

CREOCEAN

Services et Conseil en Environnement Littoral et Marin et Océanographie



Tullow Oil



PERMIS D'EXPLORATION GUYANE MARITIME REALISATION DU FORAGE D'EXPLORATION GM-ES-1

DOCUMENT D'APPRECIATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Montpellier, janvier 2011
Dossier 1-10070E

RAPPORT

V V

Siège Social CREOCEAN
Zone Technocéan / Chef de Baie
Rue Charles Tellier
17000 La Rochelle - France
Tél : 05.46.41.13.13
Fax : 05.46.50.51.02

E-mail : creocean@creocean.fr
Web : www.creocean.fr



SOMMAIRE

0 - AVANT-PROPOS	13
1 - RESUME NON TECHNIQUE	14
1.1 - LE FORAGE D'EXPLORATION	15
1.2 - DESCRIPTION DE L'ETAT ACTUEL DU SITE DE GM-ES-1	15
1.2.1 - Un site où les courants sont variables et forts	15
1.2.2 - Une eau pauvre en nutriments mais de bonne qualité	15
1.2.3 - Des sédiments fins sans traces de pollution.....	16
1.2.4 - Un milieu pauvre en phytoplancton	16
1.2.5 - Un benthos riche, diversifié et largement répandu	16
1.2.6 - Un site avec peu de poissons près du fond.....	16
1.2.7 - La présence de tortues marines est très faible sur le site	17
1.2.8 - Une présence de cétacés avérée	17
1.2.9 - Des usages maritimes limités	17
1.3 - IMPACTS DU FORAGE D'EXPLORATION.....	18
1.3.1 - Des sources d'impacts en nombre réduit	18
1.3.2 - Des impacts de magnitude variable.....	18
1.3.3 - Mesures d'atténuation du projet	20
2 - RAPPELS SUR LE PROJET	21
2.1 - UN FORAGE D'EXPLORATION AU-DELA DU PLATEAU CONTINENTAL	21
2.2 - UN FORAGE POUR CONFIRMER LES RESULTATS DE LA CAMPAGNE SISMIQUE DE 2009	22
2.2.1 - Une opération nécessitant des moyens nautiques spécialisés	22
2.2.2 - Une opération générant des déblais de forage.....	24
2.2.2.1 - Au début du forage (forage pilote)	24
2.2.2.2 - Seconde partie du forage.....	25
2.2.2.3 - Effets des déblais de forage.....	27
2.2.3 - Une fin d'opération passant par la fermeture du puits	28
2.2.4 - Une activité qui peut engendrer un rejet accidentel d'hydrocarbures.....	29

2.2.5 - Des effets qui intéressent de nombreux compartiments de l'environnement naturel et humain	29
---	----

3 - ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT31

3.1 - DESCRIPTION DU MILIEU PHYSIQUE	31
3.1.1 - Climatologie	31
3.1.1.1 - Températures, précipitations, insolation	31
3.1.1.2 - Vents.....	33
3.1.2 - Qualité de l'air	36
3.1.3 - Océanographie.....	37
3.1.3.1 - Bathymétrie.....	37
3.1.3.2 - Houles.....	39
3.1.3.3 - Marées.....	40
3.1.3.4 - Courants	41
3.1.3.5 - Hydrographie	56
3.1.4 - Paramètres généraux des eaux littorales et marines.....	57
3.1.4.1 - Salinité	57
3.1.4.2 - Température de l'eau	64
3.1.4.3 - Transparence, turbidité et teneur en matières en suspension.....	66
3.1.4.4 - Teneur en oxygène.....	69
3.1.4.5 - Concentration en nutriments.....	71
3.1.4.6 - Présence de polluants	76
3.1.5 - Eaux de baignade	81
3.1.6 - Géologie.....	82
3.1.7 - Sédimentologie	85
3.1.7.1 - Plateau continental	85
3.1.7.2 - Talus continental.....	87
3.1.7.3 - Domaine profond	87
3.1.7.4 - Qualité des sédiments de surface.....	88
3.1.8 - Sismicité naturelle	100
3.1.8.1 - Classement sismique.....	100
3.1.8.2 - Activité sismique naturelle	100
3.2 - DESCRIPTION DU MILIEU BIOLOGIQUE	102
3.2.1 - Caractéristiques du milieu vivant en mer	102
3.2.1.1 - Algues macroscopiques et angiospermes marines	102
3.2.1.2 - Peuplements planctoniques.....	103
3.2.1.3 - Benthos.....	110
3.2.1.4 - Poissons et céphalopodes	123
3.2.1.5 - Tortues marines	127
3.2.1.6 - Avifaune marine et littorale	159

3.2.1.7 - Cétacés	181
3.2.1.8 - Siréniens	194
3.2.2 - Caractéristiques de la bande littorale	196
3.2.2.1 - Végétation littorale	196
3.2.2.2 - Faune littorale	199
3.2.3 - Espaces naturels protégés ou inventoriés de la zone d'étude	201
3.2.3.1 - Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Floristique et Faunistique	201
3.2.3.2 - Zones d'Importance pour la Conservation des Oiseaux	203
3.2.3.3 - Sites Ramsar	203
3.2.3.4 - Réserves naturelles	204
3.2.3.5 - Zones protégées à proximité du littoral	204
3.2.3.6 - Parc naturel régional de Guyane	205
3.2.3.7 - Site d'Intérêt Communautaire (réseau NATURA 2000)	207
3.2.3.8 - Conventions internationales sur la faune sauvage marine applicable en Guyane française ..	207
3.3 - DESCRIPTION DU CONTEXTE HUMAIN	215
3.3.1 - Activités humaines en mer	215
3.3.1.1 - Pêche en mer professionnelle	215
3.3.1.2 - Navigation de commerce	218
3.3.1.3 - Données issues des survols et observations depuis les navires de reconnaissance	219
3.3.2 - Activités humaines sur le littoral	220
3.3.2.1 - Population et habitat	220
3.3.2.2 - Activités économiques de la bande littorale	220
3.4 - SYNTHÈSE DES DONNÉES SUR LE SITE DE GM-ES-1	223
4 - ANALYSE DES EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS, TEMPORAIRES ET PERMANENTS SUR L'ENVIRONNEMENT	225
4.1 - LES IMPACTS SPECIFIQUES DU PROJET	225
4.1.1 - Une présence réduite sur le plan d'eau	226
4.1.2 - Des rejets liquides liés à la vie à bord	226
4.1.2.1 - Les eaux usées	226
4.1.2.2 - Les rejets liquides accidentels	227
4.1.3 - Une gestion maîtrisée des déchets à bord	228
4.1.4 - Des émissions lumineuses pour la sécurité maritime	229
4.1.5 - Des émissions de CO ₂ dues aux moteurs	229
4.1.5.1 - Paramètres de calcul	229
4.1.5.2 - Résultats	230
4.1.6 - Des déblais de forage peu contaminés	231
4.1.6.1 - Volume des déblais de forage	231
4.1.6.2 - Gestion des déblais de forage	231

4.1.7 - Une boue de forage à base de nombreux composés	235
4.1.8 - Un rejet accidentel d'hydrocarbures peu fréquent	237
4.1.8.1 - Objectifs du modèle de dérive de nappe	237
4.1.8.2 - Rejets d'hydrocarbures en mer.....	238
4.1.8.3 - Description des modèles.....	239
4.1.8.4 - Choix des simulations	241
4.1.8.5 - Résultats des différentes simulations	242
4.1.8.6 - Conclusions	257
4.2 - ANALYSE DE LA MAGNITUDE DES IMPACTS SPECIFIQUES DU PROJET	259
4.2.1 - Intensité des effets sur l'environnement.....	259
4.2.1.1 - Effets sur le compartiment « Eau ».....	259
4.2.1.2 - Effets sur le compartiment « Sédiment »	276
4.2.1.3 - Effets sur le compartiment « Air »	281
4.2.1.4 - Effets sur les usages.....	285
4.2.1.5 - Récapitulatif de l'intensité des effets.....	287
4.2.2 - Fréquence et durée des effets du projet	289
4.2.3 - Sensibilité des composantes de l'environnement	290
4.2.4 - Notation globale des effets du projet.....	291
4.2.5 - Effets significatifs sur l'environnement	295
4.2.5.1 - Gros plan sur les sédiments	295
4.2.5.2 - Gros plan sur les tortues.....	296
4.2.5.3 - Gros plan sur la sterne élégante.....	299
4.2.5.4 - Gros plan sur l'albatros à bec jaune	301
4.2.5.5 - Gros plan sur les cétacés	304
4.2.5.6 - Gros plan sur la pêche.....	306
4.3 - MESURES D'ATTENUATION DES EFFETS	309
4.3.1 - Mesures de réduction des impacts	309
4.3.1.1 - Mesures destinées à réduire les émissions vers l'environnement.....	309
4.3.1.2 - Mesures destinées à réduire les effets sur la faune	310
4.3.1.3 - Mesures destinées à réduire les effets sur les usages.....	312
4.3.2 - Mesures compensatoires	312
5 - ANALYSE DES METHODES UTILISEES POUR EVALUER LES EFFETS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT	313
5.1 - INTENSITE DES EFFETS.....	313
5.2 - FREQUENCE ET DUREE DES EFFETS.....	314
5.3 - SENSIBILITE DES COMPOSANTES ENVIRONNEMENTALES.....	314

5.4 - NOTATION GLOBALE D'UN EFFET	314
6 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	315
7 - ANNEXES	331

Liste des Figures

Figure 1.1. Localisation du site de forage GM-ES-1	14
Figure 2.1. Localisation du site de forage GM-ES-1 au large de la Guyane.....	21
Figure 3.1. Bathymétrie au-delà du plateau continental guyanais (Ifremer, 2003)	37
Figure 3.2. Bathymétrie de l'arc antillais à l'embouchure de l'Amazonie (ETOPO-2)	38
Figure 3.3. Modélisation des courants de surface, novembre 2004 (Créocéan, 2006)	43
Figure 3.4. Modélisation des courants de surface, avril 2005 (Créocéan, 2006).....	44
Figure 3.5. Vitesse moyenne annuelle des courants de surface : juillet 2004 à juin 2005 (Créocéan, 2006).....	45
Figure 3.6. Vitesse moyenne des courants de surface : début novembre 2004 (Créocéan, 2006).....	47
Figure 3.7. Vitesse moyenne des courants de surface : fin novembre 2004 (Créocéan, 2006)	48
Figure 3.8. Vitesse moyenne des courants de surface : début avril 2005 (Créocéan, 2006)	49
Figure 3.9. Vitesse moyenne des courants de surface : fin avril 2005 (Créocéan, 2006)	50
Figure 3.10. Roses de courant de surface sur le site de Kawana, proche du site de forage (Créocéan, 2006).....	52
Figure 3.11. Profil vertical des vitesses et des directions des courants, novembre 2004 (Créocéan, 2006).....	54
Figure 3.12. Profil vertical des vitesses et des directions des courants, avril 2005 (Créocéan, 2006).....	55
Figure 3.13. Stations de mesure et d'échantillonnage d'eau marine (Créocéan, 2009)	60
Figure 3.14. Stations de mesure et d'échantillonnage d'eau marine (Créocéan, 2006)	62
Figure 3.15. Cartographie des formations sédimentaires de la frange littorale (BRGM)	84
Figure 3.16. Sédiments du plateau continental guyanais (SHOM)	86
Figure 3.17. Stations d'échantillonnage des sédiments (Créocéan, 2009 et Créocéan, 2006)	89
Figure 3.18. Zonage du risque sismique en France (MEDD, 2002)	100
Figure 3.19. Séismes récents du littoral guyanais (Berrocal et al, 1983 et BRGM, 2006).....	101
Figure 3.20. Synthèse trimestrielle des concentrations en chlorophylle-a sur la période 1997-2006 (Créocéan, 2006).....	106
Figure 3.21. Synthèse trimestrielle des concentrations en chlorophylle-a sur la période 1997-2006, fin (Créocéan, 2006).....	107
Figure 3.22. Quelques espèces de crevettes du plateau continental guyanais (Carpenter, 2002)	110
Figure 3.23. Plan d'échantillonnage du benthos de Kawana (Créocéan, 2006).....	112
Figure 3.24. Trait de chalut réalisé sur le site de Kawana (Créocéan, 2006).....	121

