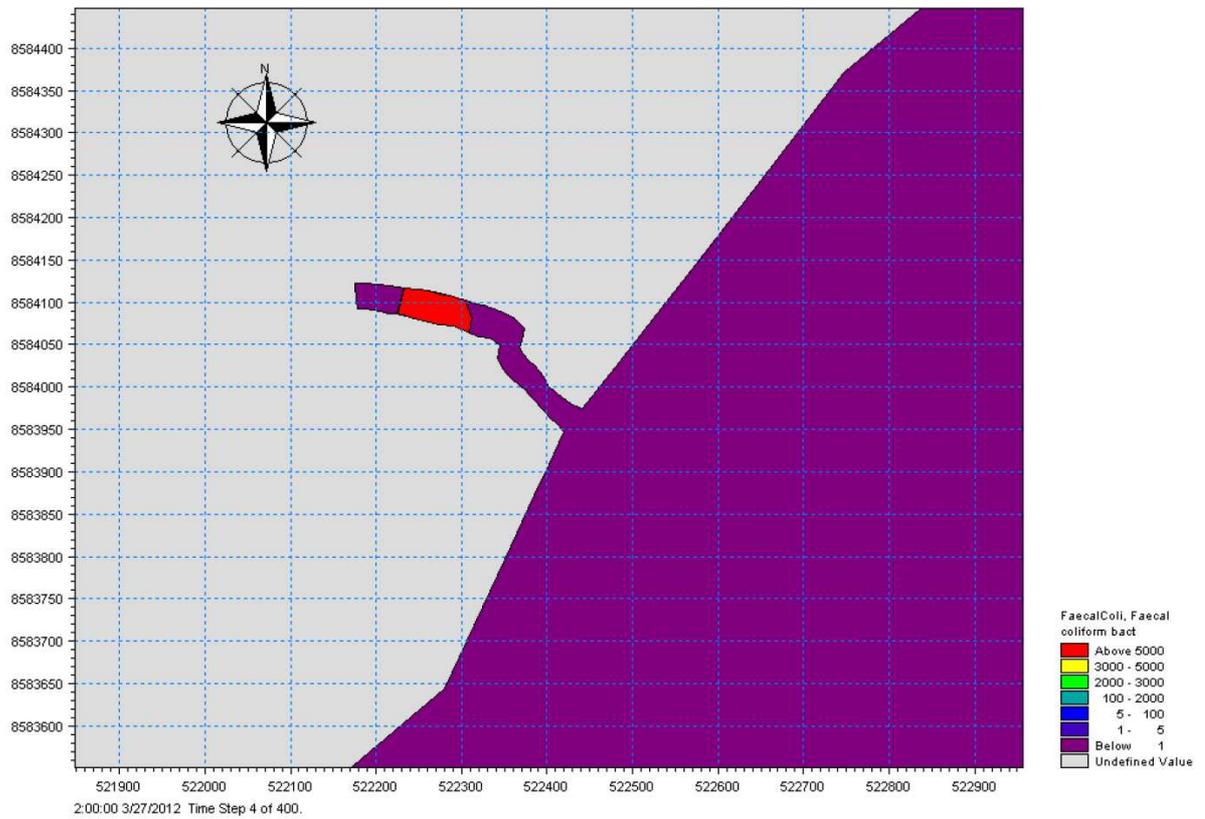
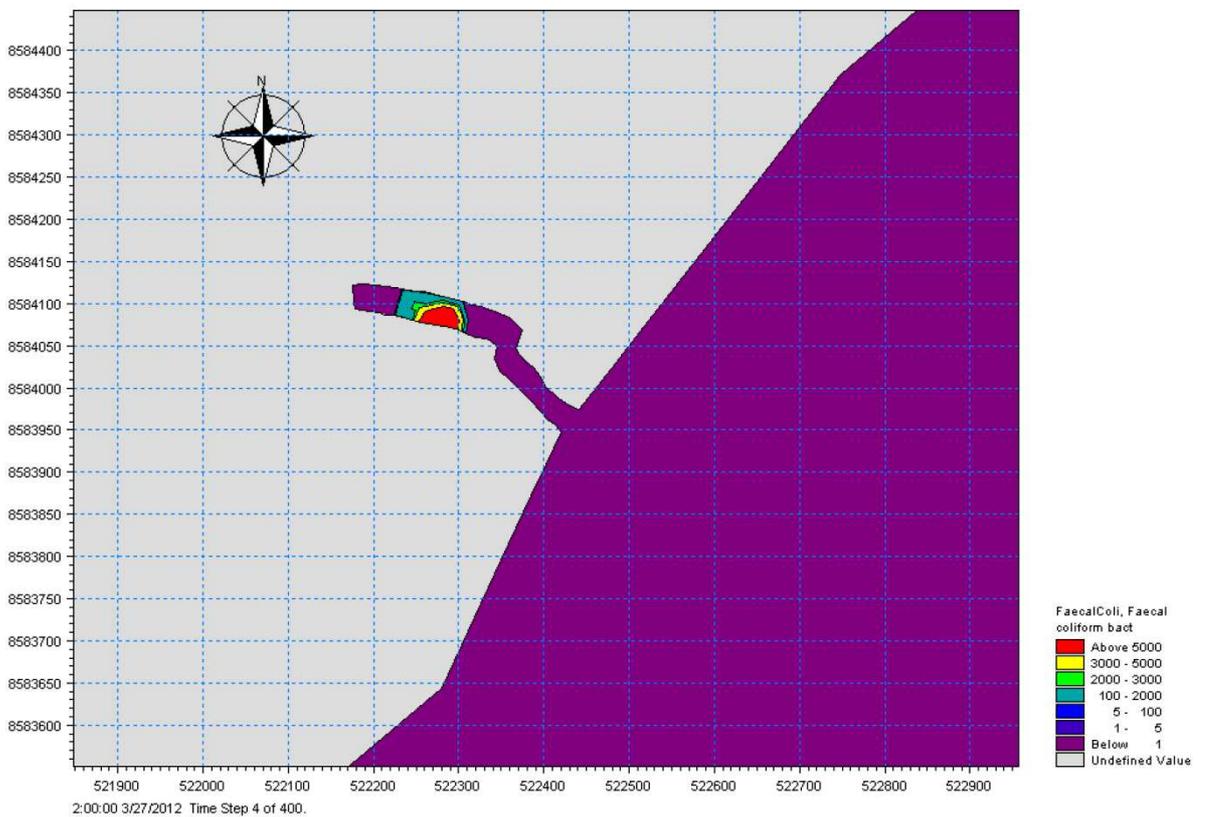


Figure 86 : Pleine capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 104



**SCENARIO 2 - DEMI CAPACITE (35 000 HABITANTS) + VENT**

Figure 87 : Demi capacité + vent - Concentration DBO5

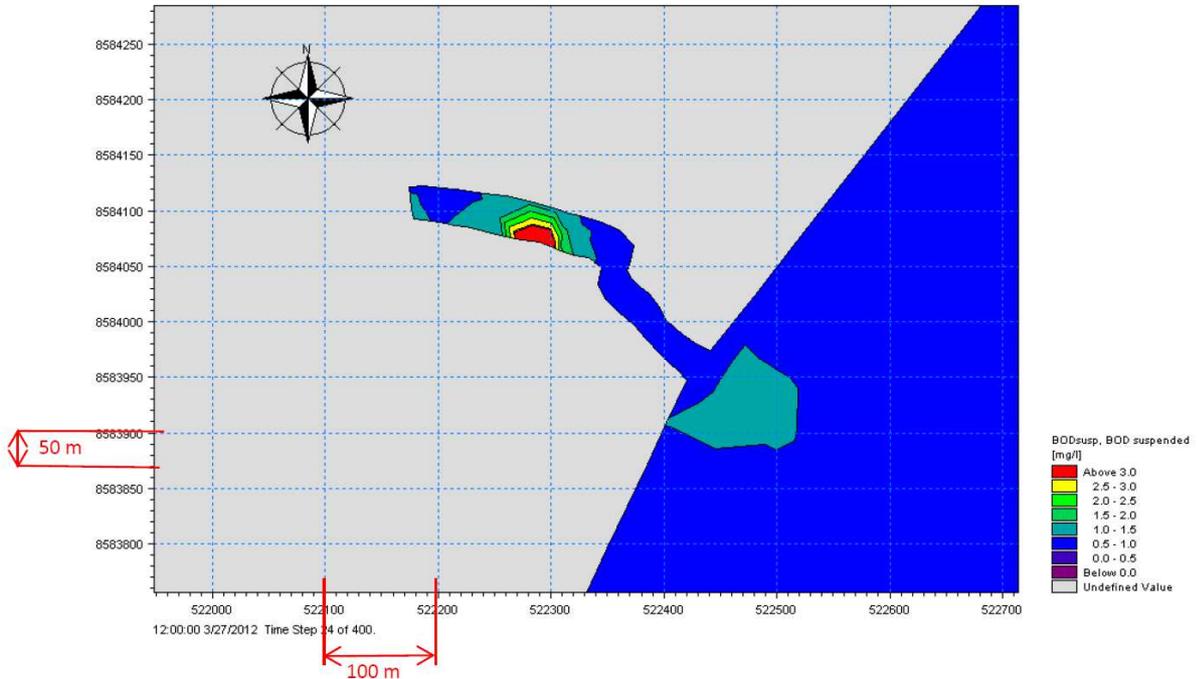


Figure 88 : Demi capacité + vent - Concentration Matières en Suspension (MES)

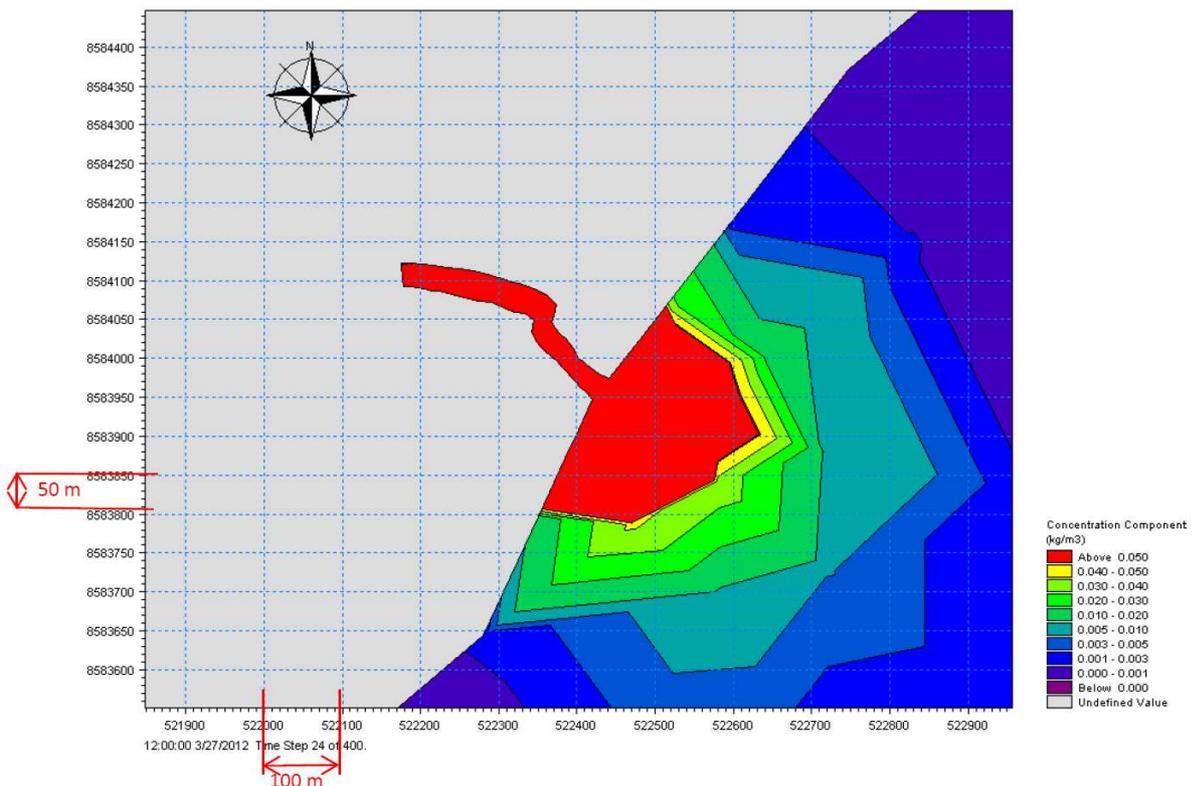


Figure 89 : Demi capacité + vent - Concentration PT

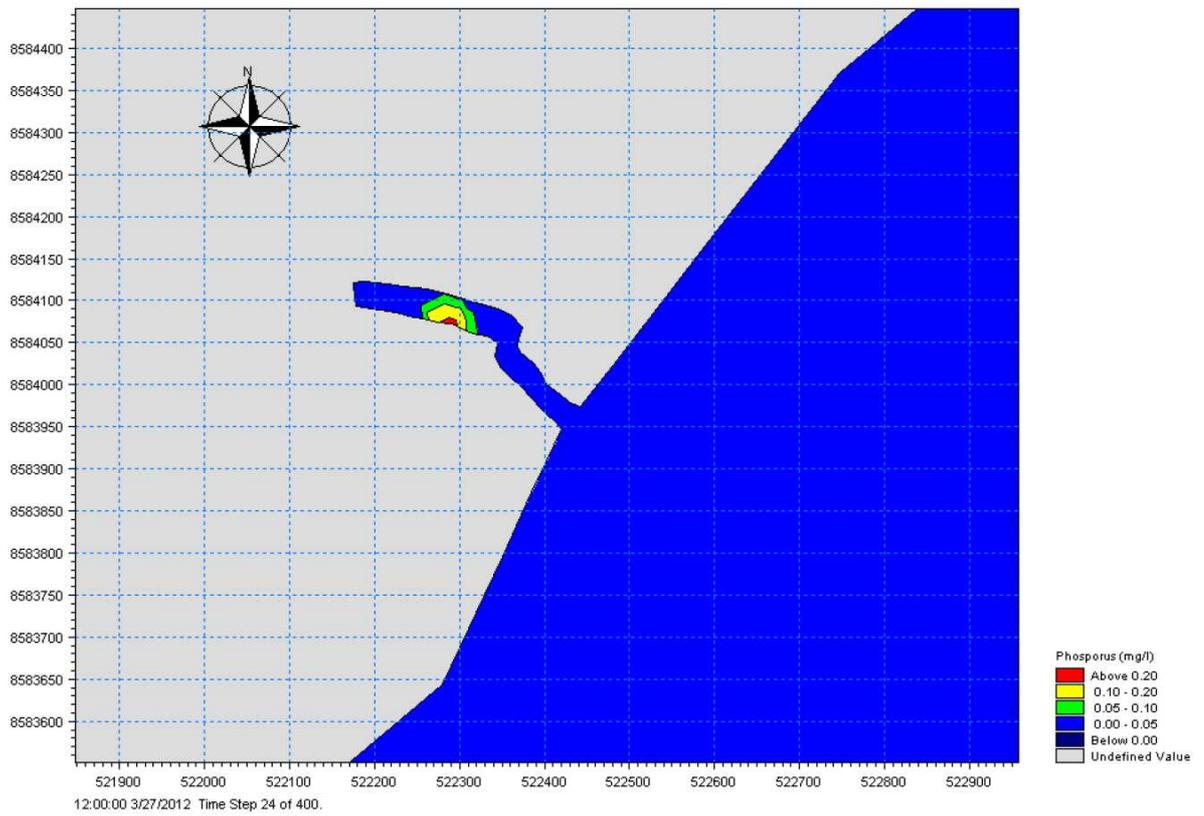


Figure 90 : Demi capacité + vent - Concentration NGL

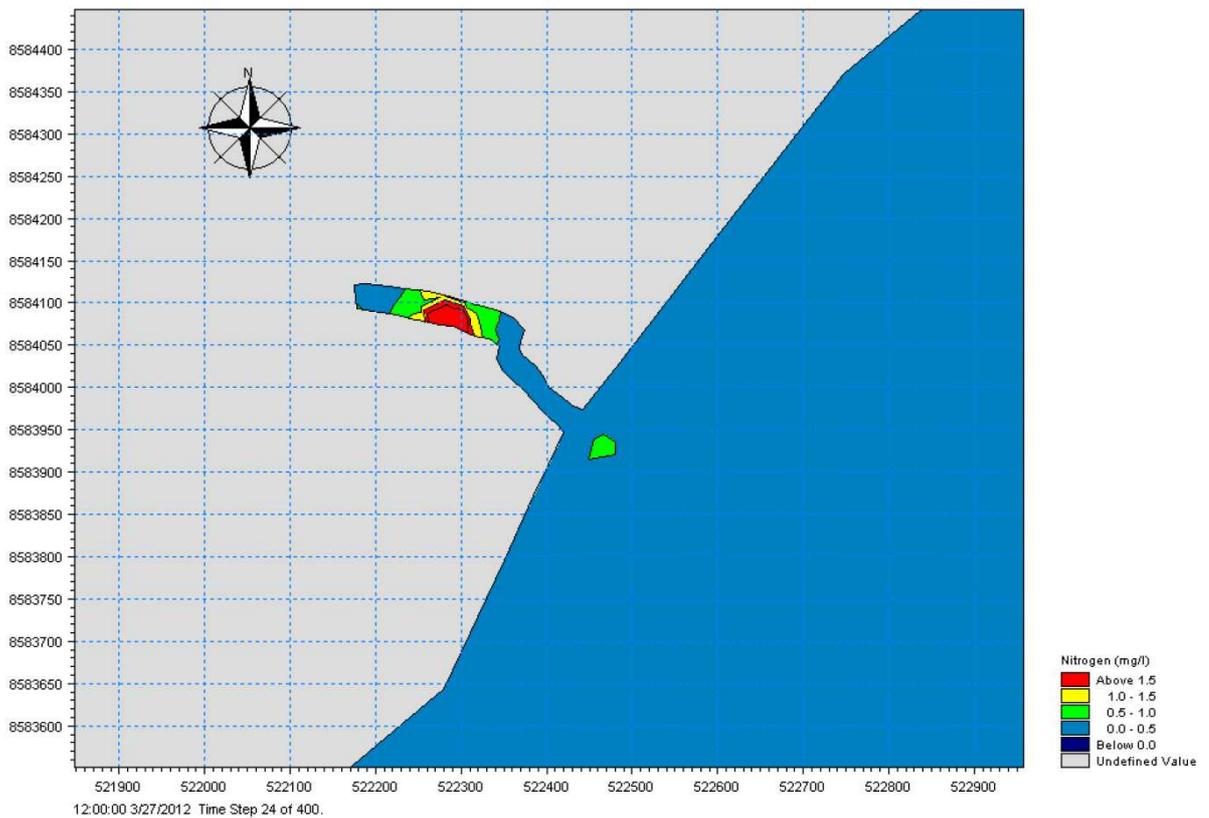


Figure 91 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106

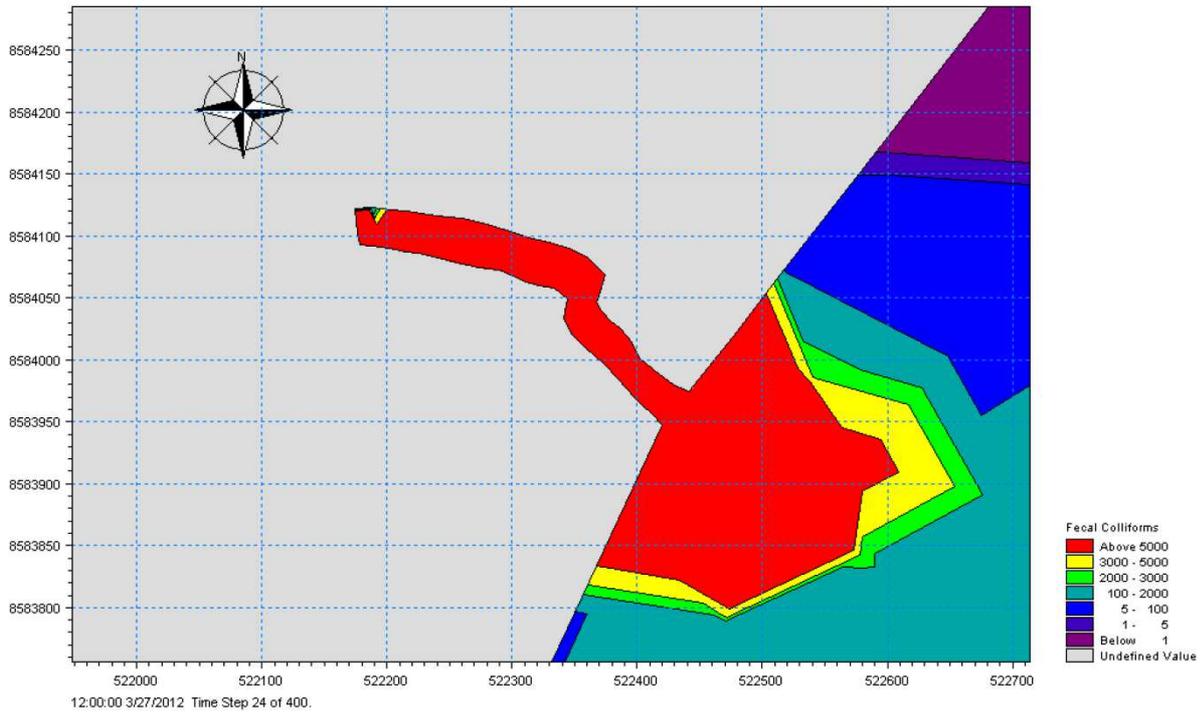


Figure 92 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 104



Figure 93 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 106

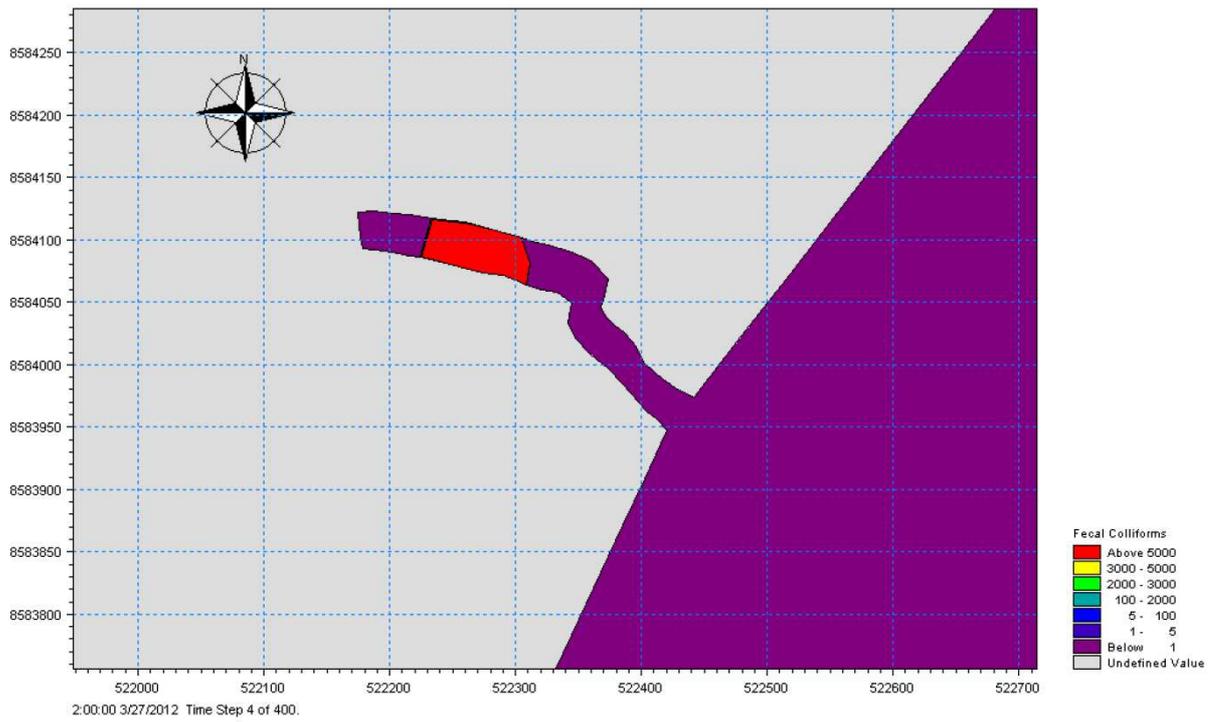
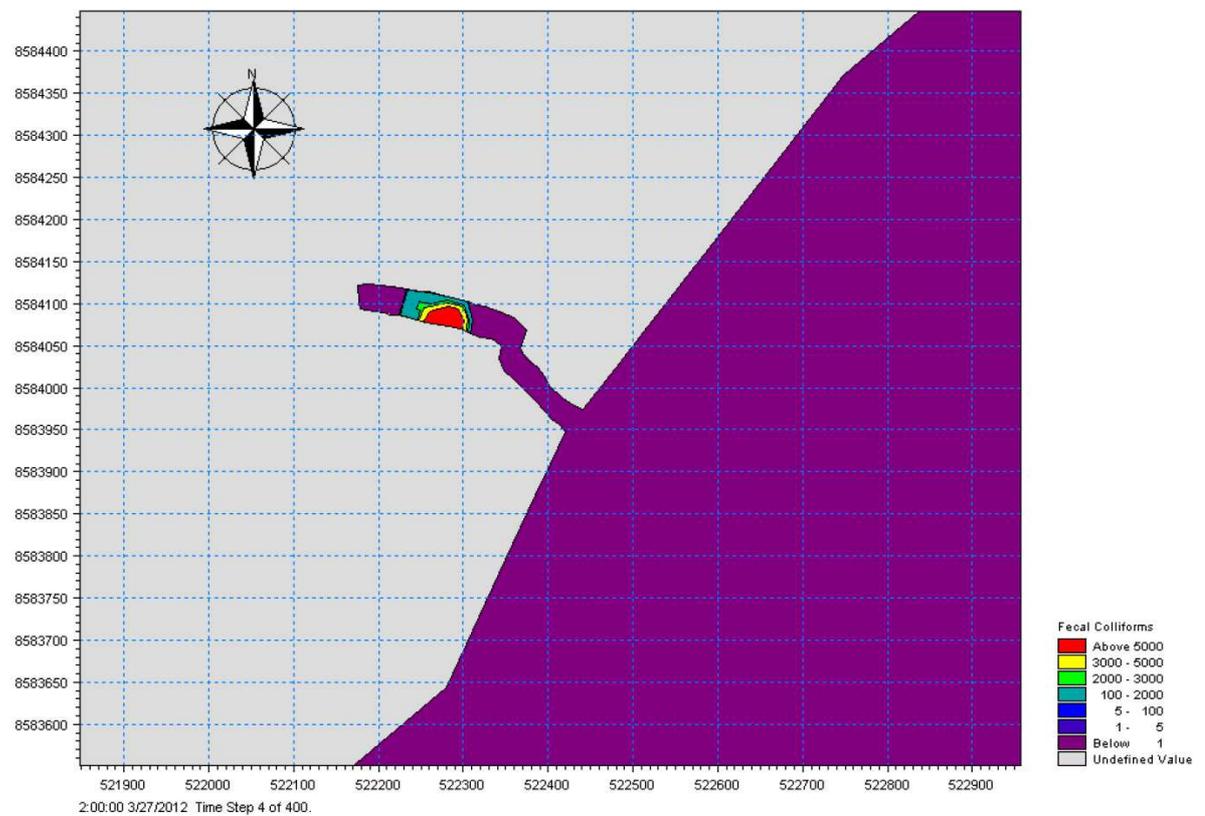


Figure 94 : Demi capacité + vent - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 104



**SCENARIO 3 - DEMI CAPACITE (35 000 HABITANTS) + VENT / SANS TRAITEMENT**

Figure 95 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration DBO5



Figure 96 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Matières en Suspension (MES)