Figure 3.25. Poissons benthiques pêchés à proximité de la zone de projet (Créocéan, 2006)	125
Figure 3.26. Poissons observés au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, Girondot & Russo, 2009, Girondot, 2010)	126
Figure 3.27. Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue luth	127
Figure 3.28. Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue verte	128
Figure 3.29. Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue olivâtre	129
Figure 3.30. Sites de pontes et zone d'occurrence de la tortue imbriquée	130
Figure 3.31. Sites de ponte et zone d'occurrence de la caouanne	131
Figure 3.32. Distribution des pontes de tortues marines le long de la Guyane française et du Surinam (Rivalan et al, 2004)	132
Figure 3.33. Déplacements en mer de tortues luths femelles pendant la période de ponte (Ferraroli, 2004)	136
Figure 3.34. Déplacements après la période de ponte de tortues luths de Guyane et du Surinam (Ferraroli, 2004).....	137
Figure 3.35. Trajectoire de tortues luths à partir d'un site de ponte guyanais (WWF, 2008)	138
Figure 3.36. Carte de distribution de huit tortues olivâtres équipées de balises ARGOS sur la plage de Rémire-Montjoly, Guyane, en relation avec la bathymétrie (Créocéan, 2006).....	140
Figure 3.37. Représentation topographique du temps (en jour) passé par unité de surface (0.2° x 0.2°) sur le plateau des Guyanes par huit tortues olivâtres équipées de balises ARGOS sur la plage de Rémire-Montjoly, Guyane, en relation avec la bathymétrie (Créocéan, 2006).....	142
Figure 3.38. Localisation des recaptures de tortues vertes marquées à l'Est du Surinam (Schulz, 1975)	143
Figure 3.39. Trajet de trois tortues vertes du Surinam au Brésil (STC & WWF, in Girondot 2010a) ..	144
Figure 3.40. Localisation des tortues observées au large de la Guyane française (CRMM, 2009, Girondot & Ponge, 2006, Girondot & Russo, 2009, Girondot, 2010)	145
Figure 3.41. Exemple du cône de dispersion des tortues luths de la plage de Yalimapo (Girondot, 2010a)	147
Figure 3.42. Extension du principe aux sites de pontes guyanais (Girondot, 2010a)	148
Figure 3.43. Densité en mer des tortues luths durant la période potentielle du forage d'exploration (Girondot, 2010a)	149
Figure 3.44. Répartition en mer au mois de mai de tortues luths femelles par modèle individu centré (Girondot, 2010a)	152
Figure 3.45. Courants au large de la Guyane en mai et février (Créocéan, 2006)	153
Figure 3.46. Densité en mer des tortues vertes durant la période potentielle du forage d'exploration (Girondot, 2010a)	154
Figure 3.47. Densité en mer des tortues olivâtres (Girondot, 2010a)	156
Figure 3.48. Routes migratoires de l'avifaune passant par la Guyane (GEPOG)	159
Figure 3.49. Déplacements de frégates superbes de l'île du Grand Connétable (CEBC)	161
Figure 3.50. Avifaune marine observée au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, GEPOG, 2008, Ponge & Girondot, 2006, Ponge 2008)	162
Figure 3.51. Répartition en mer des sternes brunes et grises (CRMM, 2009)	163
Figure 3.52. Effectifs d'oiseaux observés au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, GEPOG, 2008, Ponge & Girondot, 2006, Ponge 2008)	163
Figure 3.53. Zone prospectée lors des survols en 2010 (Girondot, 2010c)	177

Figure 3.54. Espèces de cétacés observées au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, Girondot & Ponge, 2006, Ponge & Girondot, 2006).....	183
Figure 3.55. Répartition en mer de deux espèces de dauphins (CRMM, 2009).....	184
Figure 3.56. Effectifs de cétacés observés au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, Girondot & Ponge, 2006, Ponge & Girondot, 2006).....	184
Figure 3.57. Cétacés observés grâce aux survols depuis septembre 2009 (d'après Girondot & Russo 2009, Girondot, 2010).....	189
Figure 3.58. Effectifs de cétacés observés grâce aux survols depuis septembre 2009 (d'après Girondot & Russo 2009, Girondot, 2010).....	190
Figure 3.59. Emprise de la plaine côtière en Guyane (Granville, 1986).....	195
Figure 3.60. Cartographie des milieux du littoral guyanais (Polidori et al, 1999).....	200
Figure 3.61. ZNIEFF de Guyane (DIREN Guyane, 2006).....	202
Figure 3.62. Autres espaces naturels présentant un fort intérêt pour la biodiversité (DIREN Guyane, 2006).....	206
Figure 3.63. Zones de pêche professionnelle au large de la Guyane (AAMP, 2010).....	215
Figure 3.64. Position des divers types de navire au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, Girondot & Ponge, 2006, Girondot & Russo, 2009, Girondot, 2010, Ponge, 2008).....	219
Figure 3.65. Activités économiques de la bande littorale (DDAF et DRIRE, 2006).....	221
Figure 4.1. Rose des courants de fond à Kawana (Créocéan, 2006).....	232
Figure 4.2. Allure du panache à proximité du point de rejet (Créocéan, 2006).....	243
Figure 4.3. Emplacement de la nappe jusqu'à cinq jours après un rejet le 1er avril 2005 (Créocéan, 2006).....	248
Figure 4.4. Trajectoire d'une nappe d'hydrocarbure rejetée le 1er avril 2005 (Créocéan, 2006).....	250
Figure 4.5. Trajectoire d'une nappe d'hydrocarbure rejetée le 8 avril 2005 (Créocéan, 2006).....	251
Figure 4.6. Trajectoire d'une nappe d'hydrocarbure rejetée le 15 avril 2005 (Créocéan, 2006).....	252
Figure 4.7. Trajectoire d'une nappe d'hydrocarbure rejetée le 22 avril 2005 (Créocéan, 2006).....	253
Figure 4.8. Courbe enveloppe des zones potentiellement affectées par un rejet accidentel au cours du mois d'avril 2005 (Créocéan, 2006).....	254
Figure 4.9. Côtes potentiellement touchées par les traces d'hydrocarbures suite à un rejet accidentel au cours du mois d'avril 2005 (Créocéan, 2006).....	256
Figure 4.10. Densités en mer des tortues luths et olivâtres issues des suivis par satellite (Ferraroli et Girondot).....	298
Figure 4.11. Répartition de la sterne élégante (Natureserve, 2005).....	300
Figure 4.12. Répartition de l'albatros à bec jaune (Avibase, 2010).....	302
Figure 4.13. Suivi satellite d'un albatros à bec jaune adulte nicheur (ACAP, 2009).....	303
Figure 4.14. Suivi satellite d'un albatros à bec jaune adulte non nicheur (ACAP, 2009).....	303
Figure 4.15. Recouvrement entre les zones de pêches et la courbe enveloppe maximale où pourrait se trouver la nappe d'hydrocarbures, conditions d'avril 2005 (d'après AAMP, 2010).....	307

Liste des Graphiques

Graphique 3.1. Variations moyennes de la température en Guyane (Météo France).....	32
Graphique 3.2. Pluviométrie moyenne en Guyane (Météo France).....	32

Graphique 3.3. Insolation moyenne en Guyane (Météo France)	33
Graphique 3.4. Rose des vents à Rochambeau (Météo France, 2009).....	34
Graphique 3.5. Rose des vents au large de la Guyane (FUGRO GEOS, 2005).....	35
Graphique 3.6. Valeur journalière de l'indice de qualité de l'air (ORA)	36
Graphique 3.7. Rose des houles au large de la Guyane (FUGRO GEOS, 2005).....	39
Graphique 3.8. Salinité de surface à l'île Royale – Septembre 1998 à Octobre 1999 (Ternon et al, 2001)	58
Graphique 3.9. Salinité de surface : avril et octobre (Ternon et al, 2004).....	59
Graphique 3.10. Influence du vent sur la salinité de surface (Nikiéma et Bourret, 2004)	59
Graphique 3.11. Profil de salinité, station 333, Octobre 2009 (Créocéan, 2009).....	61
Graphique 3.12. Profils de salinité, juin 2006 (Créocéan, 2006).....	63
Graphique 3.13. Profils de température en mer (Ternon et al, 2004)	64
Graphique 3.14. Profil de température, station 333, Octobre 2009 (Créocéan, 2009).....	65
Graphique 3.15. Profil de température, juin 2006 (Créocéan, 2006)	66
Graphique 3.16. Matières en suspension en fonction de la hauteur d'eau (Créocéan, 2009)	68
Graphique 3.17. Matières en suspension, juin 2006 (Créocéan, 2006).....	69
Graphique 3.18. Profils d'oxygène dissous, octobre 2009 (Créocéan, 2009).....	70
Graphique 3.19. Profils d'oxygène dissous, juin 2006 (Créocéan, 2006)	71
Graphique 3.20. Teneur en nitrates dans les eaux de surface (Ternon et al, 2004).....	72
Graphique 3.21. Teneurs en azote total et en nitrates, octobre 2009 (Créocéan, 2009).....	73
Graphique 3.22. Teneurs en phosphore total, octobre 2009 (Créocéan, 2009).....	73
Graphique 3.23. Teneurs en nitrites, juin 2006 (Créocéan, 2006)	74
Graphique 3.24. Teneurs en nitrates, juin 2006 (Créocéan, 2006).....	75
Graphique 3.25. Teneurs en orthophosphates, juin 2006 (Créocéan, 2006).....	75
Graphique 3.26. Evolution de la teneur en métaux lourds, juin 2006 (Créocéan, 2006).....	77
Graphique 3.27. Evolution de la teneur en métaux lourds, juin 2006, suite (Créocéan, 2006).....	78
Graphique 3.28. Evolution de la teneur en baryum, juin 2006, fin (Créocéan, 2006)	79
Graphique 3.29. Evolution de la teneur en hydrocarbures totaux et en HAP, juin 2006 (Créocéan, 2006)	80
Graphique 3.30. Courbes granulométriques le long du plateau continental guyanais (Créocéan, 2009)	90
Graphique 3.31. Teneur en carbone organique total (Créocéan, 2009)	92
Graphique 3.32. Teneur en azote Kjeldahl (Créocéan, 2009).....	93
Graphique 3.33. Teneur en phosphore total (Créocéan, 2009)	94
Graphique 3.34. Evolution de la teneur en chlorophylle-a dans les eaux de surface de Kawana (Créocéan, 2006)	108
Graphique 3.35. Profils de teneur en pigments chlorophylliens, juin 2006 (Créocéan, 2006)	109
Graphique 3.36. Richesse spécifique du benthos de Kawana (Créocéan, 2006).....	113
Graphique 3.37. Densité par embranchement du benthos de Kawana (Créocéan, 2006)	115
Graphique 3.38. Biomasse totale du benthos de Kawana (Créocéan, 2006)	116