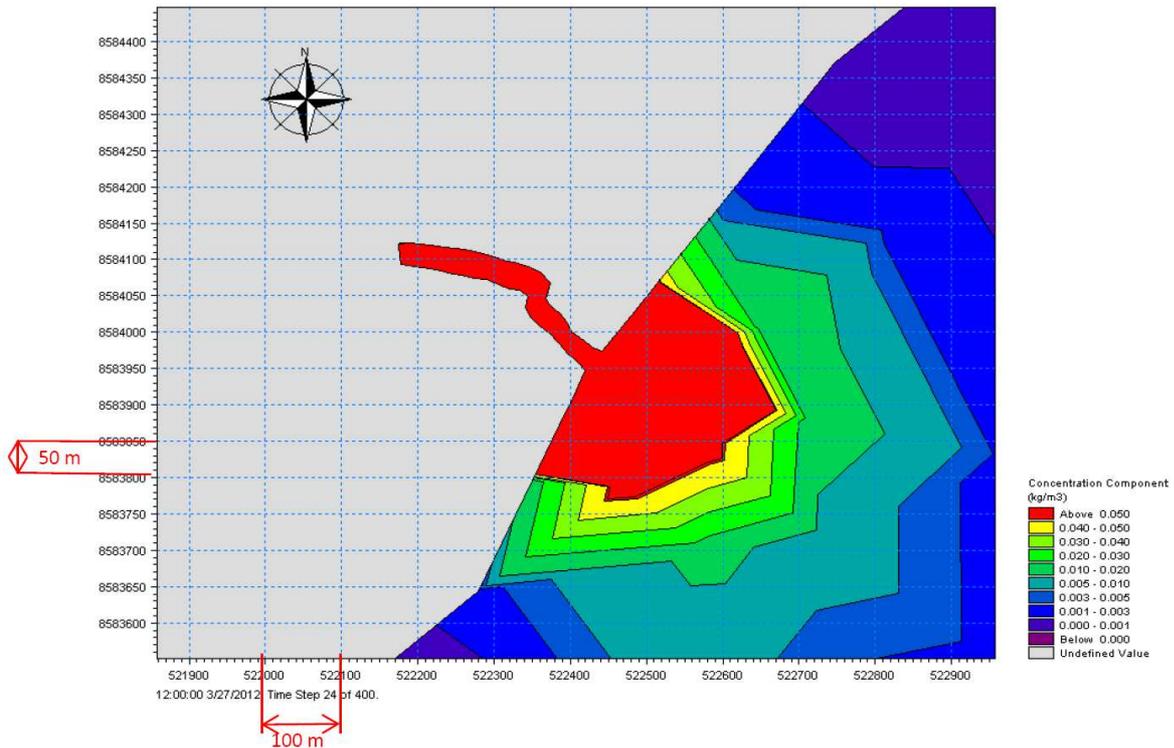


Figure 97 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration PT

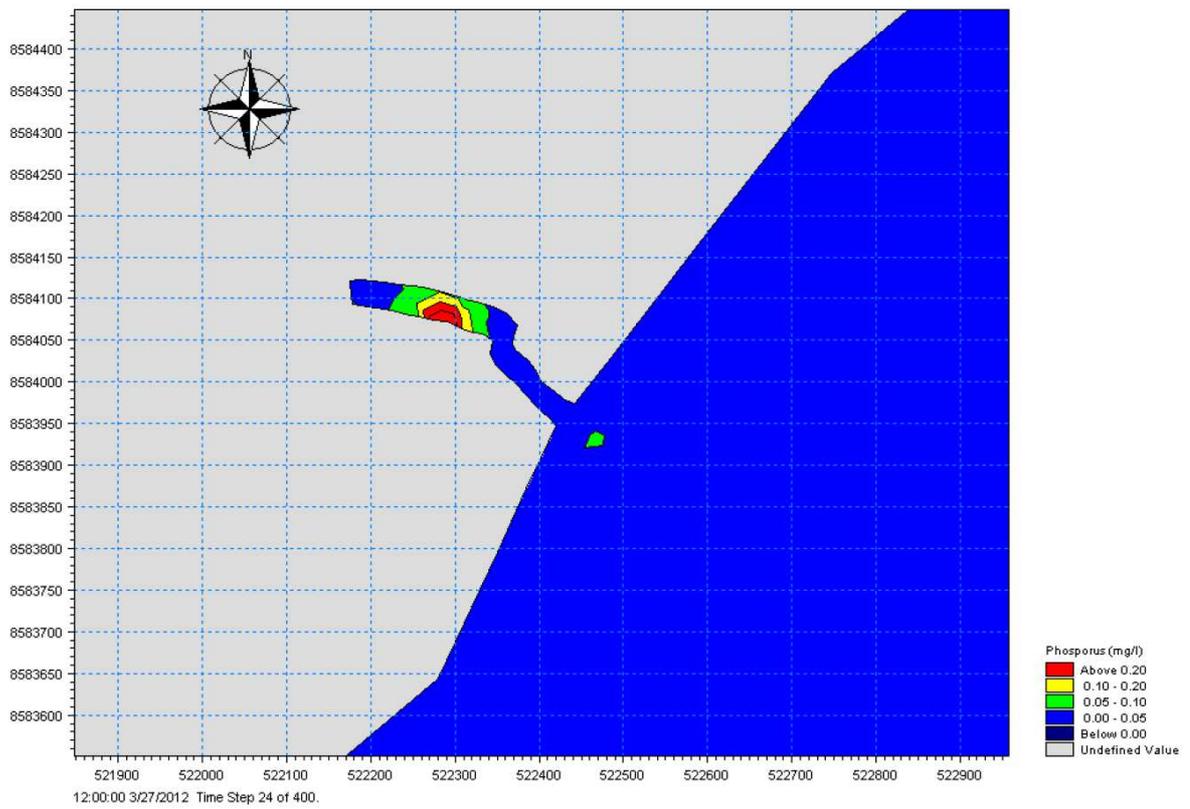


Figure 98 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration NGL

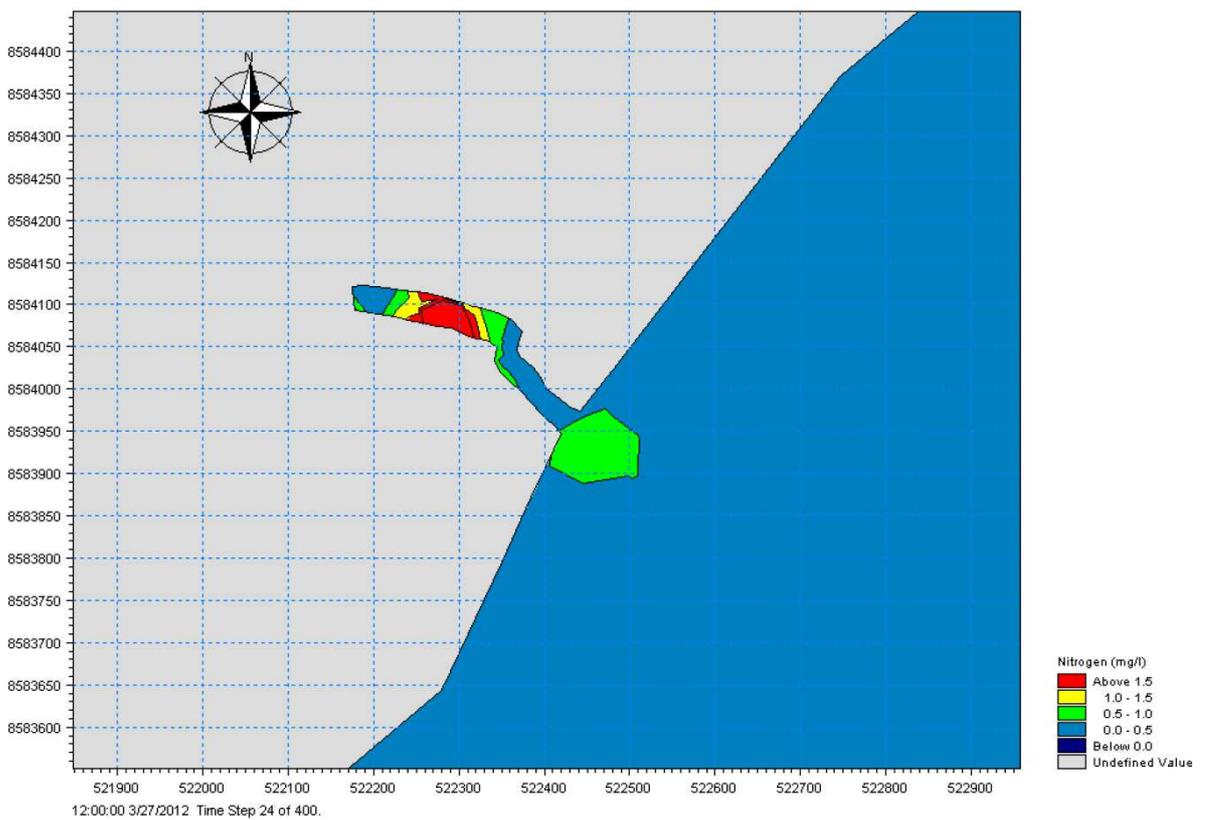


Figure 99 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 106

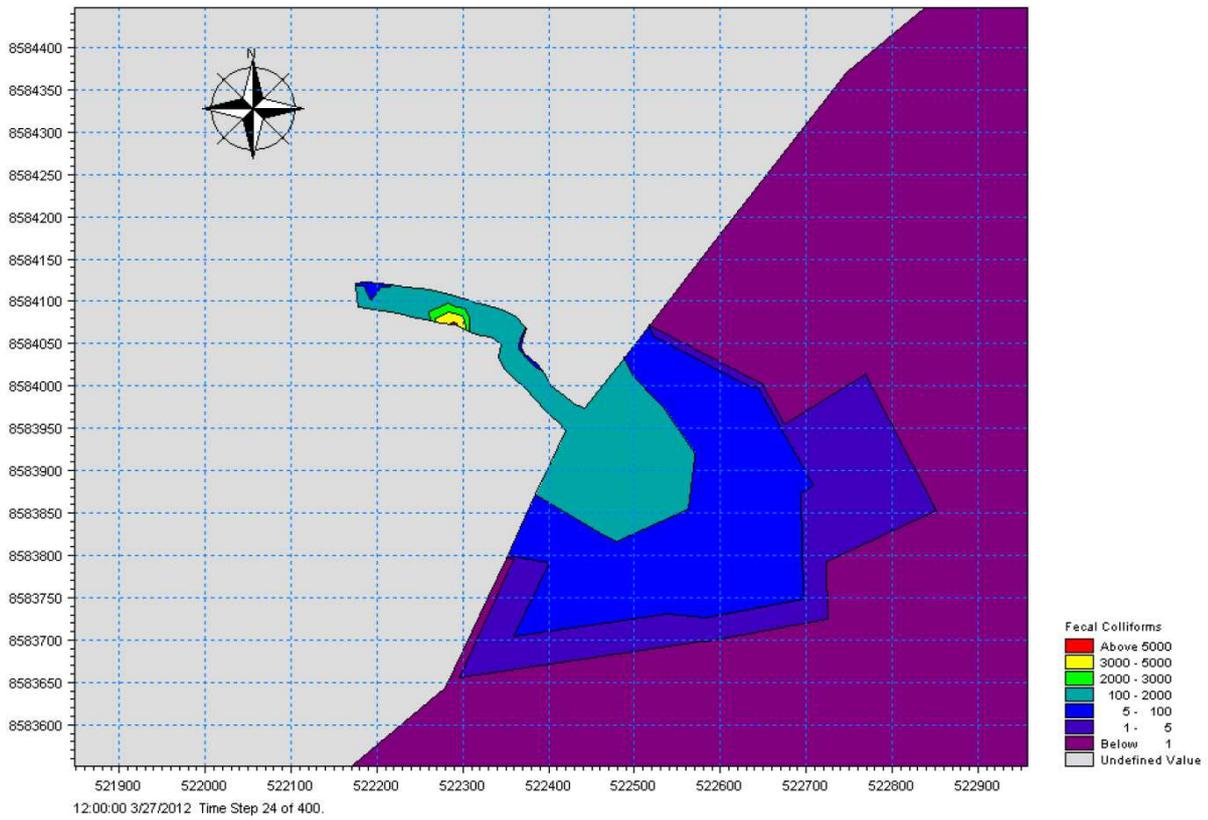


Figure 100 : Demi capacité + vent/ sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 12h - Rejet : 109

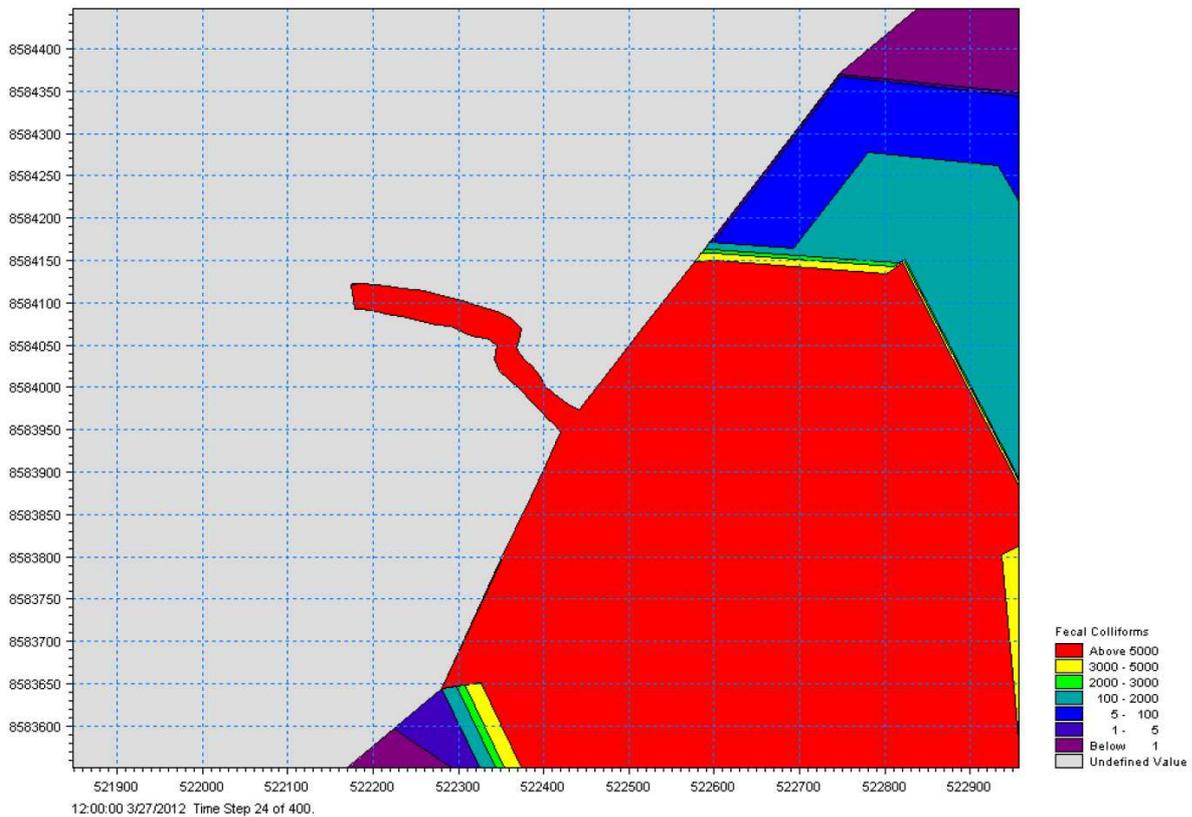


Figure 101 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 106

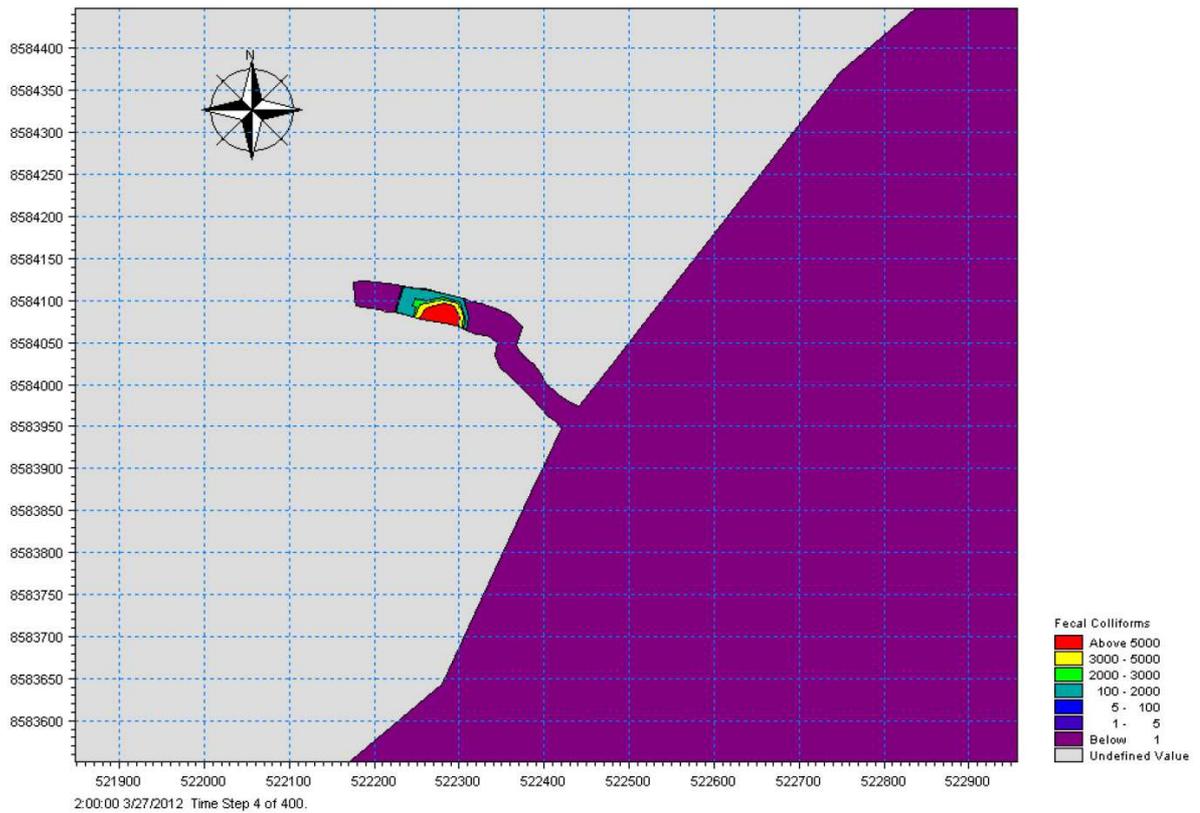
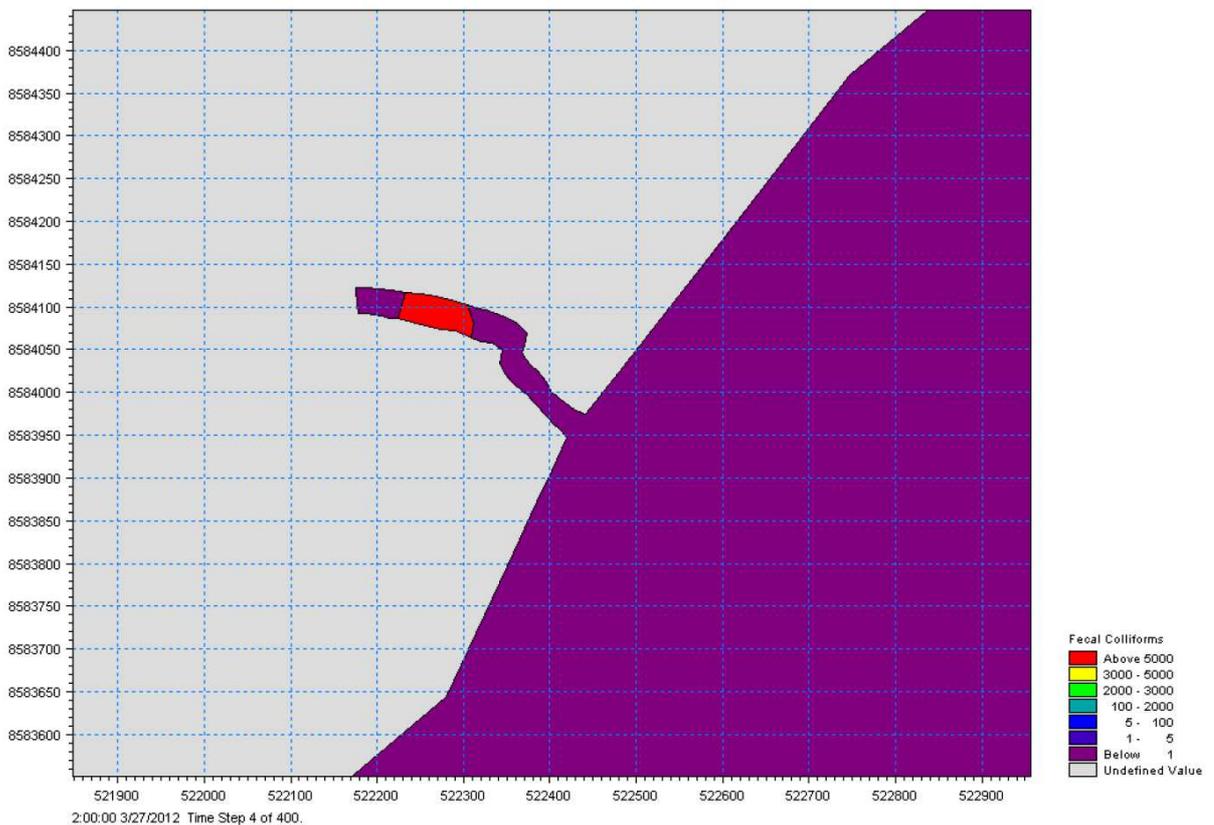


Figure 102 : Demi capacité + vent / sans traitement - Concentration Coliformes T90 : 2h - Rejet : 109



## CONCLUSION

Les résultats obtenus pour la saison humide sont assez proches de ceux observés lors de la période sèche. Ces résultats s'expliquent par la situation hydrodynamique qui se développe au niveau de l'estuaire de la Kwalé : situation d'abri associée à des vitesses faibles, favorables aux processus de dépôts et de sédimentation. Les grandes tendances observées dans les simulations précédentes se retrouvent donc dans les simulations réalisées pour la période humide. Les courants étant dotés d'une intensité supérieure et d'une orientation plus favorable, le processus d'accumulation sur la côte sud en aval de l'estuaire de la Kwalé est plus faiblement marqué pour l'ensemble des paramètres et induit des concentrations plus favorables.

Comme pour la saison sèche, un rejet doté d'une concentration en Coliformes Fécaux de  $10^4$  est dispersé rapidement et permet de garantir une concentration inférieure aux exigences pour les eaux de baignade. Dans cette configuration, un risque apparaît uniquement dans le cours aval de la Kwalé. En revanche, avec une concentration de  $10^6$ , toutes les configurations testées donnent des résultats défavorables et la norme des eaux de baignade est largement dépassée. Une accumulation se développe de nouveau en direction du sud, principalement sur l'estran et dans le domaine affecté par le marnage quotidien. Les résultats obtenus pour un T90 fixé à 2 heures démontrent que dans ces conditions exceptionnelles, mêmes les concentrations de  $10^9$  peuvent être éliminées rapidement par le milieu naturel avec une pollution uniquement dans le cours de la Kwalé. Cependant, cette configuration particulière n'est représentative que de quelques heures par jour et en aucun d'une situation moyenne journalière.

Une bonne indication de la dynamique est donnée par la distribution des teneurs en MES. Les figures présentent très clairement les secteurs dans lesquels s'accumulent les particules en suspension. La distribution des Coliformes suit cette dynamique. En cas de défaillance du traitement, le rejet peut polluer de manière très sensible, comme en période sèche, une surface de près d'un kilomètre carré avec une concentration en Coliformes Fécaux supérieure à 5000 germes / 100 ml.

### 6.3.2.5 Conclusion générale

Le Syndicat des Eaux de Mayotte envisage la réalisation d'un site de traitement des effluents domestiques pour la partie Sud de commune de Mamoudzou sur la côte Est de Mayotte, avec un rejet dans le secteur aval de la Kwalé, à proximité du hameau de Tsoundzou II. Afin de valider le projet vis à vis du milieu lagunaire, une modélisation hydrodynamique bidimensionnelle a été développée pour simuler les éventuels impacts sur la qualité des eaux et les conséquences associées sur les usages du milieu lagunaire et côtier.

Le modèle hydrodynamique 2D a été construit et validé à partir des données de terrain collectées par Hémisphère Sud en 2012. Le modèle a ensuite été utilisé pour simuler 3 scénarios pour chacune des deux saisons identifiées. Afin de s'assurer de la performance du dimensionnement de l'équipement de traitement et de son impact compatible avec les usages du lagon, différentes hypothèses – pleine capacité (70 000 eq habitants), demi capacité (35 000 eq habitants), Coliformes fécaux  $10^4$ ,  $10^6$  et  $10^9$  – ont été intégrées au modèle et évaluées pour des périodes définies comme pénalisantes (vent faible et faible coefficient de marée – soit 30% du temps).

Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- Le point de rejet se trouve dans le cours aval de la Kwalé. A basse mer, la Kwalé se déverse sur l'estran avant de rejoindre les eaux du lagon. Cette situation est pénalisante pour les rejets qui ont tendance à rester concentré. De même, le cours aval du cours d'eau est affecté par les rejets.
- Le secteur de l'estuaire de la Kwalé est caractérisé pour des courants de faible intensité qui favorise les processus de dépôts et de sédimentation, en particulier en direction du Sud.
- Le niveau de traitement permettant un rejet à  $10^4$  pour les Coliformes Fécaux est dans tous les cas rapidement dispersé dans le milieu. Ce niveau de traitement est compatible avec tous les usages du lagon et garantit un impact réduit sur les milieux naturels (cours d'eau et lagon). Néanmoins une attention particulière devra être portée au cours aval de la Kwalé et à son estuaire (suivi qualité des eaux).

- Les concentrations  $10e+06$  pour les Coliformes Fécaux induisent les pollutions chroniques et durables qui dépassent largement la norme définie pour les eaux de baignade sur un espace qui va au-delà de l'estuaire de la Kwale. Il convient de noter que la concentration initiale en Coliformes fécaux du milieu récepteur a été définie comme nulle. Il est vraisemblable que la Kwale peut connaître aujourd'hui des pollutions chroniques équivalentes à celles qui sont prises en compte dans les différentes hypothèses de dimensionnement de la structure de traitement.
- Les simulations réalisées avec  $10e+09$  pour les Coliformes Fécaux – situation de défaillance de la station de traitement - démontrent qu'une pollution importante peut affecter une surface supérieure à un kilomètre carré.

Dans l'hypothèse où le positionnement du point de rejet devait être remis en cause, afin d'obtenir des valeurs compatibles avec les usages du lagon, un exutoire pourrait être recherché au droit de l'estuaire de la Kwale et via un émissaire de manière à bénéficier des conditions hydrodynamiques qui se développent sur les fonds de 20 m. Dans ces conditions, une dispersion plus importante permettrait vraisemblablement la mise en place d'un effluent doté d'une concentration en Coliformes Fécaux portée à  $10e+06$ .

## 6.4 SYNTHÈSE DES IMPACTS ATTENDUS D'UN REJET EN RIVIÈRE

D'après le **calcul de la qualité des eaux en aval du futur rejet en différentes conditions saisonnières, de traitement et de capacité de la station**, le rejet des effluents de la future STEP de Mamoudzou Sud (cf. tableaux paragraphe 6.1.2.4) :

- entraînera une légère **amélioration de la qualité bactériologique** des eaux de la rivière par rapport à la situation actuelle que ce soit à l'étiage ou en saison humide. Les concentrations respectent malgré tout, quelque soit la filière de traitement, largement **supérieures aux normes sanitaires de baignade en vigueur** notamment en saison humide après un épisode pluvieux intense.
- sera à l'origine **d'une forte dégradation** de la qualité des eaux de rivière au regard des nutriments (cas des **matières azotées**) **en période d'étiage**, même à mi-capacité de station et quelque soit le traitement retenu, le cours d'eau est déclassé.
- entrainera en période d'étiage (notamment avec la filière boues activées) une légère augmentation des flux de matières organiques et oxydables déjà importants en situation actuelle, maintenant ainsi le cours d'eau dans une classe de qualité « médiocre ».
- ne modifiera pas de façon significative les concentrations en MES du cours d'eau qui reste classé en qualité moyenne aux deux saisons,
- n'apporte aucune modification significative à la qualité des eaux par rapport à la situation actuelle en conditions de saison humide ou d'épisode pluvieux intense.

La dilution est faible en rivière en période d'étiage du fait du faible débit de la Kwalé. **Les impacts du rejet d'effluent en rivière, quelque soit le traitement et les capacités envisagés, ne permettent pas de garantir des conditions physico-chimiques compatibles avec une classe « bon état écologique » du cours d'eau de la Kwalé telle qu'exigée par la DCE, ni à une qualité des eaux conforme aux normes de baignade.**

Il convient tout de même de préciser qu'actuellement les eaux usées sont rejetées pour la majorité d'entre elles (seules quelques petits unités de traitement mais faisant l'objet de dysfonctionnement pour la plupart) directement dans les milieux naturels et aboutissent, via notamment l'érosion et le ruissellement lors des épisodes pluvieux, dans les cours d'eau. La collecte des eaux usées des 6 villages concernés par le projet vise à améliorer l'assainissement des bassins versants et par conséquent la qualité du milieu récepteur. Les rejets directs seront supprimés (ou diminués), le rejet sera concentré en un point mais sera traité.

Le point de rejet envisagé en rivière est situé non loin de l'embouchure dans la mangrove et les impacts concerneront donc le secteur de la rivière aval au point de rejet mais également la mangrove et le lagon tout proches.

Une qualité du rejet quasiment similaire à celle estimée dans la rivière en aval du point de rejet est attendue au niveau de l'embouchure compte tenu de la faible distance entre les deux points. On peut au mieux s'attendre, en période des pluies en lien à une bonne oxygénation des eaux, à une légère dégradation des matières organiques (amélioration de la DCO et DBO<sub>5</sub>) sur cette distance.

Les effluents rejetés dans la rivière Kwalé débouchent ensuite dans la mangrove puis le lagon. La configuration du site avec l'existence d'un chenal qui canalise les eaux de rivière jusqu'en sortie de mangrove, n'est pas propice à la dispersion des eaux au sein de cet écosystème sauf en cas de forts coefficients de marée (côte supérieure à environ 2 m NGM soit 3,78 Côte Marine) où les eaux marines font déborder la rivière de son lit.

Le fonctionnement de la mangrove est tel que les échanges hydrauliques entre les différents compartiments de la mangrove sont limités (cf. figure 49). Selon les secteurs considérés, les formations de la mangrove ne seront ainsi atteints par les effluents :

- que très épisodiquement : mangrove interne de la rive gauche inondée en moyenne 4 jours par mois ;
- et/ou qu'après dilution dans l'eau de mer : mangrove interne en rive gauche au-delà du transect C et mangrove interne en rive droite.

Les mangroves externes situées au nord et au sud de l'embouchure seront les plus exposées aux effluents rejetés avec des variations toutefois selon la marée, la saison hydrologique, la courantologie locale ou encore les modalités de rejet.

Dans une telle configuration où les eaux ne séjournent pas dans la mangrove, on ne peut donc pas s'attendre à une amélioration significative de la qualité des effluents via la capacité d'autoépuration de cet écosystème. L'utilisation du pouvoir auto épurateur de la mangrove pour améliorer la qualité des rejets de station d'épuration est en effet une solution envisagée pour épurer des eaux usées domestiques et jouer le rôle de traitement final dans un système d'assainissement. Des études sont d'ailleurs en cours à Mayotte dans la mangrove de Malamani pour approfondir les connaissances sur le sujet.

Le potentiel épuratoire de la mangrove est lié aux différents compartiments de l'écosystème de ce milieu : la végétation, l'eau, le sédiment et la faune en particulier les populations de crabes. Ce système permet un traitement primaire des eaux chargées essentiellement en matière organique et nutriments. Les eaux usées sont au moins en partie absorbées par la végétation de mangrove (palétuviers), le sédiment est le véritable siège des réactions biogéochimiques de nitrification, dénitrification, décomposition de la matière organique par la présence de microorganismes et les crabes, par leur activité de bioturbation, ont un rôle essentiel dans le développement de ces processus.