Graphique 3.39. Période de ponte des tortues guyanaises (Girondot, 2010a).....	133
Graphique 3.40. Modélisation du nombre de tortues luths pondant de nuit sur la plage de Yalimapo (Fossette et al, 2008)	134
Graphique 3.41. Eloignement du site de ponte en fonction du temps (Créocéan, 2006)	141
Graphique 3.42. Densité moyenne des 3 espèces de tortues marines durant la période prévue pour le forage d'exploration (d'après Girondot, 2010a)	157
Graphique 3.43. Comptages d'oiseaux limicoles sur le littoral guyanais (GEPOG)	160
Graphique 3.44. Répartition du nombre d'observation d'oiseaux par jour lors de la campagne sismique de 2009 (Chevalier, 2010)	165
Graphique 3.45. Répartition du nombre d'oiseaux par jour lors de la campagne sismique de 2009 (Chevalier, 2010)	165
Graphique 3.46. Répartition des oiseaux identifiés lors de la campagne sismique de 2009 (d'après Chevalier, 2010).....	166
Graphique 3.47. Répartition des oiseaux par grand type d'habitat (d'après Chevalier, 2010)	172
Graphique 3.48. Répartition des cétacés identifiés lors de la campagne sismique de 2009-2010 (d'après Girondot, 2010b).....	186
Graphique 3.49. Densité des groupes de cétacés au-delà du plateau continental guyanais en fonction du mois de l'année (Girondot, 2010b).....	191
Graphique 3.50. Production et taille moyenne des vivaneaux rouges débarqués en Guyane de 1987 à 2002 (Léopold, 2005).....	217
Graphique 4.1. Evolution d'un rejet accidentel de gazole (NOAA)	228
Graphique 4.2. Sources des rejets d'hydrocarbures dans l'environnement marin (Etkin, 2001).....	238
Graphique 4.3. Vieillessement de trois hydrocarbures différents (NOAA).....	245

Liste des Photos

Photo 3.1. Panache turbide de l'Amazone (ESA, Agence Spatiale Européenne)	67
Photo 3.2. Aspect visuel du sédiment superficiel (Créocéan, 2006).....	87
Photo 3.3. Tortue olivâtre équipée d'une balise (Photo : J-Y Georges).....	139
Photo 3.4. Puffins présents sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier)	166
Photo 3.5. Frégates superbes présentes sur la zone de GM-ES-1(Source: Chevalier et Teixeira) ...	167
Photo 3.6. Sternes présentes sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier et Teixeira)	167
Photo 3.7. Labbe présent sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier).....	168
Photo 3.8. Limicoles présents sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier)	168
Photo 3.9. Océanite présent sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier).....	169
Photo 3.10. Fou masqué présent sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier).....	169
Photo 3.11. Aigrettes présentes sur la zone de GM-ES-1 (Source: Vines)	170
Photo 3.12. Albatros à bec jaune (Photo Gerra & Somazzi).....	175
Photo 3.13. Lamantins (Photo Bateman, 1987).....	194
Photo 3.14. Végétation sur sables littoraux à Montjoly (Créocéan)	197
Photo 3.15. Caïman noir et héron agami du marais de Kaw (Photos : Oiseaux de Guyane).....	199
Photo 4.1. Sterne élégante (Photo Alain Fossé).....	299

Photo 4.2. Albatros à bec jaune (Photo Bram Ferdinande).....301

Liste des Schémas

Schéma 2.1. Forage sans tubage complet : déblais déversés au niveau du fond (Créocéan, 2006) ...24

Schéma 2.2. Forage avec tubage complet : déblais déversés au niveau de la surface de la mer (Créocéan, 2006)25

Schéma 2.3. Principe de la séparation boue / déblais de forage mise en œuvre à bord du West Polaris (Source : MI-SWACO)26

Schéma 2.4. Pourcentage final d’huile dans les déblais de forage (Source : MI-SWACO)27

Schéma 3.1. Domaines de répartition des cétacés marins en Guyane (Créocéan, 2006)182

Schéma 3.2. Etagement de la mangrove (D’après Lescure et Tostain, 1989).....198

Schéma 4.1. Répartition des particules sur le fond en fonction de leur diamètre, sous l’action des courants.....235

Schéma 4.2. Dissémination simplifiée des déblais de forage278

Liste des Tableaux

Tableau 2.1. Coordonnées du forage (Tullow Oil, 2010)22

Tableau 2.2. Matrice des impacts du forage d’exploration en haute mer.....30

Tableau 3.1. Etat de la mer (fréquence en %) au large de la Guyane (FUGRO GEOS, 2005)40

Tableau 3.2. Débits de l’Amazone et des principaux fleuves guyanais (SDAGE Guyane).....56

Tableau 3.3. Valeurs de salinité au large de la Guyane.....57

Tableau 3.4. Températures de l’eau de mer au large de la Guyane64

Tableau 3.5. Valeurs de teneur en matières en suspension67

Tableau 3.6. Classification des eaux de baignade du littoral guyanais entre 2004 et 2009 (Ministère en charge de la Santé, 2010)81

Tableau 3.7. Seuils de qualité pour les nutriments dans les sédiments (Licari, 1998).....91

Tableau 3.8. Comparaison des teneurs en nutriments avec d’autres sites profonds (Créocéan, 2006)95

Tableau 3.9. Teneurs en métaux lourds des sédiments de Kawana (Créocéan, 2006)96

Tableau 3.10. Comparaison des teneurs en métaux lourds avec d’autres sites profonds (Créocéan, 2006)97

Tableau 3.11. Valeurs repères pour les teneurs en hydrocarbures dans les sédiments (REPOM).....98

Tableau 3.12. Comparaison des teneurs en hydrocarbures avec d’autres sites profonds (Créocéan, 2006)99

Tableau 3.13. Biomasse en chlorophylle au large de la Guyane104

Tableau 3.14. Composition général du peuplement de Kawana et d’autres zones bathyales (Créocéan, 2006)114

Tableau 3.15. Richesse spécifique du peuplement benthique de Kawana et d’autres zones bathyales (Créocéan, 2006)117

Tableau 3.16. Densité du peuplement benthique de Kawana et d'autres zones bathyales (Créocéan, 2006).....	117
Tableau 3.17. Diversité et équitabilité du peuplement benthique de Kawana et d'autres zones bathyales (Créocéan, 2006).....	118
Tableau 3.18. Biomasse totale du peuplement benthique de Kawana et d'autres zones bathyales (Créocéan, 2006).....	119
Tableau 3.19. Structure trophique du peuplement benthique de Kawana (Créocéan, 2006).....	119
Tableau 3.20. Nombre de montées et nombre de tortues luths femelles pondueuses en 2009 (Girondot, 2010a).....	134
Tableau 3.21. Variation de la densité en tortues marines à GM-ES-1 durant la période prévue pour le forage d'exploration (d'après Girondot, 2010a)	157
Tableau 3.22. Taille moyenne des groupes ou espèces d'oiseaux identifiés dans la zone de GM-ES-1 (d'après Chevalier, 2010).....	171
Tableau 3.23. Oiseaux côtiers potentiellement présents dans le domaine pélagique guyanais (Avibase, 2010, UICN, 2010)	173
Tableau 3.24. Oiseaux pélagiques potentiellement présents dans le domaine pélagique guyanais (Avibase, 2010, UICN, 2010)	174
Tableau 3.25. Nombre d'individus et taille moyenne des groupes d'oiseaux issus des survols menés au-delà du plateau continental entre septembre 2009 et mai 2010 (d'après Girondot & Russo, 2009a, b, c et Girondot, 2010c, d, e, f)	177
Tableau 3.26. Esquisse de la présence des grands groupes d'oiseaux au cours de l'année sur GM-ES-1	179
Tableau 3.27. Cétacés potentiellement présents dans les eaux guyanaises et leur statut UICN (Carpenter, 2002, UICN, 2010).....	181
Tableau 3.28. Effectifs mensuels des cétacés identifiés lors de la campagne sismique de 2009-2010 (d'après Girondot, 2010b).....	187
Tableau 3.29. Nombre d'individus et taille moyenne des groupes de cétacés au-delà du plateau continental (d'après Girondot & Ponge, 2006, Girondot 2010b, c, d, e, f et Girondot & Russo 2009a, b, c).....	192
Tableau 3.30. Présence qualitative des groupes de cétacés au cours de l'année sur GM-ES-1	193
Tableau 4.1. Estimation des volumes de déblais de forage (Tullow, juin 2010)	231
Tableau 4.2. Vitesse verticale de chute des particules.....	234
Tableau 4.3. Dispersion de particules rejetées en surface sur le site de forage	234
Tableau 4.4. Composition de la boue de forage (Tullow Oil, septembre 2010).....	236
Tableau 4.5. Caractéristiques des types de pétrole considérés (International Tankers Owners Pollution Federation).....	240
Tableau 4.6. Coefficient de partage sédiment / eau de contaminants caractéristiques du forage pétrolier (GRNC, INERIS).....	262
Tableau 4.7. Exemple de teneurs en contaminants d'un déblai de forage (METOCEAN, 1996)	263
Tableau 4.8. Exemple d'évaluation des quantités de contaminants des déblais de forage passant dans l'eau de mer	263
Tableau 4.9. Pourcentage des additifs dans la boue du forage sans tubage complet avant rejet dans l'environnement (Tullow Oil, septembre 2010)	264
Tableau 4.10. Pourcentage des additifs dans la boue du forage avec tubage complet (Tullow Oil, septembre 2010).....	265

Tableau 4.11. Concentration des additifs dans la boue du forage sans tubage complet avant rejet au niveau du fond de la mer (Tullow Oil, juin 2010)	269
Tableau 4.12. Nombre de tortues et de cétacés potentiellement présents dans la zone de la nappe (période janvier à mai).....	274
Tableau 4.13. Rehaussement moyen du fond dû au déversement des déblais de forage	279
Tableau 4.14. Exemple d'évaluation des effets de la bioaccumulation de métaux lourds sur les oiseaux marins piscivores	285
Tableau 4.15. Récapitulatif de l'intensité des effets du forage pétrolier de GM-ES-1 sur l'environnement naturel et humain	288
Tableau 4.16. Principe de notation de la fréquence et de la durée des effets	289
Tableau 4.17. Grille d'évaluation globale des effets.....	291
Tableau 4.18. Notation des effets du forage pétrolier d'exploration de GM-ES-1 sur l'environnement naturel et humain.....	292
Tableau 4.19. Matrice récapitulant la magnitude des effets sur l'environnement naturel et humain...	294
Tableau 4.20. Evaluation des l'interaction d'un éventuel rejet accidentel avec les zones de pêche en Guyane.....	308
Tableau 4.21. Présence potentielle de tortues et cétacés aux alentours de GM-ES-1	311
Tableau 5.1. Grille d'évaluation globale des effets.....	314

Liste des Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques du fluide Vassa LP 90 OA	332
Annexe 2 : Profils de courant (vitesse et direction) pour les mois de janvier à mai 2005 sur le site de Kawana	333
Annexe 3 : Modélisation de la distribution des tortues luths (<i>Dermochelys coriacea</i>), des tortues olivâtres (<i>Lepidochelys olivacea</i>) et des tortues vertes (<i>Chelonia mydas</i>) au large des côtes de la Guyane française (Girondot, 2010a).....	335
Annexe 4 : Etat des connaissances sur la distribution spatiotemporelle et l'abondance de l'avifaune du talus continental et de la zone océanique de Guyane française (Chevalier, 2010)	337
Annexe 5 : Distribution temporelle des cétacés sur les côtes de la Guyane française ; Premières analyses (Girondot, 2010b).....	338
Annexe 6 : Conventions internationales sur la faune sauvage marine applicables en Guyane française	339
Annexe 7 : Politique HSE (français) et gestion des sous-traitants incluant un volet HSE (anglais) de Tullow Oil.....	340

0 - AVANT-PROPOS

Afin de valider les résultats de la campagne de sismique 3D menée en 2009-2010, Tullow Oil souhaite procéder à la réalisation d'un forage d'exploration en pleine mer au large de la Guyane.

La présente étude d'impact constitue la Pièce n°3 du dossier de déclaration d'ouverture de travaux (DOT) à produire aux Services de l'Etat afin d'obtenir l'autorisation de réaliser ce forage.

Son but est d'évaluer la compatibilité de ce projet avec les contraintes environnementales et les activités humaines de la zone autour du forage GM-ES-1. La méthodologie adoptée pour analyser cette compatibilité repose sur plusieurs étapes :

- En premier, décrire le **projet**, c'est l'objet du chapitre 2,
- Ensuite, analyser **l'état actuel** du site et, plus largement, des zones marines et littorales de l'est de la Guyane (chapitre 3),
- Enfin, déterminer les **impacts du projet** sur l'environnement marin et proposer des mesures visant à **supprimer ou atténuer** ces effets, au chapitre 4.