Ecosystème complexe, caractérisé par une forte dynamique et une productivité primaire élevée, la mangrove est ainsi capable d'accepter un apport excédentaire, sans provoquer de déséquilibre biologique ni de rupture fonctionnelle. Il a été montré que les mangroves sont plus aptes à recevoir des enrichissements organiques que les autres écosystèmes aquatiques, comme les rivières, les eaux estuariennes et les lagons qui peuvent souffrir d'eutrophisation en réponse à un excès de nutriments<sup>23</sup>.

La mangrove est un habitat « moins vulnérable » aux effluents dans la mesure où le traitement est suffisamment poussé. La quantité de MES, dans les proportions de celle apportée par le rejet (quelque soit le traitement), n'est pas limitante pour le milieu car une augmentation de la sédimentation n'est pas néfaste, au contraire, pour la végétation de la mangrove. Les quantités apportées restent minimales au regard des apports naturels (en saison des pluies).

Aucun impact négatif n'est donc attendu à court terme sur la mangrove de Tsoundzou 1 ni sur la végétation ni sur la faune. La végétation pourrait même bénéficier d'une certaine façon de l'apport de nutriments (développement de certaines espèces de palétuviers et de leur système racinaire) et d'un léger accroissement de la sédimentation. Les spécificités du fonctionnement hydraulique et l'écoulement canalisé des eaux de rivière au sein de la mangrove de Tsoundzou limitent cependant fortement les potentialités d'utilisation des nutriments des effluents puisque ces derniers ne sont que peu dispersés au sein de la mangrove.

Il convient toutefois de souligner les risques associés à un enrichissement excessif notamment en azote qui pourrait alors entraîner des perturbations de l'écosystème notamment des populations de crabes. La valeur maximale en azote préconisée dans la mangrove serait de 20 tonnes par an.

Les valeurs d'azote global du rejet de la station de Mamoudzou Sud pleine capacité quelque soit la filière ou la capacité de la station dépassent cette valeur.

<sup>23</sup> Herteman Mélanie, 2010. Evaluation des capacités bioremédiatrices d'une mangrove impactée par des eaux usées domestiques. Application au site pilote de Malamani, Mayotte. Thèse de l'Université de Toulouse.

Photo 30 : Configuration de l'embouchure de la Kwalé et de son écoulement à travers la mangrove jusqu'au lagon



Source : BRLI, Juillet, 2012

De plus, même si les mangroves apparaissent comme le milieu le moins inapproprié pour les rejets d'eaux usées traitées, compte-tenu de leur potentiel épuratoire<sup>24</sup>, il conviendrait de connaître les niveaux de rejet acceptables par cet écosystème et les effets à long terme. Les impacts attendus du rejet sur la mangrove ont en effet été évalués sur la base de retour d'expérience à court terme alors que peu de connaissances existent sur les effets à long terme d'un apport continu d'effluents dans la mangrove. Il convient par conséquent de rester prudent sur les évolutions possibles de l'écosystème. Les capacités d'autoépuration sont de plus différentes selon les caractéristiques de la mangrove (fréquence d'exondation...) et au sein des différents faciès de végétation et habitats de la mangrove. De plus, de trop fortes concentrations en MES et nutriments peuvent en effet être à l'origine de dégradation et de perturbations des populations de cet habitat.

Les premiers résultats d'études sur l'épuration des eaux résiduaires urbaines par la mangrove de Malamani montrent en effet que l'apport des eaux usées engendre des modifications à relativement court terme dans l'assemblage des communautés de crabes, induit une accumulation de phosphore en profondeur et une infiltration de nitrate dans l'eau de nappe ainsi qu'une asphyxie et une certaine dystrophie de la mangrove après 3 à 4 ans d'exploitation<sup>25</sup>.

Les caractéristiques hydrodynamiques au droit de l'embouchure de la Kwalé ne sont pas propices à une importante dispersion des effluents car les courants sont faibles au droit de l'embouchure et sur l'estran. Cette situation favorise les processus de dépôt et de sédimentation sur l'estran et dans le domaine affecté par le marnage quotidien, en particulier vers le Sud.

Les résultats de modélisation du panache d'effluents montrent ainsi des concentrations parfois importantes sur l'estran face à l'embouchure de la Kwalé notamment en saison froide où le phénomène est plus marqué. En saison chaude, les zones de plus fortes concentrations au droit de l'embouchure sont plus réduites car les courants d'intensités supérieures sont plus favorables à la dispersion.

Ces résultats montrent une dispersion du panache qui s'étend vers le large face à l'embouchure et majoritairement vers le Sud. Les peuplements présents au droit de l'embouchure (les récifs mais aussi l'endofaune des fonds vaseux de l'estran ou encore la phanérogame marine *Halophila ovalis*) sont particulièrement bien adaptés aux conditions d'euryhalinité des eaux et d'enrichissement en matière organique et sédiments (comm. pers. B. Thomassin). Les eaux sortant de la Kwalé vont s'étaler en surface sur toute la largeur de l'estran vaseux, en limite du récif frangeant et les apports de la STEP auront donc sans aucun doute peu d'influence sur la vitalité corallienne du secteur.

<sup>24</sup> Document de travail Plan de Gestion du Parc naturel marin de Mayotte – Chapitre IV Qualité de l'eau

<sup>25</sup> Document de travail Plan de Gestion du Parc naturel marin de Mayotte – Chapitre IV Qualité de l'eau

Le panache des eaux saumâtres issues de la Kwalé pourra cependant atteindre les patchs d'herbiers du platier et une grande partie des récifs frangeants de Tsoundzou où un pinacle de forte vitalité a notamment été identifié à 500 m face à l'embouchure de la Kwalé.

Malgré les capacités de résistance et d'adaptation de certains coraux et l'exposition fréquente du récif à des épisodes de dessalure et de forte turbidité au droit de l'embouchure de la Kwalé à l'heure actuelle, une augmentation de la productivité primaire (développement du turf algal et de la phanérogame *H. Ovalis* notamment) et un développement des cyanobactéries pourront se produire dans la zone sous emprise du rejet, du fait des apports de nutriments. L'envahissement par les algues benthiques peut à terme et dans un cas extrême, affecter le recrutement, la nutrition et la croissance des peuplements coralliens. La pression des poissons herbivores, dominant dans les peuplements, devrait cependant permettre de limiter la prolifération algale et limiter ainsi les impacts du rejet sur les récifs.

Les impacts attendus en cas de positionnement du point de rejet de la futur STEP à l'embouchure de la rivière (en entrée de mangrove), en limite externe de mangrove ou par émissaire en mer sont évoqués à titre comparatif dans les paragraphes suivants.

## 7. Synthèse et préconisations pour le rejet

### 7.1 REJET EN RIVIERE - ACCEPTABILITE ET MODALITES

#### 7.1.1 Acceptabilité

A l'issue des résultats de cette étude, il s'avère que le rejet direct en cours d'eau des effluents traités de la future STEP de Mamoudzou Sud (et en particulier l'apport en éléments azotés associés) est a priori **défavorable en période d'étiage vis-à-vis des usages et de la qualité écologique de la rivière Kwalé, et ce quelque soit la filière de traitement envisagée.**

Bien que la qualité bactériologique attendue dans le cours d'eau en aval du rejet soit un peu améliorée, aucun des deux traitements étudiés ne permet en effet de satisfaire aux normes bactériologiques de baignade, même à mi-capacité. De plus, en période d'étiage, la qualité du cours d'eau est fortement dégradée vis-à-vis des nutriments par rapport à la situation avant rejet et la capacité de traitement de la station.

Un rejet en rivière n'est donc **acceptable que si certaines modalités de rejet sont mises en place** afin de minimiser les impacts sanitaires et écologiques (cf. paragraphe suivant).

#### 7.1.2 Modalités de rejet : phasage en plusieurs tranches, gestion dans le temps du rejet et évolutivité du point de rejet

Les réflexions et analyses menées sur la dispersion attendue des effluents dans la rivière au vu du fonctionnement hydrologique du secteur sont présentées ci-après. Elles ont permis d'émettre un certain nombre de recommandations sur la modalités préférentielles de rejet en rivière qui seront ensuite intégrées dans les propositions finales.

##### 7.1.2.1 Détermination d'un point de rejet de moindre impact sur la Kwalé

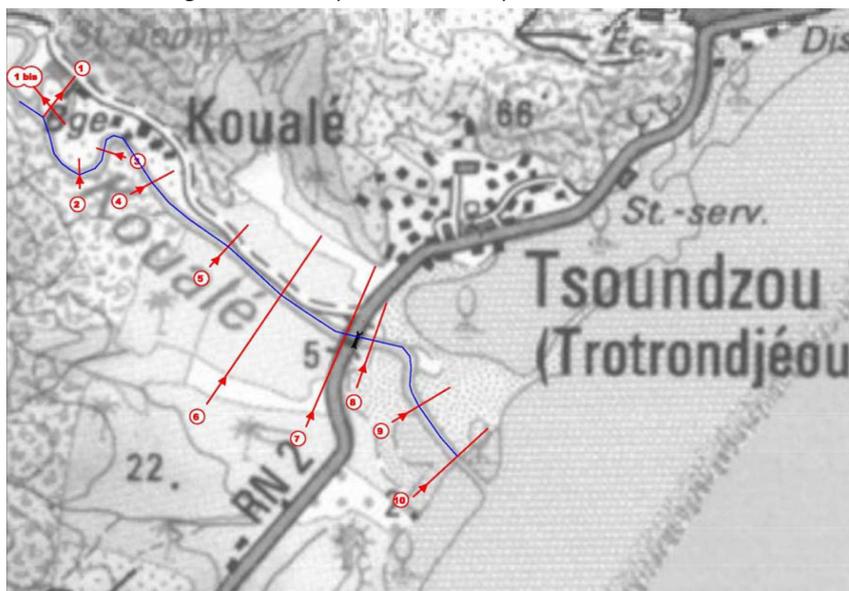
L'objectif du présent chapitre est de définir les temps de séjour et les risques de stagnation des effluents dans certaines portions du cours d'eau risquant d'altérer le fonctionnement de l'hydrosystème.

Pour se faire, les données topographiques produites dans le cadre des études visant à définir le dimensionnement des ouvrages de la déviation de la RN2 prévue au droit du village de Tsoundzou (pont de la Kwalé) ont été exploitées pour la caractérisation physique du cours d'eau<sup>26</sup>.

Dix profils en travers ont été levés afin de caractériser le lit mineur et le champ d'inondation de la Kwalé. La position des profils est présenté ci-après.

<sup>26</sup> EGIS-eau. Juin 2008. Pont de la Kwalé. Etude hydraulique complémentaire. Rapport définitif.

Figure 103 : Implantation des profils en travers

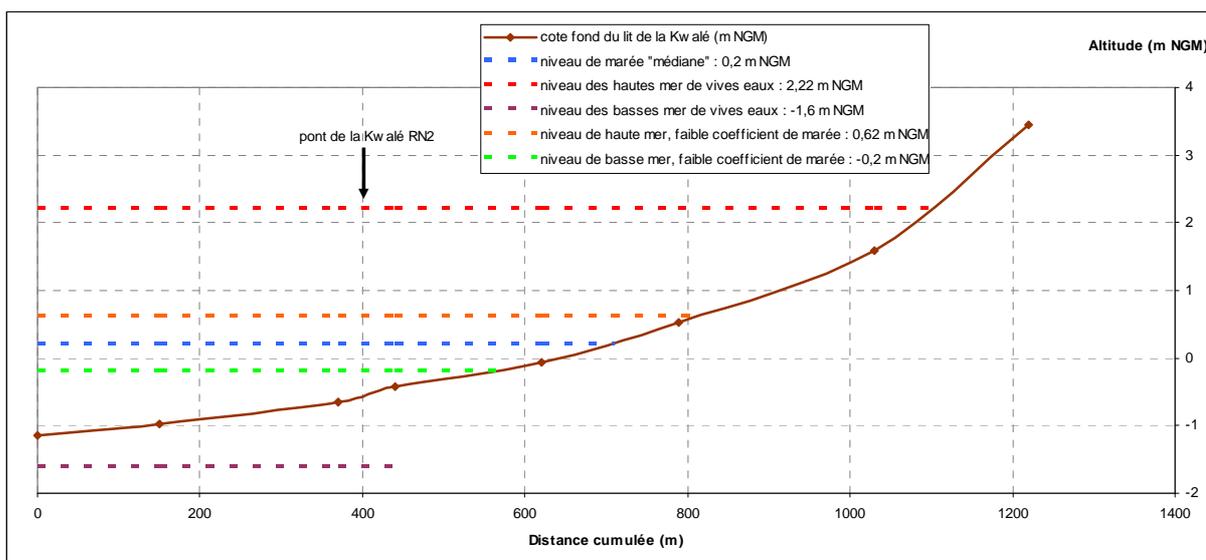


Source : Etude hydraulique complémentaire – Pont de la Kwalé. Egis eau, 2008.

A partir des données topographiques, un profil en long de la rivière Kwalé (cote du fond du lit à chaque profil), sur lequel sont positionnés les niveaux théoriques des conditions de marées suivantes :

- Le niveau de marée « médiane » : 0,2 m NGM ;
- Le niveau de basse mer pour les faibles coefficient de marée : -0,2 m NGM ;
- Le niveau de haute mer pour les faibles coefficient de marée : 0,62 m NGM ;
- Le niveau des basses mer de vives eaux : -1,6 m NGM ;
- Le niveau des hautes mer de vives eaux : 2,22 m NGM.

Figure 104 : Profil en travers de la Kwalé et niveaux des marées théoriques



## ANALYSE DE L'INFLUENCE MARITIME SUR LA DIFFUSION DU REJET EN RIVIERE

De par la configuration physique du cours d'eau, pour des débits de Kwalé hors crue et pour différents niveaux de la marée, on peut tirer les enseignements suivants :

- Pour les forts coefficients de marée et quelque soit le point de rejet en cours d'eau :
  - ▶ Les eaux traitées par la station d'épuration seront transférées rapidement dans le milieu marin lors du jusant.
  - ▶ Lors du flot, les volumes d'eau des effluents risquent de constituer un « bouchon chimique » qui remontera jusqu'au niveau maximum d'influence de la marée (environ 700 m en amont du pont de la RN2). Les effluents stagneront quelques heures sur ce secteur du cours d'eau, le temps de l'inversement de la marée.
- Pour les faibles coefficients de marée :
  - ▶ Pour un point de rejet en dehors de la zone d'influence marine :
    - Lors du jusant, les effluents seront déplacés sur le cours aval de la Kwalé jusqu'à une centaine de mètres en amont du pont de la RN 2 mais ne pourront rejoindre le milieu marin en raison d'un niveau de marée en basse eau trop élevé créant un « bouchon chimique » ;
    - Lors du flot, l'effluent risque de constituer un « bouchon chimique » qui remontera jusqu'à 400 m en amont du pont de la RN2.

La configuration d'un point de rejet en dehors de la zone d'influence marine est la plus défavorable en raison d'une stagnation des effluents de station d'épuration dans la Kwalé lors des marées de faibles coefficients altérant fortement la qualité physico-chimique de ce secteur.
  - ▶ Pour un point de rejet dans la zone d'influence marine : il est proposé ici d'étudier l'impact d'un rejet 200 m en aval du pont de la RN 2.
    - Lors du jusant, la poussée provoquée par les eaux du chenal stockées en amont du point du rejet lors de la phase de flot permet de transférer les effluents dans le milieu marin avec un risque quasi nul de stagnation dans la Kwalé ;
    - Lors du flot, similairement au fort coefficient, l'effluent risque de constituer un « bouchon chimique » qui remontera jusqu'à 400 m en amont du pont de la RN2.

## SYNTHESE

La configuration optimale pour un rejet en cours d'eau est donc :

- Pour un point de rejet dans la zone d'influence marine : il est proposé ici un rejet à environ 200 m en aval du pont de la RN2. Ce positionnement permet de profiter des eaux stockées dans le chenal de la Kwalé lors du flot, même lors de marées à faibles coefficients, afin qu'elles agissent comme un « piston » visant à évacuer le rejet dans le milieu marin avec un faible temps de séjour et impact sur le cours d'eau.
- Entre le site présumé de la STEP et le point de rejet proposé, la mangrove est dans ce secteur en mauvais état en raison du pâturage et de la coupe de bois : l'enjeu écologique de ce secteur reste modéré à faible (voir carte ci-après) vis-à-vis de la phase travaux.
- Une absence de rejet en phase de flot en raison du risque de formation d'un « bouchon chimique » et d'une stagnation des eaux traitées dans un secteur de la Kwalé. **Le rejet doit se faire uniquement en phase de jusant ;**
- Il peut être ainsi proposé un créneau de 3 à 4 heures pendant lequel s'effectue le rejet : 1h après l'étalement de pleine mer et arrêt du rejet 1 h avant l'étalement de basse mer.

**Une canalisation d'une longueur de 350-400 m environ (sous réserve des contraintes foncières) est nécessaire pour atteindre, depuis le site de la STEP envisagé, le point de rejet souhaité en rivière. Ce tracé permet en outre d'éviter des travaux dans une zone de mangrove en bon état de conservation ou en phase de régénération.**

Carte 1 : Localisation du point de rejet préconisé 200 m en aval du pont de la Kwalé



Source : Brl sur fond de carte O. SOUMILLE - ESPACES

### 7.1.2.2 Modalités de rejet préconisées en phase 1

Pour un rejet en rivière, les modalités suivantes sont préconisées :

- **Phasage en terme de construction** : évolutivité de la capacité de la station avec à minima 2 voire 3 phases dans la construction (par exemple une phase 1 de 35 000 Ehm puis une phase 2 de 70 000 Ehm tel qu'envisagé dans ce dossier ou encore une première phase de capacité de 10-15 000 Ehm qui semble plus cohérente avec la réalité des contraintes locales et le souci d'une rapide opérationnalité de l'ouvrage)
- **Traitement poussé** pour limiter les apports en nutriments, matière organique et bactéries.

L'impact du type de filière de traitement des effluents est faible. L'impact le plus important est sur la matière organique qui dégrade la qualité tout en restant sur une qualité médiocre à l'étiage.

Les eaux ne seront malgré tout pas conformes à la baignade et enrichies en azote même à mi-capacité et il conviendra par conséquent de prendre des dispositions supplémentaires en vue de limiter les risques sanitaires pour les populations et la dégradation du milieu.

L'interdiction de la baignade et autres usages domestiques (lavage de la vaisselle) en aval du point de rejet apparaissent comme des dispositions difficilement applicables compte tenu des habitudes coutumières des populations locales dont les usages domestiques sont fortement associés aux cours d'eau.

Il est également nécessaire de :

- **Maximiser la dilution des effluents par les eaux du lagon remontant dans la Kwalé.** Le secteur aval de la Kwalé étant en effet sous large influence des marées, l'utilisation de ce potentiel de dilution supplémentaire des effluents apparaît comme la solution préférentielle pour minimiser les impacts environnementaux d'un rejet direct dans le cours d'eau.

Il est par conséquent préconisé de **rejeter les effluents à marée descendante**, durant un créneau horaire de **3-4 heures, entre 1h après l'étape de pleine mer et 1 h avant l'étape de basse mer** (en adéquation avec les préconisations de M. B. Thomassin : entre 2H et 4h après la pleine mer). Cette solution n'est possible qu'avec la mise en place d'un bassin tampon de stockage des effluents (tel que préconisé par ENTECH dans son étude préliminaire) vers lequel ces derniers seront redirigés en sortie de station, avant leur rejet en rivière au jusant. Le dimensionnement du bassin proposé par ENTECH prend en compte un débit journalier de 14 000 m<sup>3</sup>/j correspondant à 16h de débit moyen temps sec et 8h de débit de pointe temps de pluie.

Cette gestion temporelle des rejets au regard du cycle de marée permet :

- ▶ de limiter le temps de séjour des effluents dans la rivière,
- ▶ de maximiser la dilution des effluents en rivière (notamment à l'étiage et lors de mortes eaux) et par conséquent par la suite en mangrove et en mer,
- ▶ en évitant tout rejet à marée basse, de minimiser les impacts sur les récifs coralliens et les peuplements associés (cf. résultats de l'étude de la matière vivante du lagon - ISIRUS 2012). De telles modalités rendraient ainsi acceptable le rejet en rivière pour le milieu récifal. Un impact modéré serait observé, avec un développement des peuplements algaux limités par la pression des poissons herbivores.

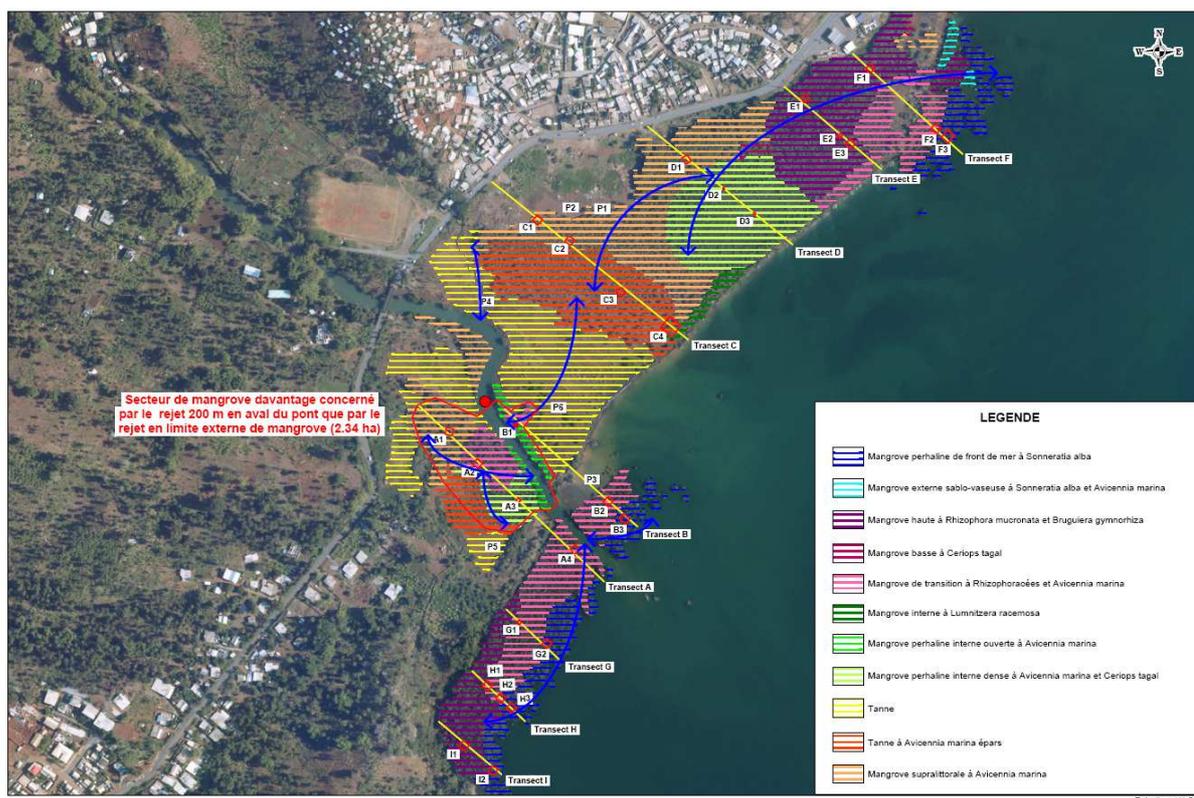
### ■ Rejeter en aval du pont de la RN2

Pour les raisons exposées au paragraphe 7.1.2.1, le rejet est préconisé non pas directement au droit de la station mais à **200 m en aval du pont de la RN2**, dans le secteur de mangrove. L'analyse des mouvements des eaux selon la marée présentée précédemment montre en effet un risque de stagnation des eaux lors des faibles coefficients de marée qui sera évité avec un tel rejet plus en aval.

L'objectif n'est pas ici d'optimiser la dispersion des effluents au sein de la mangrove pour une meilleure utilisation des nutriments et autoépuration par cette dernière (comme pour le projet de la future STEP Centre par exemple) car la configuration de la mangrove de Tsoundzou n'est pas propice à cela. Ce rejet en aval du pont **permet en revanche d'assurer l'évacuation des eaux rejetées avec la marée même pour de faibles coefficients.**

Un rejet en ce point de la rivière n'affectera de plus pas davantage la mangrove et le lagon qu'un rejet plus en amont en rivière, du fait de la configuration locale de l'embouchure de la rivière (en particulier la canalisation du lit et la compartimentation du fonctionnement hydraulique de la mangrove), mais permettra de réduire significativement les impacts sur la rivière (minimisation des impacts sur les usages de baignade, autres usages domestiques et espèces aquatiques). Du fait des remontées maritimes, on ne s'affranchit cependant pas de toutes incidences sur la rivière en amont du pont mais la dilution/dispersion est optimisée.

Les eaux de la kwalé suivent le chenal à travers la mangrove et se rejettent quasiment directement dans le lagon. Comme expliqué au paragraphe 6.2.2 relatif aux impacts du rejet sur la mangrove, les échanges hydrauliques entre les différents compartiments de la mangrove et entre ces derniers et les eaux de la Kwalé, sont limités et seuls certains secteurs de mangrove sont potentiellement exposés aux effluents dans certaines conditions de marée. Le secteur le plus exposé en cas de rejet 200 m en aval du pont est un petit secteur en rive droite de la Kwalé (cf. carte suivante) qui pourrait être en contact avec les effluents mais principalement à marée montante lorsque les eaux de la rivière refluent vers le pont et uniquement lors des gros coefficients de marée (côte supérieure à 3.6 m CM soit 1,82 m NGM). L'impact sur la mangrove est donc négligeable les effluents étant préalablement dilués dans la rivière et dans les eaux lagonaires et du fait de l'exposition épisodique.



Source : O. SOUMILLE - ESPACES

Un rejet en rivière ne peut ainsi s'envisager qu'en combinant un **traitement poussé avec un point de rejet suffisamment en aval pour assurer l'évacuation des effluents quelque soit les conditions de marée et avec l'utilisation de l'hydrodynamisme lié aux mouvements des marées** afin de ne rejeter les effluents que dans une masse d'eau importante ayant la capacité de diluer et de transférer rapidement le flux dans le lagon (« effet chasse d'eau »).

Dans un premier temps (première phase de travaux), le rejet peut être envisagé au point de rejet proposé à 200 m en aval de l'embouchure et dans le respect des autres modalités préconisées ci-avant. Le suivi environnemental de la qualité de la rivière déterminera s'il convient d'envisager un autre point de rejet pour la montée en charge de la station (phases ultérieures).

### 7.1.2.3 Autres alternatives de points de rejet en phases ultérieures

Au vu des résultats du suivi de qualité des milieux récepteurs qui sera mis en place dès le démarrage de la station et dans l'optique d'assurer un moindre impact environnemental, il convient d'envisager, si cela s'avère pertinent, l'évolutivité du point de rejet en phases ultérieures. Deux possibilités sont étudiées et argumentées ci-après.

#### REJET PAR EMISSAIRE EN SORTIE DE MANGROVE

Une solution de rejet plus en aval en sortie de mangrove (en extrémité du chenal de la Kwalé) pourrait être envisagée au vu des résultats du suivi de qualité des milieux et de la montée en puissance de la station.

On peut cependant s'attendre à un impact environnemental peu différent sur la mangrove et le lagon d'un rejet par émissaire en limite externe de la mangrove comparativement à un rejet 200 m en aval du pont de la Kwalé, du fait de la canalisation des eaux de rivière à travers la mangrove et du fonctionnement hydraulique local compartimenté. Les eaux de la Kwalé suivent le chenal à travers la mangrove et se rejettent quasiment directement dans le lagon.

A marée descendante, on observera une dilution et une dispersion des effluents dans les eaux côtières selon les courants alors qu'à marée montante les eaux seront dispersées selon l'importance du coefficient de marée dans les secteurs Sud de la mangrove (rive droite)(cf. paragraphes précédents et 6.2.2). Les impacts sur les eaux de rivière d'un rejet au jusant seront très limités au vu de l'importante dilution des effluents en mer avant une remontée éventuelle au flot dans le secteur aval de la rivière.

Cette solution nécessite de plus la mise en place d'un long émissaire au sein de la mangrove notamment à travers des secteurs en bon état écologique. La capacité de régénération de la végétation impactée par les travaux de mise en place de l'émissaire devra alors être étudiée. Certaines espèces telles les Rhizophora repoussent bien après dégradation (comm. per. O. SOUMILLE), mais les retours d'expérience sont encore peu nombreux pour la plupart des autres espèces.

Il convient de plus dans ce cas de voir dans quelle mesure la réalisation d'une conduite à travers la mangrove est techniquement envisageable et économiquement viable. Cette solution présente en effet des contraintes techniques de mise en place de l'émissaire au vu de l'instabilité des sols de mangrove (sols meubles, mouvements de terrain dans le secteur de l'embouchure de la Kwalé, dynamique des marées ...). Tout comme pour la mangrove de Malamani, une conduite aérienne pourrait être envisagée ou encore une conduite suivant le chenal de la rivière au sein de la mangrove (absence de végétation...) mais la problématique d'érosion est importante au sein du lit de la rivière. Ces éléments techniques seront définis dans l'étude de définition de la STEP à venir.

Le bénéfice environnemental d'une telle solution semble minime au regard des contraintes techniques et économiques associées. Cette solution de rejet devra être étudiée plus en détail en tant voulu si le rejet plus en aval mis en place en phase 1 ne s'avère plus adéquat pour la montée en puissance de la station.

### **REJET PAR EMISSAIRE EN MER**

Enfin, en dernier recours, selon les résultats de suivi de qualité des milieux récepteurs, la solution de rejet par émissaire en mer au-delà de l'estran vers des fonds de 20 m où l'hydrodynamisme est plus important permettrait une dilution optimale des effluents, l'absence d'impact sur la Kwalé et une minimisation des effets sur les récifs de Tzsoundzou. Il convient cependant de surveiller les éventuels impacts sur le littoral autour de l'îlot Mbouzi tout proche, classé réserve naturelle.