Cette étude d'impact est accompagnée d'un résumé non technique et d'une liste de références bibliographiques.

Cette étude d'impact a été réalisée par Créocéan, Bureau de Conseil en environnement littoral et marin et en océanographie :

- Jean-Damien Bergeron et Xavier Dolbeau, pour la partie état actuel de l'environnement,
- Xavier Dolbeau, pour la description du projet et l'étude des impacts.

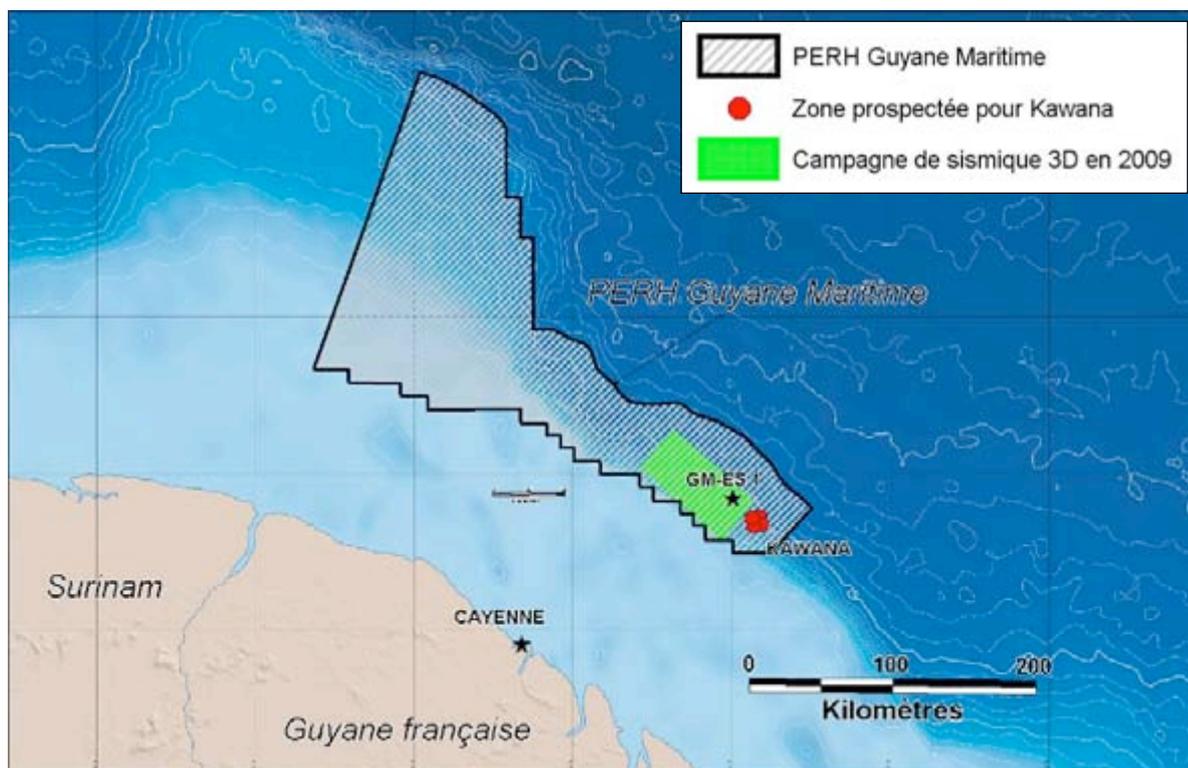
La description du milieu initial se base sur des études préexistantes, ainsi que sur l'analyse des observations des vertébrés faites sur la zone depuis 2009 par le Pr. Marc Girondot, de l'Université Paris Sud – AgroParisTech - CNRS.

L'étude a été supervisée par Eric Dutrieux, Directeur du projet, responsable du pôle Surveillance et Gestion de l'Environnement de Créocéan.

1 - RESUME NON TECHNIQUE

Des données existent dans la zone du forage d'exploration GM-ES-1, situé au-delà du talus continental, au large de la Guyane française. Une grande partie de ces informations a été acquise lors d'une campagne réalisée par Créocéan en 2006, en vue de l'analyse des impacts d'un forage d'exploration projeté à Kawana par la société Hardman Petroleum France SAS. Le site de Kawana est distant de 24 kilomètres de GM-ES-1, et présente les mêmes hauteurs d'eau. Depuis, d'autres données ont été obtenues pour la société Tullow Oil, maison-mère d'Hardman Petroleum France SAS, en lien avec une campagne de reconnaissance sismique 3D qui s'est déroulée fin 2009 et début 2010.

Figure 1.1. Localisation du site de forage GM-ES-1



Le plan de ce document comporte la description du projet, l'état actuel du site de forage GM-ES-1 et les effets de la réalisation du forage d'exploration projetée.

1.1 - Le forage d'exploration

La campagne de reconnaissance sismique 3D menée en 2009-2010 sur une superficie de 2 500 km² a mis en évidence les structures géologiques du talus continental et du début du domaine profond de l'Est guyanais. Le forage d'exploration GM-ES-1 vise à confirmer la présence d'hydrocarbures que la campagne de sismique 3D a semblé déceler.

L'opération sur site doit durer **approximativement deux mois**. Elle nécessitera la présence d'un navire de forage semi-submersible et de deux navires d'assistance. Des transports de personnels par hélicoptère entre la terre et le navire de forage sont également prévus.

1.2 - Description de l'état actuel du site de GM-ES-1

La description de l'état actuel du site (ou état initial) concerne le milieu physique, le milieu biologique et les activités humaines du site et de ses alentours.

1.2.1 - Un site où les courants sont variables et forts

L'analyse des courants au large de la Guyane montre deux situations contrastées :

- de janvier à juin, le courant est parallèle à la côte, dirigé vers le nord-ouest,
- de juillet à décembre, le courant est dévié vers l'est au droit du delta de l'Amazone. Ceci génère au large du plateau continental des gyres (boucles) de courant qui se déplacent vers les Antilles.

Les courants de surface de la zone de projet sont assez forts (0,7 à 0,8 m/s en moyenne sur l'année).

1.2.2 - Une eau pauvre en nutriments mais de bonne qualité

L'eau de mer du site proche de Kawana montre des faibles teneurs en éléments nutritifs (ou nutriments). Par ailleurs, les teneurs en contaminants (métaux lourds et hydrocarbures) sont faibles, hormis une valeur pour le zinc. On note en surface la présence saisonnière d'eaux plus douces et plus riches en nutriments, en provenance de l'embouchure de l'Amazone, voire des fleuves guyanais.

1.2.3 - Des sédiments fins sans traces de pollution

Sur le site voisin de Kawana, les sédiments sont composés de vases argileuses. Ils présentent des teneurs en nutriments faibles à élevées. La recherche de contaminants (métaux lourds et hydrocarbures) a montré des niveaux faibles, sauf pour l'aluminium, le cuivre, le nickel et le sélénium pour lesquels les niveaux de contamination sont moyens, voire élevé pour la borne supérieure de l'aluminium.

1.2.4 - Un milieu pauvre en phytoplancton

Les eaux du site de Kawana, situé à 24 km du forage GM-ES-1, contenaient peu de nutriments en juin 2006, ce qui n'est pas favorable au développement du phytoplancton, point de départ de la chaîne alimentaire. Cependant, l'influence saisonnière des apports en provenance de l'Amazone entraîne une augmentation de la concentration en phytoplancton.

1.2.5 - Un benthos riche, diversifié et largement répandu

La présence de nutriments dans le sédiment autorise le développement d'invertébrés sur et dans le fond marin : le benthos. Les données du site voisin de Kawana montrent un peuplement benthique riche et diversifié, composé de crustacés, de vers et de mollusques. Il est dominé par les espèces détritivores, c'est-à-dire se nourrissant de la matière organique du sédiment. Les espèces rencontrées sont communes et leur association se retrouve également dans l'ouest de la Guyane : ce peuplement est largement représenté au-delà du plateau continental de la Guyane, et ne présente pas un intérêt particulier.

1.2.6 - Un site avec peu de poissons près du fond

Le chalutage réalisé sur le fond à proximité du site voisin de Kawana a révélé peu d'espèces et peu d'individus. La zone de projet apparaît pauvre en poissons de fond.

1.2.7 - La présence de tortues marines est très faible sur le site

Cinq espèces de tortues marines fréquentent les eaux guyanaises. Il s'agit de la tortue luth, de la tortue verte, de la tortue olivâtre, de la tortue imbriquée et de la caouanne. Toutes ces espèces sont intégralement protégées en Guyane. Seules les trois premières espèces viennent pondre régulièrement en Guyane et dans l'est du Surinam.

L'évaluation de leur présence dans la zone du projet a été menée par trois approches complémentaires : modélisation de la présence en mer, survols de la zone élargie de GM-ES-1 et pose de balises Argos sur des tortues luths et olivâtres. Ces trois méthodes concluent à la présence saisonnière de tortues dans l'emprise du projet, avec des densités très faibles.

1.2.8 - Une présence de cétacés avérée

La bibliographie mentionne une vingtaine d'espèces potentiellement présentes dans la zone du talus continental et du domaine profond guyanais, dans laquelle se trouve le forage GM-ES-1. Ces espèces y sont, de manière permanente ou saisonnière. Cette présence a été confirmée lors d'opérations en mer depuis 2005, mais aussi grâce à des campagnes de survol en 2006, 2008, 2009 et 2010. Ces investigations ont permis d'identifier au moins 15 espèces au-delà du plateau continental.

1.2.9 - Des usages maritimes limités

La pêche industrielle à la crevette et la navigation de commerce sont les seuls usages répertoriés au voisinage la zone du projet.

Bien que s'étendant théoriquement jusqu'à des fonds de 1 000 m, la pêche à la crevette est actuellement cantonnée au plateau continental. La pêche au vivaneau peut, quant à elle, s'exercer à l'aplomb de hauteurs d'eau allant jusqu'à 1 000 m. Le navire de pêche le plus proche du site de forage d'exploration GM-ES-1 a été observé à environ 35 km de celui-ci.

La zone du projet est susceptible de recouper des couloirs de navigation commerciale.

1.3 - Impacts du forage d'exploration

La méthodologie utilisée pour analyser les effets du projet liste les sources d'impacts, puis évalue la magnitude des effets sur chaque composante de l'environnement naturel et humain. Des mesures d'accompagnement du projet sont ensuite évoquées.

1.3.1 - Des sources d'impacts en nombre réduit

Les sources d'impact du forage d'exploration sont :

- Les supports nautiques, du fait de leur présence, de leurs émissions solides, liquides et gazeuses, de leurs bruits, ainsi que leur éclairage,
- Les déblais de forage,
- Le bouchage (ou fermeture) et l'abandon du puits.

Une source complémentaire d'impact est un éventuel rejet accidentel d'hydrocarbures, suite à une rupture de flexible lors du remplissage d'une cuve de carburant. C'est un évènement très peu fréquent.

1.3.2 - Des impacts de magnitude variable

Chaque source d'impact est mise en regard de toutes les composantes de l'environnement. La magnitude de chaque couple « source/composante » est évaluée sous trois aspects :

- l'intensité, qui représente l'ampleur de la perturbation par rapport à l'état actuel (par exemple, la teneur actuelle en polluants, la présence de la vie marine ou l'effet sur les usages existants),
- le paramètre temporel qui couple la fréquence de l'impact et la durée de son effet sur chaque composante concernée,
- la sensibilité de la composante environnementale, basée sur la capacité de renouvellement du milieu (pour les paramètres physiques ou son statut de protection pour la biologie).

Chacun de ses aspects est noté entre 0 et 3.

La notation finale est obtenue en multipliant les trois notes intermédiaires. Le total est alors comparé à une grille de magnitude. L'analyse des impacts du projet de forage d'exploration sur le site de GM-ES-1 est résumée dans le tableau suivant.