### **REJET DANS LE DPM ET REGLEMENTATION EN VIGUEUR**

A noter que l'article 10 de l'arrêté du 22 juin 2007 stipule que : « Les rejets des effluents traités des stations d'épuration effectués sur le Domaine Public Maritime doivent l'être au-dessous de la laisse de basse<sup>27</sup> mer ».

La solution de rejet en mangrove ou en mer, c'est-à-dire au sein du DPM, soulève donc le problème de la conformité au regard de cette réglementation. Il conviendra de s'assurer de l'obtention des autorisations nécessaires auprès des services concernés (DEAL, Parc Marin de Mayotte...) (réalisation si nécessaire d'un dossier d'autorisation d'occupation du Domaine Public Maritime en parallèle au dossier loi sur l'eau...).

## **7.2 NOTION DE ZONE DE REJET VEGETALISEE**

En dernier lieu, il convient de mentionner la solution de zone de rejet végétalisée qui serait citée comme solution potentielle pour le rejet d'effluents traités de STEP notamment dans le cadre de la doctrine d'assainissement de Mayotte en cours de validation (com. pers. DEAL Mayotte).

<sup>27</sup> laisse de basse mer : limite des zones toujours couvertes par la mer quelle que soit la marée, en l'absence de phénomènes météo-océanographiques exceptionnels (limite basse de l'estran)

Une telle solution n'est cependant envisageable que dans certaines conditions notamment de perméabilité des sols (l'infiltration n'est pas envisageable pour des perméabilités supérieures à  $4 \cdot 10^3$  m/s et inférieures à  $10^{-6}$  m/s), de pente, de niveau des nappes... Ces systèmes exigent notamment <sup>28</sup> :

- un sol présentant une aptitude satisfaisante à l'infiltration ;
- une bonne connaissance du comportement de la nappe ;
- la prise en considération des ressources en eau souterraines, dont la qualité ne peut être altérée ;
- une épaisseur de sol non saturé en eau entre la sortie du système d'infiltration et la nappe ou la roche sous-jacente d'au moins 100 cm afin de permettre au sol de jouer son rôle de filtre ;
- une surface disponible suffisante pour implanter le système ;
- une mise en œuvre soignée afin d'assurer une bonne répartition de l'eau à infiltrer.

L'arrêté du 22 juin 2007 précise que l'aptitude des sols à l'infiltration, dans le cas où les effluents traités seraient infiltrés, est établie par une étude hydrogéologique jointe au dossier de déclaration ou de demande d'autorisation et qui détermine :

- l'impact de l'infiltration sur les eaux souterraines (notamment par réalisation d'essais de traçage des écoulements) ;
- le dimensionnement et les caractéristiques du dispositif de traitement avant infiltration et du dispositif d'infiltration à mettre en place ;
- les mesures visant à limiter les risques pour la population et les dispositions à prévoir pour contrôler la qualité des effluents traités.

Le traitement doit tenir compte de l'aptitude des sols à l'infiltration des eaux traitées et les dispositifs mis en œuvre doivent assurer la permanence de l'infiltration des effluents et de leur évacuation par le sol.

Différentes techniques d'infiltration existent telles la tranchée d'infiltration sous pression ou le tunnel d'épandage (cf. photos suivantes) ou encore lorsque le sol est trop perméable, que la nappe est trop proche de la surface, que le sol est trop instable (sol bouillant) ou encore que la place manque, d'autres systèmes, tels que le lit d'infiltration, le tertre ou le filtre à sable peuvent être préconisés.

*Photo 31 : Exemples de tranchées sous pression ou de tunnel d'épandage pour infiltration des eaux traitées*



Source : Laak et al. 2009. Séminaire assainissement des eaux usées domestiques - DRASS - CNFPT / La Réunion 26 - 30 octobre 2009

<sup>28</sup> Grela R et al., 2004. L'infiltration des eaux usées épurées – Guide pratique. Février 2004. Convention d'étude de méthodes et d'outils d'aide à la décision pour la planification et la mise en œuvre de systèmes d'épuration individuelle ou groupée.

Il semblerait au vu des **caractéristiques environnementales et physiques locales** du secteur de la future STEP de Mamoudzou Sud (caractéristiques des sols, nappes phréatiques littorales à faible profondeur...), que **cette solution ne soit pas envisageable** notamment pour une station d'une telle capacité qui **nécessiterait de grande surface** pour la mise en place d'une tel procédé. Plus généralement, les conditions tropicales où les fortes pluies saisonnières influencent fortement le niveau de saturation des sols, le ruissellement, le niveau des nappes...apparaissent difficilement compatibles avec le bon fonctionnement d'une zone de rejet végétalisée pour les effluents traités.

## 8. Mesures

Outre le protocole d'autosurveillance classiquement mis en place en entrée et sortie de station d'épuration, un suivi de l'évolution de la qualité des différents milieux récepteurs devra être mis en place afin d'étudier les impacts des rejets sur l'environnement. Au-delà du contrôle instantané de quelques paramètres clés, révélateur de risques ou de dangers immédiats, il faut suivre l'évolution du milieu en termes écologiques sur le long terme, pour être capable d'apprécier les améliorations ou de détecter et de prévenir les risques de dérive (eutrophisation, régression des récifs, disparition d'espèces...).

Les principales mesures consisteront donc à mettre en place ces mesures de suivi du milieu récepteur.

### 8.1 SUIVI ENVIRONNEMENTAL EN PHASE TRAVAUX

Sur la base plan de gestion environnemental de chantier à établir part le maître d'œuvre et à consolider par l'entrepreneur, il portera notamment sur la gestion du périmètre de chantier, des déchets, prévention des pollutions accidentelles, limitation des nuisances de voisinages ou encore les précautions de mise en service des installations.

### 8.2 SUIVI DU MILIEU RECEPTEUR EN PHASE EXPLOITATION

#### 8.2.1 Suivi de la rivière

En cas de rejet en rivière, la mise en place d'un suivi de la qualité des milieux récepteurs (physicochimie, bactériologie et biologie) doit être envisagée dès la mise en service de la première phase (35 000 EHm) afin de suivre l'évolution de la qualité du cours d'eau et de décider ou non de la poursuite d'un rejet en rivière pour des charges plus importantes ou proposer une amélioration du traitement ou éventuellement une autre solution de rejet comme préconisé précédemment...

Le suivi en rivière s'effectuera au niveau de deux stations (amont – site témoin et aval du rejet de la station d'épuration si rejet en rivière) sur les compartiments suivants:

- Physico-chimique : il est pertinent de suivre en continu via des sondes automatiques des paramètres structurants comme la température, le pH, la conductivité, l'oxygène dissout et la turbidité. Le retour d'expérience montre que quelques mesures ponctuelles sont peu représentatives d'un milieu dynamique comme la Kwalé dans un secteur soumis à influence marine.
- Biologique : le suivi pourrait être réalisé selon deux stratégies d'échantillonnage :
  - ▶ Sur le secteur de la Kwalé non influencé par la marée un inventaire des compartiments diatomées, macro-benthos et poissons permettrait de suivre l'impact de la STEP sur les évolutions biologiques en fonction de sa mise en charge progressive. La station KWA-AV du réseau DCE peu être utilisée comme une station de suivi dans le cadre du projet même si initialement, elle n'est pas créée pour tenir ce rôle. Pour plus de cohérence, il est pertinent de coordonner les campagnes avec le suivi DCE à savoir des prélèvements en période de basses eaux, entre septembre et octobre pour les diatomées et en juillet et août pour le macro-benthos/macro-crustacés/poissons.
  - ▶ Sur le secteur de la Kwalé influencé par la marée, le protocole de prélèvement doit être adapté à la dynamique du système : la mise en place de filets ou de pièges au flot et/ou au jusant permettra de suivre l'évolution des compartiments biologiques (poisson et macro-benthos).
- Bactériologique : ce paramètre est important au regard des usages du cours d'eau et du lagon.

Si le rejet devait s'effectuer par émissaire au large, une seule station en rivière, dans le secteur aval, fera l'objet d'un suivi.

Il convient de préciser que la révision en cours par la commission européenne de la liste des substances prioritaires devant faire l'objet de surveillance dans les eaux de surface devrait aboutir à l'ajout de 15 nouvelles substances prioritaires (résidus pharmaceutiques et phytopharmaceutiques...). A priori il n'y pas à Mayotte de problèmes de contaminations par ce type de substance dans les eaux de rivière (3 points de surveillance à l'heure actuelle dont la Kwalé) mais la surveillance de ces éléments et de leurs impacts sur les milieux récepteurs sera sans doute à développer au cours des prochaines années.

### 8.2.2 Suivi de la mangrove

Compte tenu de l'absence de recul sur des cas similaires à Mayotte et des conclusions provisoires de l'expérimentation de rejet d'eaux usées en mangrove de Malamani il sera souhaitable de mettre en œuvre un suivi pluriannuel de la mangrove de Kwalé afin de vérifier l'absence d'impacts négatifs des rejets de la STEP de Mamoudzou Sud.

Ce suivi portera obligatoirement sur les 2 compartiments les plus sensibles : la végétation et les crabes. Un suivi des sédiments pourrait également être envisagé simultanément.

Les données à relever seraient :

1- Sur des placettes permanentes de 100 m<sup>2</sup> réparties dans la mangrove externe dans les différents faciès de mangrove :

- suivi de la croissance des palétuviers (hauteur, diamètre),
- suivi de la régénération, et de la vitalité des peuplements en place (déperissement, mortalité,..),
- densité des crabes.
- suivi des caractéristiques du sol : concentration en nutriments (N,P), granulométrie, C organique...

Ces placettes pourraient être localisées sur l'emplacement de 13 des placettes réalisées lors de l'état initial du site : A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, G1, G2, H2, H3, I1, I2. Une quatorzième placette H0 sera implantée en amont de la placette H1, laquelle sera abandonnée car située dans la même formation que la placette H2.

Cette étude pourrait se dérouler sur une période de 6 ans avec des relevés tous les 18 mois (permettant une alternance saison sèche/saison des pluies) sur 14 placettes (voir le plan de localisation ci-après).

La première campagne de mesures devra intervenir juste avant la mise en service de la STEP afin d'actualiser l'état initial.

Le coût d'une telle campagne de mesures incluant les analyses et un rapport est évalué à 14 000 Euros soit 70 000 Euros sur 6 ans (5 campagnes avec un rapport + un rapport final à l'issue des 5 campagnes).

### 8.2.3 Suivi du milieu marin

Au même titre que les autres milieux récepteurs, l'environnement marin devra faire l'objet d'un suivi régulier en différents points (fréquence biannuelle à minima). Une surveillance des différents compartiments (eau, sédiments et matière vivante) devra être réalisée en différents points. La qualité physico-chimique, bactériologique de l'eau et des sédiments devra être analysée. L'état de vitalité des récifs et les caractéristiques des peuplements annexes devront être surveillés.

Les faciès de « bon état de santé » comme ceux indiquant des dégradations, doivent faire l'objet de suivi écologique sur des stations précises, avec une fréquence biannuelle dans ses premières années de fonctionnement. Les secteurs présentant des enjeux en terme d'usage ou un intérêt écologique (faciès de « bon état de santé » des récifs frangeants...) feront l'objet d'une attention particulière. Des stations de suivi seront de plus positionnées sur les secteurs sensibles ainsi que dans la mesure du possible sur le trajet le plus probable de dispersion du panache.

En cas d'épisode de dysfonctionnement potentiel de la station, des analyses complémentaires ponctuelles devront être faites pour prendre les dispositions qui s'avèrent nécessaires (restrictions d'usages éventuelles à l'initiative du Préfet...).

Rappelons que la directive européenne n°2006/7 modifie les règles de classement des zones de baignade et impose désormais aux communes d'étudier plus largement les sources possibles de dégradation ponctuelle de l'eau de mer en réalisant des "profils de baignade". Ces profils fixent les conditions de gestion des eaux côtières au regard des usages par les collectivités concernées.

**La localisation précise et le nombre de points de suivi devront être définis ultérieurement dans le cadre des demandes d'autorisation à établir lorsque le projet et notamment le point de rejet sera finalisé.** L'aménagement de ces points de prélèvement est soumis à l'accord préalable du service chargé de la police de l'eau.

### 8.3 MESURES DE CONTROLE ET AUTO SURVEILLANCE

La nécessité de préserver le milieu naturel, de faire coexister les activités humaines liées cours d'eau et au littoral de Tsoundzou (baignade, pêche, usages domestiques divers) et les obligations communales en terme d'assainissement, imposent la recherche d'une solution efficace limitant les impacts sur le milieu récepteur. Afin de permettre le contrôle et le suivi du système épuratoire envisagé et de valider l'efficacité des traitements, une auto-surveillance est mise en place sur le système d'assainissement (postes de relèvement et/ou de refoulement, station d'épuration).

La Directive 91/271/CEE du 21 mai 1991, dite ERU (Eaux Résiduaires Urbaines), transcrite en droit français par le Décret 94-469 du 03 juin 1994 et actualisée par l'Arrêté du 22 juin 2007, impose ainsi la mise en place de dispositifs d'autosurveillance des performances des installations d'assainissement collectif. Le chapitre 5 de cet arrêté fournit toutes les prescriptions relatives à la surveillance des systèmes de collecte, des stations d'épuration des agglomérations d'assainissement et des eaux réceptrices des eaux usées.

Les prélèvements d'autosurveillance sont de type bilan 24H et réalisés à l'aide d'un préleveur automatique réfrigéré. Leur fréquence varie suivant la capacité de traitement des STEP et la sensibilité des zones accueillant les rejets d'effluent en aval.

Cette auto-surveillance réglementée par l'arrêté du 22 juin 2007, permet de répondre aux objectifs suivants :

- contrôle de l'efficacité du système par le service de Police des Eaux compétent et vérification de l'innocuité vis à vis du milieu récepteur;
- permettre à l'exploitant d'assurer le bon fonctionnement du système, de l'alerter rapidement sur son éventuel dysfonctionnement et d'assurer l'information du maître d'ouvrage ;
- alimenter le Réseau National des données sur l'Eau ;
- informer le public sur l'état de l'assainissement ;
- permettre un échange d'informations entre services et répondre aux besoins des services de l'Eau.

La surveillance du fonctionnement des systèmes d'assainissement est effectuée par l'exploitant de la station d'épuration.

Le suivi et le contrôle de la qualité des eaux se feront :

- au niveau des effluents bruts, en entrée de station d'épuration. Le comptage s'effectuera sur la conduite d'arrivée par débitmètre électromagnétique avant le dégrillage. L'échantillonnage des effluents sera réalisé après le dégrillage et avant les retours en tête. Un groupe frigorifique assurera le maintien à basse température des échantillons ;
- au niveau des effluents traités, en sortie de station d'épuration. Le comptage des eaux traitées est réalisé par un débitmètre à ultrasons. Un échantillonneur réfrigéré permettra le prélèvement des échantillons ;

Les paramètres et les fréquences de mesure minima exigés par la réglementation pour une station de 45 000 EH (capacité de traitement comprise entre 1800 et 3000 kg/j de DBO5, cas général (zone non sensible à l'eutrophisation pour N et P)), sont ceux présentés dans le tableau suivant :

*Figure 105 : Fréquence des mesures des différents paramètres (minima réglementaire)- capacité de traitement supérieure ou égale à 1800 kg/j de DBO5 et inférieure à 3000 kg/j de DBO5*

Paramètres	Fréquence des mesures/an
Débit	365
MES	52
DBO5	24
DCO	52
NTK	12
NH4	12
NO2	12
NO3	12
PT	12
Boues*	52

Source : Arrêté du 22 juin 2007

(\*) Quantité de matières sèches.

Sauf cas particulier, les mesures en entrée des différentes formes de l'azote peuvent être assimilées à la mesure de NTK.

En phase d'exploitation de la station d'épuration, le maître d'ouvrage assurera la communication des résultats aux services compétents.

## 8.4 PREVENTION DES DEVERSEMENTS ACCIDENTELS

Le risque de déversement accidentel propre à l'installation projetée est circonscrit au risque de défaillance du transfert des effluents traités vers le milieu récepteur (rupture des conduites de transferts, défaillance des postes de refoulement...). Il s'agit de déversements temporaires, circonscrits aux délais nécessaires aux réparations dont les conséquences sur les milieux récepteurs et leurs usages sont limitées et réversibles.

Les mesures de protection mises en œuvre sont de nature structurelle et préventive : l'équipement de dispositifs de sécurité et de surveillance sur le réseau de transfert.

Rappel – Ce point est également à traiter dans le cadre des autorisations à venir.

## 8.5 MESURES DE COMMUNICATION

Les mesures de communication à mettre en place pour les populations concerneront notamment:

- Rappel des fondements du règlement sanitaire départemental
- Délimitation et communication des zones d'aptitude à l'assainissement autonome et zones soumises aux raccordements obligatoires
- Sensibilisation sur les substances à ne pas déverser dans un réseau d'assainissement
- Contrôle et conventionnement des éventuels raccordements industriels.
- Information sur les restrictions d'usage éventuelles au point de rejet

## 9. Bibliographie

- ANTEA, 2004. Déviation de Tsoundzou. *Etude hydraulique des franchissements et étude d'assainissement de la plate-forme*. Rapport pour Direction de l'Équipement de Mayotte, oct. 2004 : 58 pp. multigr. + 6 annexes, soit 70 pp. au total.
- ARDA, ASCONIT, ETHYC'O, 2010. Etude de définition des réseaux de surveillance des masses d'eau de Mayotte - Volet Eaux de surface - poissons et macrocrustacés - macrofaune benthique, diatomées. Rapport de synthèse.
- ARDA et MNHN, 2007. Inventaire des espèces de poissons et d'invertébrés des eaux douces de Mayotte - pour DAF Rapport final 141 pp.
- ASCONIT Consultants, 2011. CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS DIATOMEES DCE 2010 SUR LES MASSES D'EAUX « COURS D'EAU » DE MAYOTTE - DAF Rapport final.
- ASCONIT Consultants, 2009. Définition de débits de référence « biologiques » (DMB) pour les rivières de Mayotte : applications de la méthode des microhabitats.
- Asconit et Sogreah. 2008. Définition de débits de référence pour les rivières de Mayotte - Etude des QMNAS (étiages).
- ASCONIT consultants et ARVAM, 2004. *Usage des lessives à Mayotte et pollutions en rivière et au lagon. Aide à la décision – Programme d'action*. Rapport ASCONIT Consultants, Agence Sud-Ouest, Castanet Tolosan, pour D.A.F. de Mayotte, déc. 2004 : 84 pp. multigr.
- AUBRUN A., 1998. La mangrove à Mayotte. Rapport pour Délégation à l'Environnement, "BURGEAP région-Nord", Ras.83/A6520./C098203 : 28 pp. multigr.
- BESEME J.L et et Jean-Louis RAVARD. Rapport sur la mise en œuvre du programme de mesures pour l'atteinte du bon état des eaux à Mayotte - Conseil général de l'environnement et du développement durable - Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux -
- BOUCHARD, 2010. Exploitation de la ferme aquacole d'Ironi Be Actualisation des données relatives au milieu marin, Rapport d'expertise environnementale pour ESPACES. 13 pages.
- BRGM 58228 – FR. 2010. Définition des réseaux de surveillance de la qualité DCE des eaux souterraines, de surface et côtières de Mayotte - Rapport d'avancement 2009
- BRGM (ARDA, ETHYCO et ASCONIT). 2009. Etude de définition des réseaux de surveillance des masses d'eau de Mayotte - Volet Eaux de surface - Compte-rendu de la campagne d'échantillonnage.
- BRGM, 2008. Modélisation courantologique du lagon de Mayotte - Rapport final – BRGM RP 56334-FR.
- BRGM, 2008. Etude préliminaire à un programme Bathylag - Rapport final BRGM 54560 -FR
- BRGM, 2000. Caractéristiques physiques et chimiques de cinq rivières et de leurs bassins versants sur Grande Terre, île de Mayotte. Etablissement d'un état des lieux vis-à-vis des facteurs de pollution. Rapport BRGM/RC-50355-FR/2000 SGR/MAY 27. 68 pp+ annexes.
- BRGM/RP-59221-FR et ONEMA, 2004. Définition des limites géographiques des cours d'eau au sens de la police de l'eau à Mayotte

- CHABANNET et al., 2001. Peuplement ichtyologique des bancs de Geysers et Zélée (Océan Indien Occidental). *Cybius* 2002, 26(1 : ) 26 pp.
- Comité de Bassin Mayotte. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) de MAYOTTE 2012-2015 -. 2009.
- DAF, ASCONIT, 2001. Campagne de prélèvements diatomée DCE 2010 sur les masses d'eaux « cours d'eau » de Mayotte.
- DAF – 2006. Atlas des mangroves de Mayotte.
- DAF Mayotte. Projet Régional de l'Enseignement Agricole – 2010-2015. Décembre 2010.
- DAHL, 1981. Coral reef monitoring handbook. South Pacific Commission, Nouméa: 21 pp.
- Décret 90-95 du 25 janvier 1990 pris pour l'application de l'article 3 du décret du 9 janvier 1852 modifié
- DURAND & THOMASSIN, 1992. Les récifs frangeants de l'île de Mayotte ("Grande Terre") : état des platiers et du sommet des pentes externes en 1989-1990 : bilan de santé global. Rapport C.O.M. Marseille pour le compte de la Dir. Agriculture & Forêt, Mayotte, Coll. Terr. Mayotte : 66 pp. +annexes (cartes, photos et interprétation de Récifs).
- EGIS Eau / BCEOM France, 2008. *Pont de la Kwalé. Etude hydraulique complémentaire. I. Rapport définitif*. Rapport pour Direction de l'Équipement de Mayotte, HER 86 709 / A08-18 : 31 pp. multigr.
- EISENBERG, 1981. A collector's guide to seashells of the world. McGraw-hill book Company. ISBN0-07-019140-9 : 239 pp.
- ESPACES (SOUMILLE O., THOMASSIN B.A., en coll. avec CREMADES C., BOUCHARD J.-M.), 2011. *Reconstruction du pont de la RN2 sur la Kwalé. Etude écologique de la mangrove de Tsoundzou 1 à l'embouchure de la rivière Kwalé*. Rapport pour le compte de la D.E.A.L. de Mayotte, Serv. Infrastructures, Sécurité & Transport, Subdiv. Etudes & Travaux neufs : 1-87 + Annexes : 88-152, multigr.
- EUCHER G., TOURLIERE B., DENIS L., 2004. Définition des limites géographiques des cours d'eau au sens de la police de l'eau à Mayotte. Rapport final. *BRGM / RP-53495-FR* : 70 pp. multigr.
- GUEZEL Rébecca, Pascale Salaün et Jean-Pierre Arnaud. La pêche à pied à Mayotte : Localisation des principaux sites de pêche et estimation de l'effort de pêche par comptages aériens. Mission d'étude pour la création d'un parc naturel marin à Mayotte. DAF pêche et aquaculture
- Herteman Mélanie, 2010. Evaluation des capacités bioremédiatrices d'une mangrove impactée par des eaux usées domestiques. Application au site pilote de Malamani, Mayotte. Thèse de l'Université de Toulouse.
- Keith et al., 2006. Atlas des poissons et crustacés d'eau douce des Comores, Mascareignes et Seychelles - Patrimoines naturels 65 : 250 p.
- Laulan P. et De la Torre Y., 2006. Atlas des plages de Mayotte, DAF et BRGM.
- MARTIN Y., BONNEFONT J.-L., 2002. *Survie des bactéries témoins de contamination fécale dans le lagon de Mayotte : Estimation des T90. Rapport de la mission effectuée en novembre - décembre 2002*. Rapport Institut Océanographique "Paul Ricard", Départ. Recherche, pour le compte de Dir. Agric. & Forêt de Mayotte, Serv. Equipements ruraux : 12 pp. multigr.
- MARTIN Y., BONNEFONT J.L., 2004. Evaluation du T90 des coliformes et streptocoques fécaux d'un effluent urbain dans les eaux de surface du lagon de Mayotte (océan Indien). *T.S.M.*, n° 4, avril 2004, 99<sup>ème</sup> année : 54-62.

- Parc naturel marin de Mayotte - Document de travail - Plan de Gestion du Parc naturel marin de Mayotte – Chapitre IV Qualité de l'eau
- PARETO, IFREMER, APNEE - BRGM, ARVAM, ONEMA, DAF, 2010. Définition des réseaux de surveillance DCE de la qualité des masses d'eau côtières de l'île de Mayotte - Rapport final - Tome 2 : Cartographie des données DCE par masses d'eau
- PARETO/APNEE/LAGONIA/ARVAM, 2010. Evaluation environnementale du milieu marin de la Réserve Naturelle Nationale de l'îlot M'bouzi. Etat initial. Rapport pour le compte de l'Association des Naturalistes de Mayotte, 112 pages + annexe.
- PARETO, IFREMER, APNEE - BRGM, ARVAM, ONEMA, DAF, 2010. Définition des réseaux de surveillance DCE de la qualité des masses d'eau côtières de l'île de Mayotte - Rapport final - Tome 1 : Synthèse et propositions
- Plan d'Aménagement et de Développement Durable de Mayotte.
- Plan de gestion du lagon de Mayotte.
- SIEAM/ISM, 2003. Etude pour la protection des zones de captage d'eau potable à Mayotte. Diagnostic, propositions.
- SOGREAH /ADPi, 2011. *Déserte aérienne de Mayotte. Réalisation d'une piste longue adaptée aux vols long-courriers. Avenant 1 – Dossier Maître d'Ouvrage. Effets des différentes variantes d'aménagement envisagées pour l'extension de la piste, avec et sans dalots à travers les remblais, sur l'hydrodynamique locale.* Rapport pour DGAC : 18 pp. + annexes.
- TAQUET & DIRINGER, 2007. Poissons de l'Océan Indien et de la Mer Rouge. Editions Quae. ISBN : 978-2-7592-0045-0 : 527 pp.
- Thomassin et al., 1998. Les récifs coralliens frangeants de l'île de Mayotte : ré examen de l'état de santé & bilan de la qualité des eaux côtières Rapp . GIS Lag May/ COM Dir. Agriculture & Forêts, Mayotte, mars 1998 : 61 pp + annexes et cartes.
- Thomassin Bernard A., Laboratoire d'Hydrologie & de Molysmologie aquatique (L.H.M.A.), Pierre GUILLAUME, Fany SEGUIN & Julien WICKEL, Olivier SOUMILLE, ,Juillet 2006. MAYOTTE : Evaluation des polluants dans les sédiments d'une mangrove anthropisée : Kaouéni, Mamoudzou ; comparaison avec une mangrove « non anthropisée » : Ironi Bé. Diagnostic et aide à la décision pour la protection de la mangrove de Kaxéni. Commune de Mamoudzou – Mayotte
- SAFEGE, 2010. Réflexion sur les qualités de rejet exigés pour les STEP
- VERON, 1993. Corals of Australia and the Indo-Pacific. University of Hawaii Press edition. ISBN 0-8248-1504-1: 644 pp.
- WICKEL & THOMASSIN, 2005. Bilan de l'état de santé des récifs frangeants de Mayotte (Grande Terre) : Bilan de l'état de santé en 2004 et évolution depuis 1989. 69 pp + annexes.
- WICKEL, 2006. Les îlots du lagon de Mayotte : état des lieux de la vitalité corallienne. 44 pp + annexes

# ANNEXES



# **Annexe 1 : Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (JO n°0201 du 31 août 2010)**



8 pages à insérer en pdf

1 / 8



3 / 8



5 / 8



7 / 8

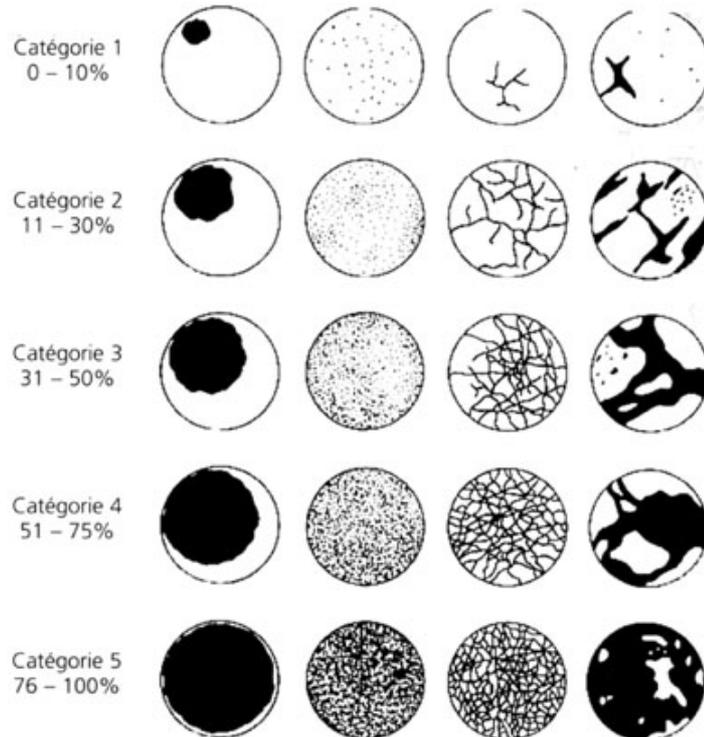


## **ANNEXE 2 : Cotations utilisées pour caractérisation de l'état de vitalité des coraux**



Etude de milieu marin Mdz/Ironi			Vitalité des récifs frangeants de Grande Terre			Vitalité des récifs frangeants des ilots		
2012	Cotation	% du substrat	2004	Cotation	% du substrat	2006	Cotation	% du substrat
	1	0%		1	0%		1	0-10 %
	2	0-5 %		2	0-5 %		2	11-30 %
	3	5-20 %		3	5-20 %		3	31-50 %
	4	20-35 %		4	20-50 %		4	51-75 %
	5	35-50 %		5	50-80 %		5	76-100 %
	6	50-65 %		6	80-100 %			
	7	65-80 %						
	8	80-100 %						

Cotation de Dahl



**Cotation de Dahl (1981) utilisée dans ces études pour la classification du recouvrement du substrat par les coraux.**