Sources d'impact	Eau					Sédiment				Air		Usages	
	Physicochimie	Plancton	Poissons	Tortues	Cétacés	Bathymétrie	Nature du fond	Physicochimie	Benthos	Qualité	Oiseaux	Pêche	Trafic maritime
Présence du navire sur la mer et vibrations			D	D	D						D	D	D
Ancrages			D	D	D	D			D				D
Eaux usées	D	D	I	I	I						I	I	
Rejets liquides accidentels	D	D	I	I	I						I	I	
Déchets	D			D	D						D		
Pollution lumineuse		D	I	I	I						I		
Emissions des moteurs										D			
Déblais et boues au début du forage			I			D	D	D	D				
Déblais en seconde partie de forage	D	I	I	I	I	D	D	D	D		I	I	
Fermeture de puits						D	D		D				
Rejet accidentel d'hydrocarbures	D	D	D	D	D						D	D	

Code de couleur de la magnitude des impacts

Impact nul ou positif	< 3	Impact négligeable à faible	3 à 8	Impact faible à moyen	9 à 16	Impact moyen à fort	17 à 30	Impact fort à très fort	> 30
-----------------------	-----	-----------------------------	-------	-----------------------	--------	---------------------	---------	-------------------------	------

D: Impact direct

I: Impact indirect

L'analyse montre que les impacts du forage sur le site de GM-ES-1 sont nuls à faibles. Ceci tient à la fois à la faible durée des opérations (environ 2 mois) et à l'absence d'effets significatifs prévus sur les composantes les plus sensibles de l'environnement (tortues, cétacés et pêche) du fait de leurs faibles densités sur la zone du projet.

1.3.3 - Mesures d'atténuation du projet

Même si les effets sur les différentes composantes de l'environnement sont faibles, des mesures de réduction des effets peuvent être proposées. Elles sont essentiellement liées aux bonnes pratiques à bord des navires. Celles-ci sont intégrées dans les procédures HSE (Hygiène, Sécurité et Environnement) qui seront mises en œuvre pour l'ensemble du projet et qui sont en accord avec les standards internationaux applicables.

Aucune mesure compensatoire n'est proposée.

2 - RAPPELS SUR LE PROJET

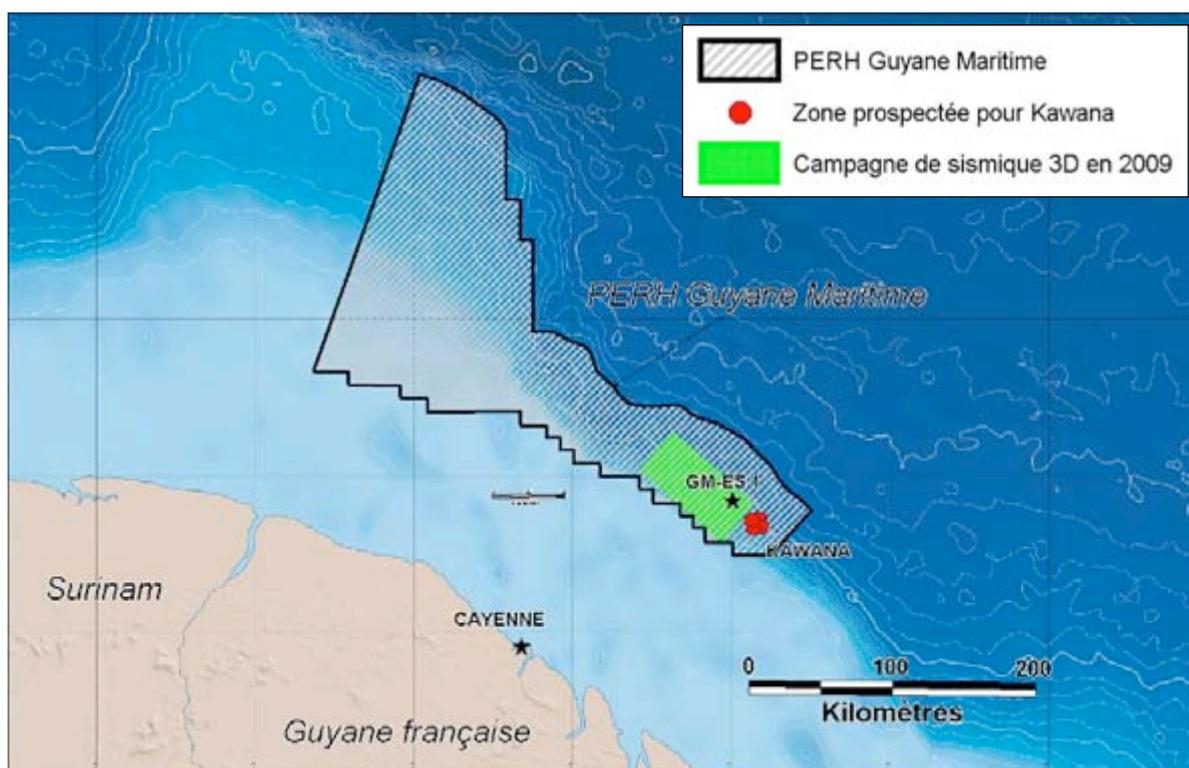
Tullow Oil envisage de procéder à la réalisation d'un forage d'exploration pétrolière sur le site de GM-ES-1 au cours de la période allant de janvier à mai 2011.

2.1 - Un forage d'exploration au-delà du plateau continental

Le site de forage GM-ES-1 se trouve à un peu plus de 160 km au large des côtes de la Guyane, à proximité du site de Kawana, dans le Permis Exclusif de Recherche d'Hydrocarbures (PERH) Guyane Maritime (**Figure 2.1**). Ce PERH est détenu par la société Tullow Oil, maison-mère d'Hardman Petroleum France SAS.

Les hauteurs d'eau du site de forage sont voisines de 2 400 m, c'est-à-dire au-delà du plateau continental, au pied du talus continental, dans le domaine profond.

Figure 2.1. Localisation du site de forage GM-ES-1 au large de la Guyane



2.2 - Un forage pour confirmer les résultats de la campagne sismique de 2009

En 2009, Tullow Oil a réalisé une campagne sismique 3D de grande ampleur au large de l'Est guyanais, sur une zone de 2 500 km². Au sein de ce périmètre, des prospects, c'est-à-dire des zones potentielles d'accumulation d'hydrocarbures, ont été identifiées. Le forage d'exploration a pour vocation de confirmer les résultats de la campagne sismique en allant recouper les différents horizons géologiques jusqu'à un réservoir potentiel. Après réalisation du forage, le puits est rebouché et abandonné.

En cas de validation des hypothèses sur le réservoir (présence d'hydrocarbures, propriétés du réservoir ...), il est souvent nécessaire de forer plusieurs puits ultérieurement pour mieux connaître le gisement, son extension géographique, le volume d'hydrocarbures récupérables, avant de décider une éventuelle mise en production du réservoir. Ce rapport ne concerne pas un forage d'exploitation d'une ressource en hydrocarbures.

Les coordonnées du site de forage sont fournies dans le **Tableau 2.1**.

Tableau 2.1. Coordonnées du forage (Tullow Oil, 2010)

Site	Latitude (WGS84)	Longitude (WGS84)	Profondeur d'eau
GM-ES-1	5°51'00.65" N	51°00'25.45"W	2 389 m

2.2.1 - Une opération nécessitant des moyens nautiques spécialisés

Le premier élément du forage en mer est le support nautique. Pour le forage GM-ES-1, c'est un navire à positionnement dynamique qui sera utilisé, le West Polaris opéré par la société Seadrill Limited. Dépourvu de système d'ancrage, il maintient sa position pendant le forage grâce à des moteurs commandés par un système de positionnement par satellite.



Le West Polaris de la société Seadrill

Le navire de forage (non mobile pendant le forage) sera accompagné de deux navires auxiliaires : un chien de garde chargé de le protéger en assurant une zone d'exclusion de 500 m autour du bateau de forage, et une unité faisant des navettes avec la terre.

Une fois les opérations terminées, les moyens nautiques sont démobilisés et quittent le site.

Les impacts potentiels des moyens nautiques, et de la population qu'ils hébergent, incluent :

- une éventuelle interférence avec les usages maritimes,
- une interférence avec la faune nectonique¹, voire benthique²,
- le rejet des eaux usées (sanitaires, lessive, nettoyage),
- des rejets accidentels, souvent en liaison avec à l'entretien des navires (lubrifiants, huiles hydrauliques, ...),
- des déchets solides,
- des vibrations dues aux moteurs et groupes nécessaires au forage et à la vie à bord,
- une pollution lumineuse : feux des navires et éclairage pour des questions de sécurité des personnels lors des travaux de nuit,
- des émissions atmosphériques dues aux moteurs.

¹ Nectonique : qui nage, se déplace dans la colonne d'eau.

² Benthique : qui vit sur le fond ou dans les sédiments.

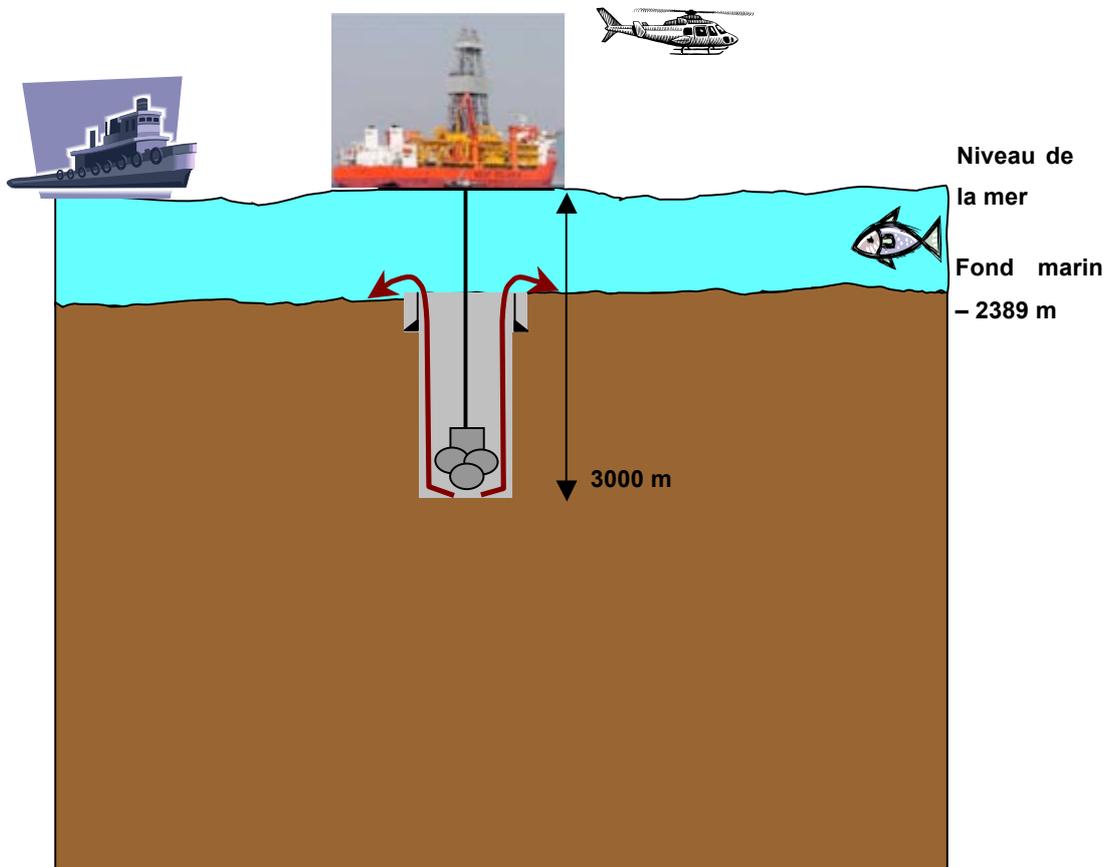
2.2.2 - Une opération générant des déblais de forage

Le forage consiste à broyer les sédiments et les roches, afin de constituer un puits jusqu'au réservoir géologique. Ces sédiments et roches sont mêlés au fluide utilisé pour le forage (eau ou boue) et forment les déblais de forage.

2.2.2.1 - Au début du forage (forage pilote)

Au début du forage, le tubage est simplement posé entre le fond marin et le bas du forage. Il n'existe pas de lien entre le support de forage et le fond marin.

Schéma 2.1. Forage sans tubage complet : déblais déversés au niveau du fond (Créocécian, 2006)



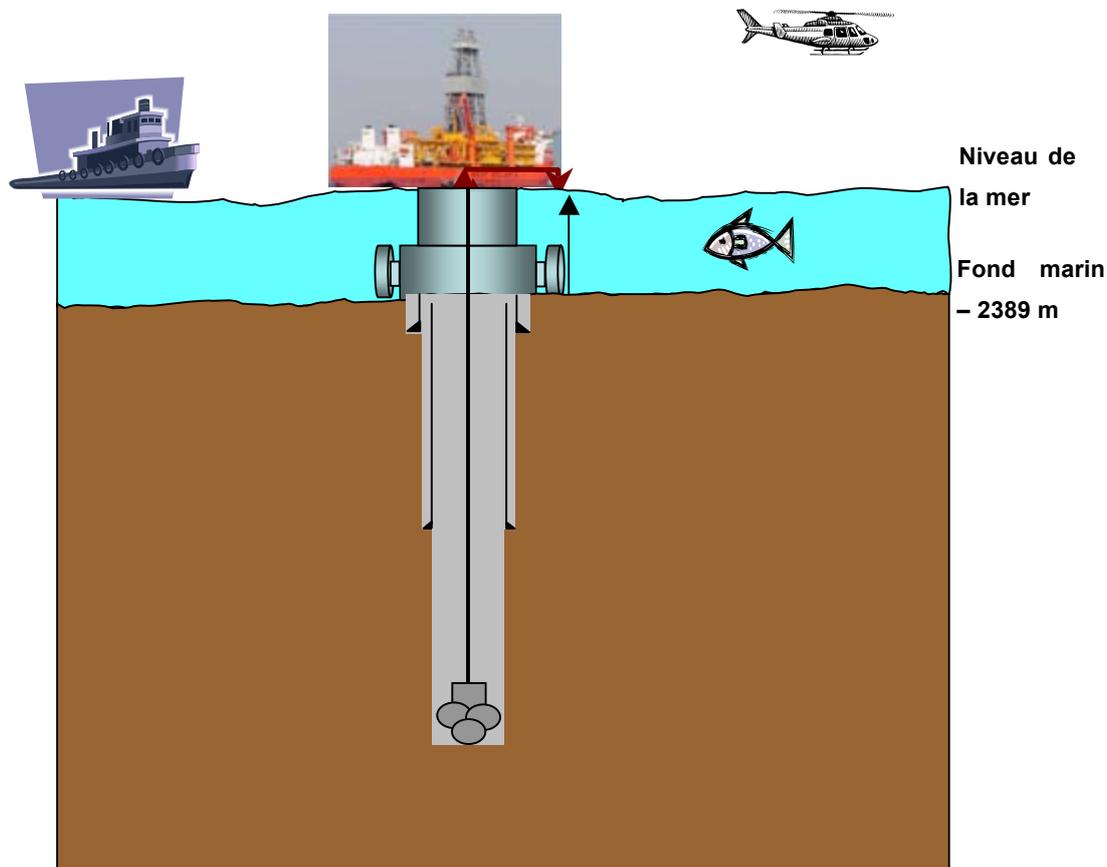
Forage du puits en diamètre 26"

Le fluide de forage est perdu. Les déblais de forage, poussés par la pression du fluide de forage (au centre du train de tiges), remontent par l'espace entre les tiges et les parois du trou. Ils s'épandent sur le fond marin, où ils sont faiblement dispersés par les courants.

2.2.2.2 - Seconde partie du forage

Le tubage complet est mis en place. Il permet un lien entre le support de forage et l'outil. Une **circulation de la boue est mise en place** : la boue descend par l'intérieur du train de tiges et remonte le long du tubage jusqu'au support de forage.

Schéma 2.2. Forage avec tubage complet : déblais déversés au niveau de la surface de la mer (Créocéan, 2006)

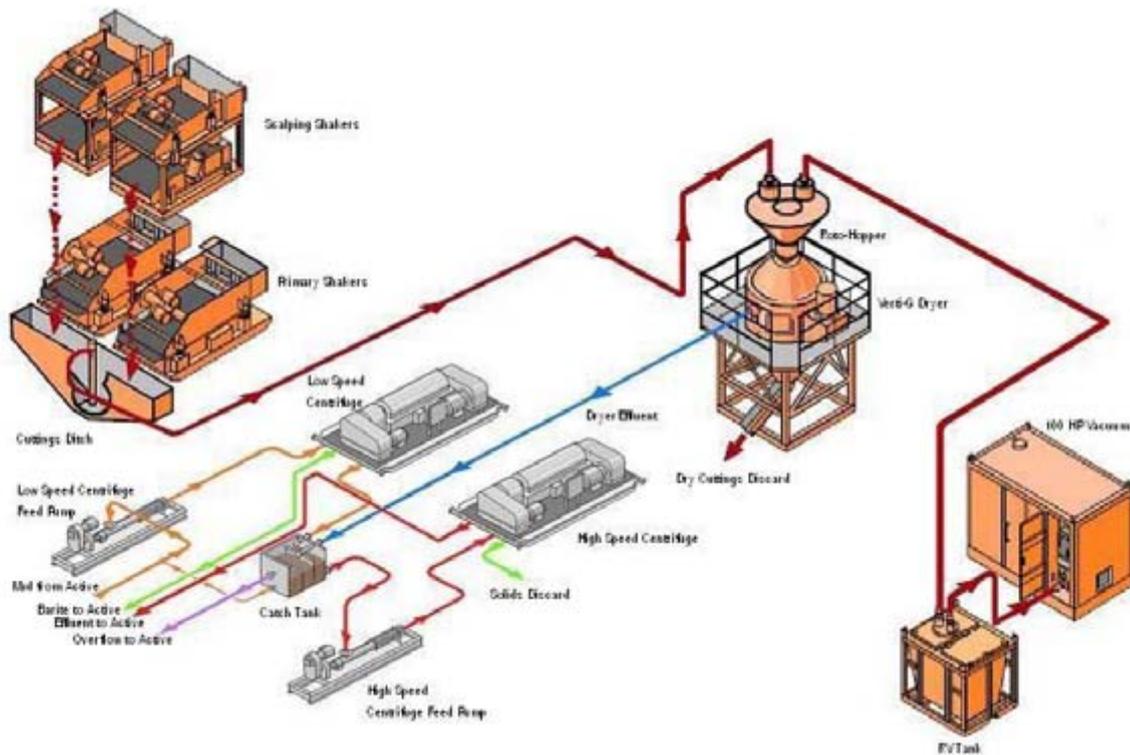


Forage du puits en diamètre 8 ½"

La boue qui sera utilisée durant la seconde phase de forage sera en partie à base d'eau et en partie à base du fluide Vassa LP 90 OA. Il s'agit d'un fluide à base d'huile synthétique à basse toxicité pour les travailleurs et l'environnement, et qui possède des bonnes caractéristiques de biodégradation (**Annexe 1**). Les tests écotoxicologiques sur les daphnies, les poissons, les crustacés et les crevettes ont montré des taux de survie excellents en toxicité aiguë, tout comme pour les essais de toxicité chronique, qui se situent au-dessus des niveaux minimaux.

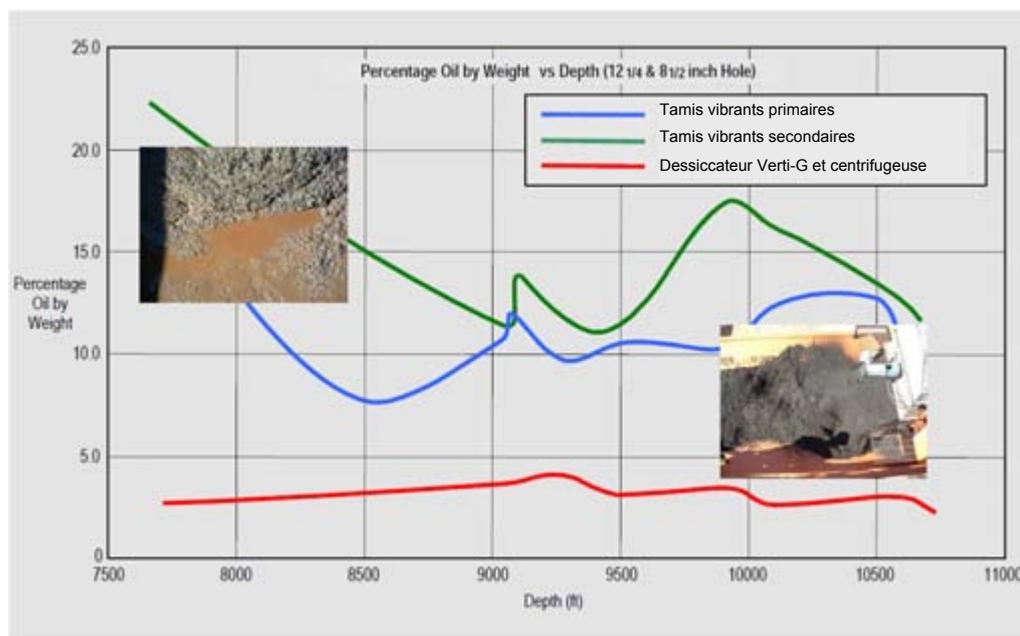
L'installation du tubage complet permet de recycler la boue : une fois de retour en surface, elle est débarrassée des déblais de forage (grâce aux équipements de séparation boue / déblais du navire de forage) et réinjectée en fond de trou par l'intérieur du train de tiges.

Schéma 2.3. Principe de la séparation boue / déblais de forage mise en œuvre à bord du West Polaris (Source : MI-SWACO)



Le système de séparation consiste en deux séries de tamis vibrants (« Shakers » en anglais) couplées avec un dessiccateur Verti-G et à une centrifugeuse sous vide. Ce système complet (cf. **Schéma 2.4**) permet d'abaisser à 5% les concentrations maximales en huile dans les déblais de forage, lorsque l'on fore avec un fluide à base d'huile de synthèse ou bien lorsque le forage atteint le réservoir d'hydrocarbures. Cette concentration maximale de 5% dans les déblais de forage satisfait le critère des réglementations internationales sur l'immersion de déblais de forage (dont la Convention de Barcelone).

Schéma 2.4. Pourcentage final d'huile dans les déblais de forage (Source : MI-SWACO)



Ce recyclage évite au maximum que les additifs de la boue de forage soient libérés dans l'environnement (source d'économies et bénéfique environnemental). **La boue de la seconde phase du forage n'est pas rejetée dans l'environnement : elle est stockée à bord.** A la fin des opérations, le prestataire en charge du forage récupérera le surplus de boue et le remettra à des filières agréées de traitement de ces déchets assimilables à des déchets industriels spéciaux.

Les déblais de forage séparés de la boue synthétique à basse toxicité sont ensuite déversés juste en-dessous de la surface de la mer. Les particules coulent plus ou moins vite, en fonction de leur poids. Les plus lourdes vont chuter assez rapidement et donc se retrouver aux alentours du support de forage, tandis que les plus légères (d'une taille comparable aux particules limoneuses ou argileuses) vont demeurer plus longtemps dans la colonne d'eau et se déplacer avec les courants marins.

2.2.2.3 - Effets des déblais de forage

En début de forage, le fluide de forage utilisé est en général à base d'eau. Les déblais et la boue de forage se déposent sur le fond. Bien que ces déblais contiennent des produits chimiques, ils ne seront pas imprégnés d'hydrocarbures naturels (provenant du réservoir géologique), car ce niveau ne sera atteint qu'en fin de forage, ou artificiels (pas de boue synthétique utilisée en début de forage).

On a alors création de monticules autour du forage, dont la taille dépend des courants et des effets de dispersion au niveau du fond marin. Les résultats sont donc une modification de la bathymétrie et de la nature du sédiment : les déblais de forage seront plus grossiers que le sédiment en place, ainsi qu'une légère contamination par les produits chimiques contenus dans les déblais et la boue de forage et qu'un enfouissement localisé du benthos.

La disparition du benthos sous les tas de déblais est compensée à moyen terme par une recolonisation par les organismes des zones proches non affectées. Dans l'exemple voisin de l'immersion des déblais de dragage, les peuplements benthiques sur les déblais se reconstituent au bout de quatre à six mois après la fin des déversements.

En seconde partie de forage, la boue (et ses additifs chimiques) est séparée des déblais à bord du navire de forage, puis réinjectée au centre du train de tiges : c'est le recyclage. Les déblais contiennent donc de **très faibles quantités de produits chimiques**. Une infime proportion de ces déblais peut contenir des hydrocarbures du réservoir et des reliquats de boue synthétique à basse toxicité utilisée en fin de forage. Ces déblais sont rejetés dans l'environnement sous la surface de la mer et se dispersent dans la colonne d'eau, puis sur le fond marin. La plupart des produits chimiques va rester liée à la surface des particules qui constituent les déblais (phénomène d'adsorption) et induire une altération minime de la qualité des sédiments. Seule une petite partie des produits chimiques pourra passer en phase dissoute et modifier, de manière négligeable, la qualité chimique de l'eau de mer.

2.2.3 - Une fin d'opération passant par la fermeture du puits

Une fois que le forage d'exploration a atteint le réservoir et ses objectifs de meilleure connaissance de la géologie, celui-ci est rebouché et abandonné. Pour cela, on utilise des mortiers de ciment pour l'étanchéité, afin d'éviter les fuites d'hydrocarbures depuis le réservoir géologique. L'obturation est réalisée en remontant, depuis le fond du forage, grâce à plusieurs bouchons répartis dans le forage. A cette occasion, une petite quantité de béton pourrait s'étaler sur le fond marin. Le béton est constitué essentiellement de chaux et d'argile (matériaux géologiques) ; il comporte aussi quelques adjuvants synthétiques. Ce matériau inerte est peu susceptible de relarguer les adjuvants dans l'eau de mer. En revanche, il induit une modification locale de la nature du fond meuble, en créant une zone analogue à des fonds rocheux.

Tous les éléments (autres que les déblais de forage) dépassant du fond sont retirés ; le tubage est laissé en place dans les sédiments et la roche.

Les effets sur l'environnement de la fermeture du puits sont négligeables.

2.2.4 - Une activité qui peut engendrer un rejet accidentel d'hydrocarbures

Le navire de forage dispose de réserves de carburants stockées dans des cuves. Il pourrait se produire une rupture accidentelle d'un flexible lors de leur remplissage, conduisant à un déversement d'hydrocarbures.

2.2.5 - Des effets qui intéressent de nombreux compartiments de l'environnement naturel et humain

Les effets génériques sur l'environnement d'un forage en mer, par grande profondeur d'eau, à plus de 160 km des côtes les plus proches sont synthétisés dans cette section. Une matrice des interactions entre le projet et les diverses composantes de l'environnement est donnée.

Elle différencie les effets directs des effets indirects d'une source sur une composante de l'environnement. Un exemple d'effet direct est celui des gaz d'échappement des moteurs sur la qualité de l'air. *A contrario*, l'effet des eaux usées sur les cétacés à fanons est indirect, au travers de son effet (direct) sur le plancton.

Le compartiment Eau regroupe les effets sur la qualité de l'eau et les compartiments vivants associés (plancton, poissons, tortues et cétacés), puis viennent les effets sur les sédiments et le benthos, sur l'air et enfin sur les activités humaines.

Tableau 2.2. Matrice des impacts du forage d'exploration en haute mer

Sources d'impact	Eau					Sédiment				Air		Usages	
	Physicochimie	Plancton	Poissons	Tortues	Cétacés	Bathymétrie	Nature du fond	Physicochimie	Benthos	Qualité	Oiseaux	Pêche	Trafic maritime
Présence du navire sur la mer et vibrations			D	D	D						D	D	D
Ancrages			D	D	D	D			D				D
Eaux usées	D	D	I	I	I						I	I	
Rejets liquides accidentels	D	D	I	I	I						I	I	
Déchets	D			D	D						D		
Pollution lumineuse		D	I	I	I						I		
Emissions des moteurs										D			
Déblais et boues au début du forage			I			D	D	D	D				
Déblais en seconde partie de forage	D	I	I	I	I	D	D	D	D		I	I	
Fermeture de puits						D	D		D				
Rejet accidentel d'hydrocarbures	D	D	D	D	D						D	D	

D : impact direct

I : impact indirect

3 - ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT

Le futur site de forage de Tullow Oil se situe à environ 24 km au Nord-Ouest du site de Kawana, dans des hauteurs d'eau identiques.

L'analyse de l'état initial du site et de son environnement consiste en une synthèse des très nombreuses données de l'étude d'impact réalisée par Créocéan en 2006 pour un forage d'exploration sur le site de Kawana. Des données plus récentes sur la faune ont été obtenues sur la zone du projet grâce à la pose de balises sur des tortues, à des observateurs embarqués sur des navires de géophysique et à de nombreux survols.

3.1 - Description du milieu physique

3.1.1 - Climatologie

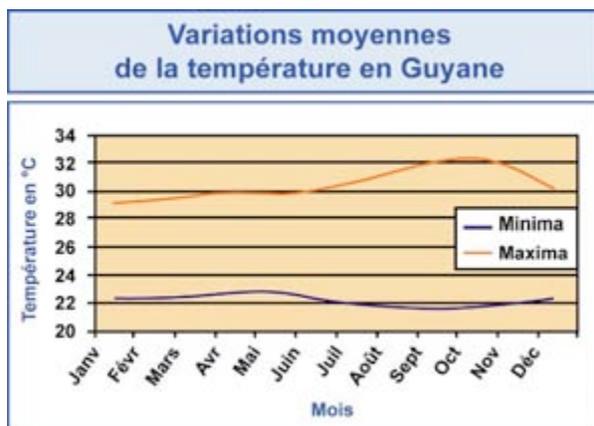
Cette section a été rédigée à partir de données de Météo France, disponibles sur Internet et commandées à l'aéroport Rochambeau.

La Guyane bénéficie, de par sa situation géographique, entre 2°N et 6°N, d'un climat de type équatorial humide. Cette position proche de l'équateur lui confère une bonne stabilité climatique : vents réguliers et températures qui varient peu au cours de l'année. Seules les précipitations connaissent des variations conséquentes, et c'est donc principalement ce paramètre qui détermine les saisons guyanaises.

3.1.1.1 - Températures, précipitations, insolation

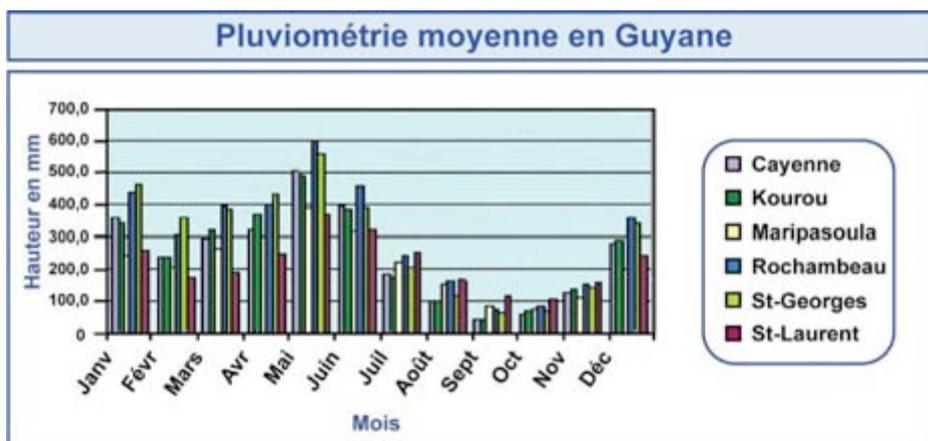
Les températures moyennes annuelles en Guyane sont de l'ordre de 26°C avec de faibles variations (4 à 5°C) en fonction des saisons (**Graphique 3.1**). On enregistre toutefois quelques minima de l'ordre de 17°C et maxima de l'ordre de 35°C.

Graphique 3.1. Variations moyennes de la température en Guyane (Météo France)



Le cycle des précipitations de la Guyane est déterminé en grande partie par la position de la Zone Intertropicale de Convergence (ZIC). La ZIC se situe au nord de la Guyane de juillet à novembre, c'est la saison sèche (**Graphique 3.2**). Puis la ZIC descend vers le sud et se place sur la Guyane, amenant de fortes précipitations. Elle y reste jusqu'en juin, avec une trêve en mars, lorsque la ZIC se déplace au sud de l'équateur : c'est le petit été de mars.

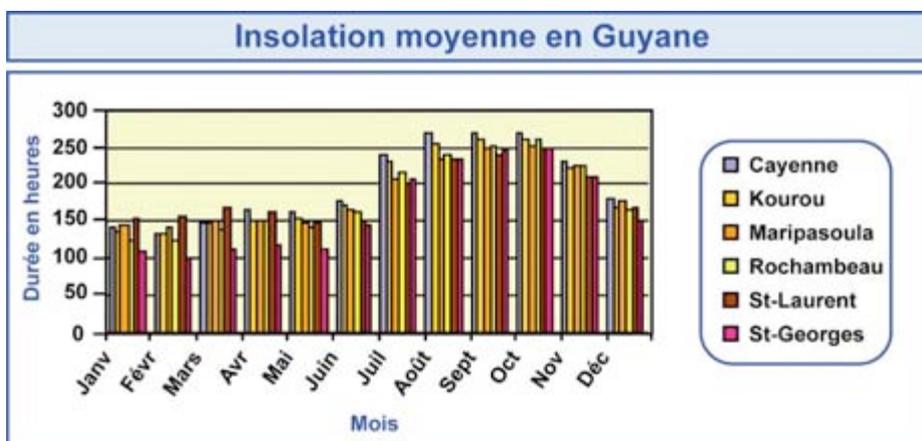
Graphique 3.2. Pluviométrie moyenne en Guyane (Météo France)



La pluviométrie annuelle sur l'ensemble du territoire peut varier considérablement, allant du simple au double, avec environ 1 700 millimètres dans la région du Nord-Ouest (Mana - Les Hattes) et près de 3 800 mm dans une zone délimitée par les communes de Kaw, Régina, Cacao et Matoury, ces différences étant dues à la forme du relief et à l'altitude plus élevée en bord de mer. La bande côtière (10 à 15 km de large) est, en général, moins arrosée que le proche intérieur. Les pluies sont en général fortes et de courte durée, elles ont lieu souvent la nuit.

La durée du jour est quasiment invariante tout au long de l'année. Le soleil passe deux fois au zénith, en mars et septembre. Malgré une pluviométrie très significative, la Guyane dispose d'un ensoleillement important, avec en moyenne 2 200 heures d'insolation annuelle, les maxima étant situés sur la bande côtière (**Graphique 3.3**).

Graphique 3.3. Insolation moyenne en Guyane (Météo France)

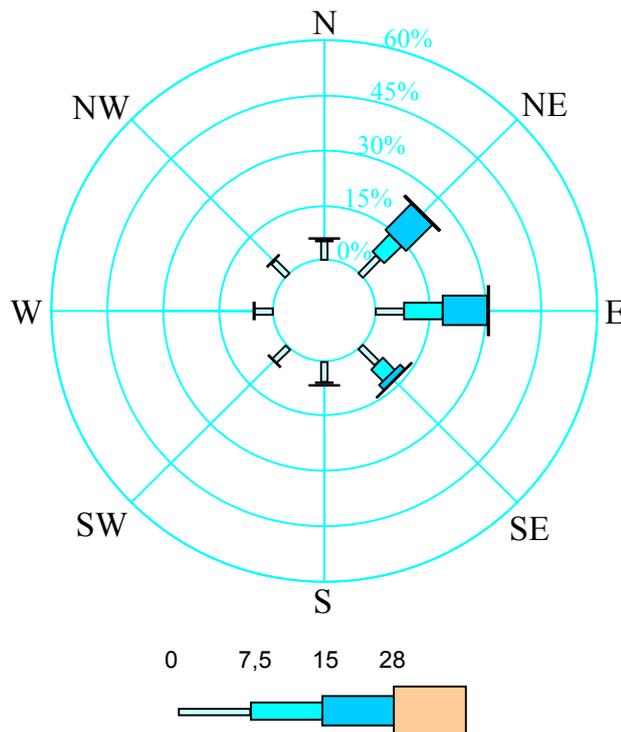


3.1.1.2 - Vents

Soumise au régime permanent des alizés, la Guyane est régulièrement ventilée par des flux de Nord-Est en saison des pluies et de Sud-Est en saison sèche. Ces vents sont faibles à modérés, on enregistre parfois quelques rafales sous les grains, le vent maximal enregistré ne dépasse pas les 80 km/h. On observe une variation diurne de la vitesse du vent en saison sèche surtout : calme la nuit, 15 à 25 km/h le jour. Ce phénomène est dû au régime de brises marines créé par les contrastes thermiques entre le continent et l'océan.

Le **Graphique 3.4** représente la rose des vents de l'aéroport de Rochambeau (Source : Météo France).

Graphique 3.4. Rose des vents à Rochambeau (Météo France, 2009)



Vitesse moyenne du vent à 10 m au-dessus du niveau du sol (km/h)

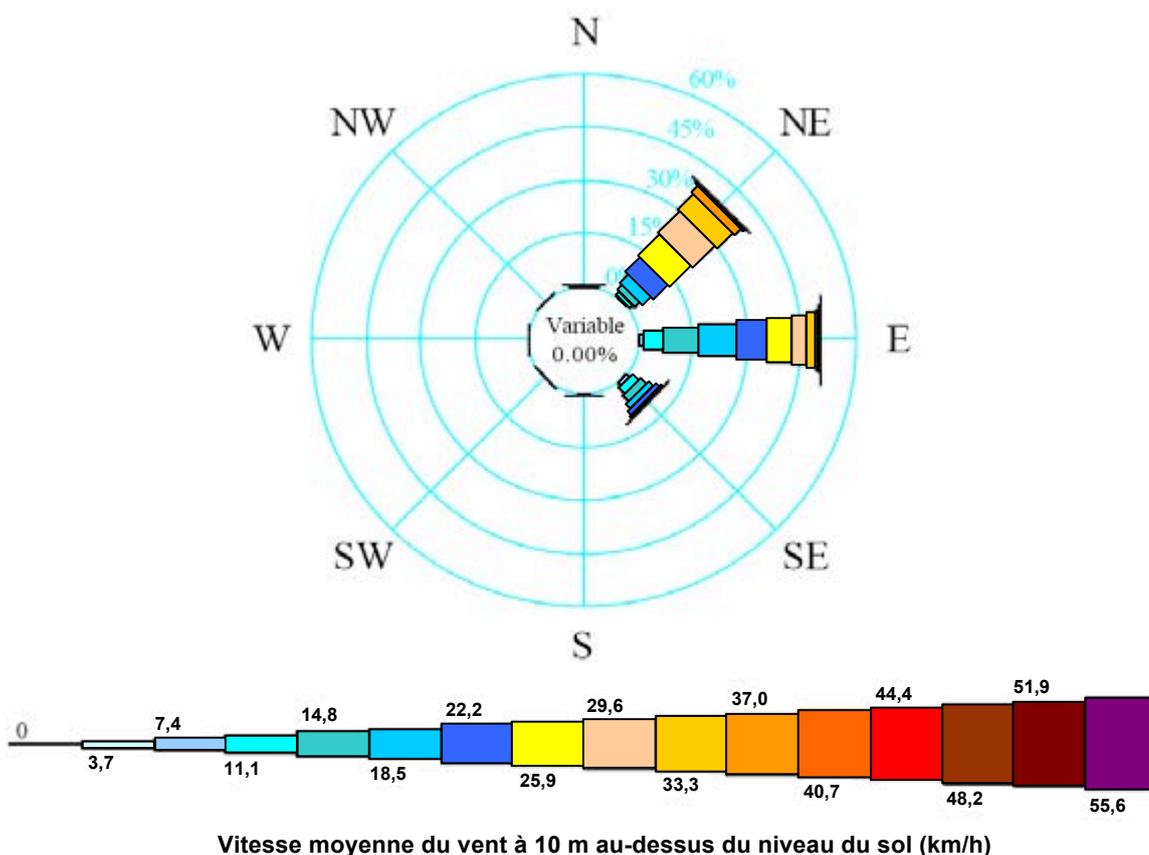
En ce qui concerne la force du vent, les mesures de 2009 enregistrées à l'aéroport de Rochambeau mettent en évidence que :

- 47% des vitesses des vents sont inférieures à 7,5 km/h,
- 25% des vitesses des vents sont comprises entre 7,5 et 15 km/h,
- 25% des vitesses des vents sont comprises entre 15 et 28 km/h.
- Seulement 3% des vitesses des vents sont supérieures à 28 km/h.

Pour ce qui est de la direction, les mesures mettent en évidence une légère dominance des vents de secteur Est à 32%. Les vents de secteur Nord-est représentent 25% des observations contre 13% pour les vents de secteur Sud-est.

Les données de vent les plus assimilables à celles du site d'étude proviennent d'une étude spécifique réalisée par FUGRO GEOS en novembre 2005 à partir de données satellitaires (période 1992-2004). Cette étude avait pour objectif de définir les critères océanographiques et météorologiques au large de la Guyane française. Le point de détermination se situe à 160 km de la côte et à environ 250 km à l'Ouest/Nord-Ouest du futur site de forage. Les données acquises sont reportées sur le **Graphique 3.5**.

Graphique 3.5. Rose des vents au large de la Guyane (FUGRO GEOS, 2005)



On observe une bonne corrélation entre ces données du large et les données obtenues à terre. Les vents proviennent majoritairement de l'Est et du Nord-est (85% des observations), puis viennent les vents de Sud-est, beaucoup moins fréquents. On notera toutefois des vitesses plus élevées au large qu'à terre, avec une bonne représentation des vents supérieurs à 15-16 nœuds.

3.1.2 - Qualité de l'air

L'Observatoire Régional de l'Air de Guyane (ORA) évalue chaque jour la qualité de l'air grâce à un indice. Cet indice est basé sur la concentration de quatre composés indicateurs de pollution atmosphérique :

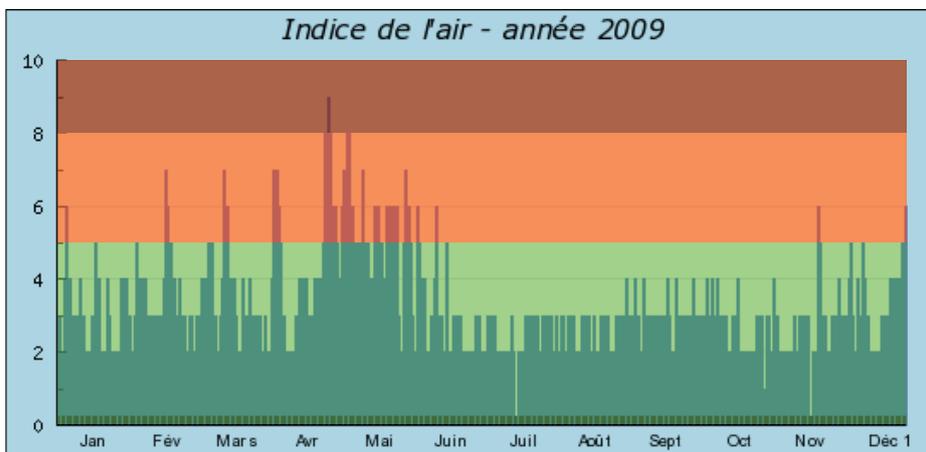
- L'ozone,
- Le dioxyde d'azote,
- Le dioxyde de soufre,
- Les particules en suspension (ou poussières de moins de 10 µm de diamètre).

L'indice de qualité de l'air varie de 1 à 10.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Très bon	Très bon	Bon	Bon	Moyen	Médiocre	Médiocre	Mauvais	Mauvais	Très mauvais

La qualité de l'air en Guyane est globalement bonne à très bonne, avec en très grande majorité des indices compris entre 1 et 4 (Source : ORA, valeurs pour l'année 2009 à Cayenne).

Graphique 3.6. Valeur journalière de l'indice de qualité de l'air (ORA)



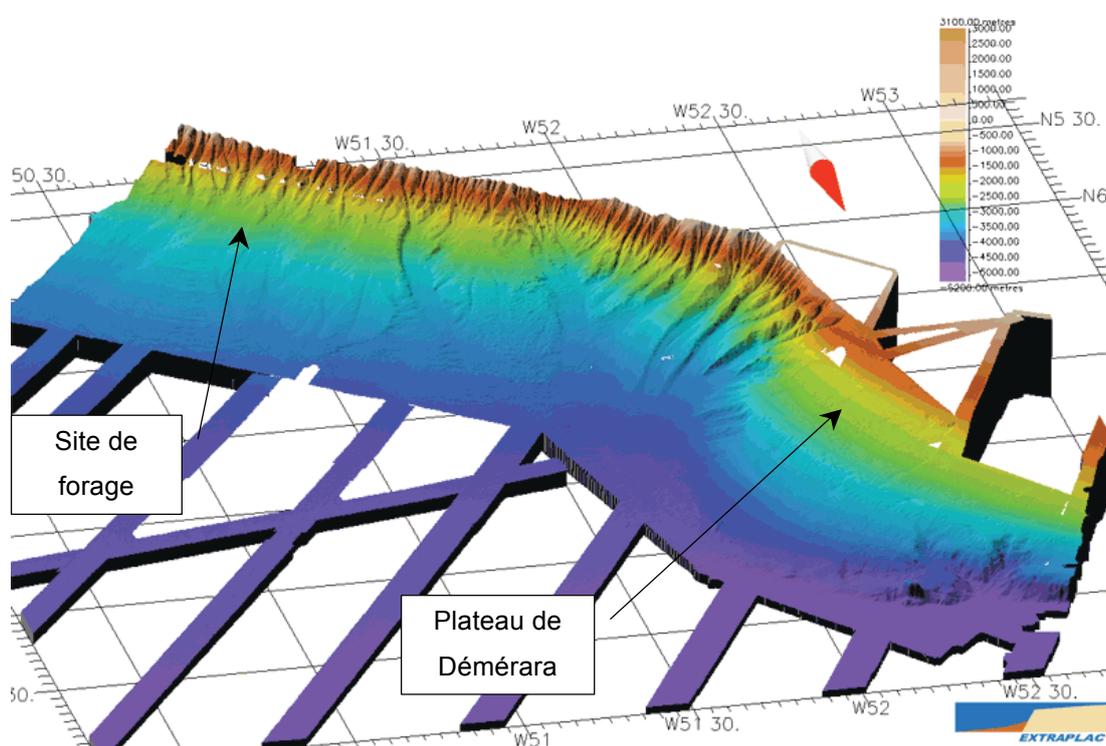
Compte tenu de l'éloignement du site de projet par rapport aux sources de pollutions que constituent notamment les centres urbains, on peut considérer que la qualité de l'air y est encore meilleure, avec une qualité bonne à très bonne.

3.1.3 - Océanographie

3.1.3.1 - Bathymétrie

La bathymétrie du domaine maritime au large du plateau continental de la Guyane française se caractérise par un talus très pentu, entaillé de canyons sous-marins (**Figure 3.1**). Les fonds montrent ensuite une pente plus faible, pour rejoindre la plaine abyssale de Démérara, avec ces 5000 m d'eau. Une zone se différencie par une pente plus douce, le Plateau de Démérara (au large de la frontière entre la Guyane française et le Surinam).

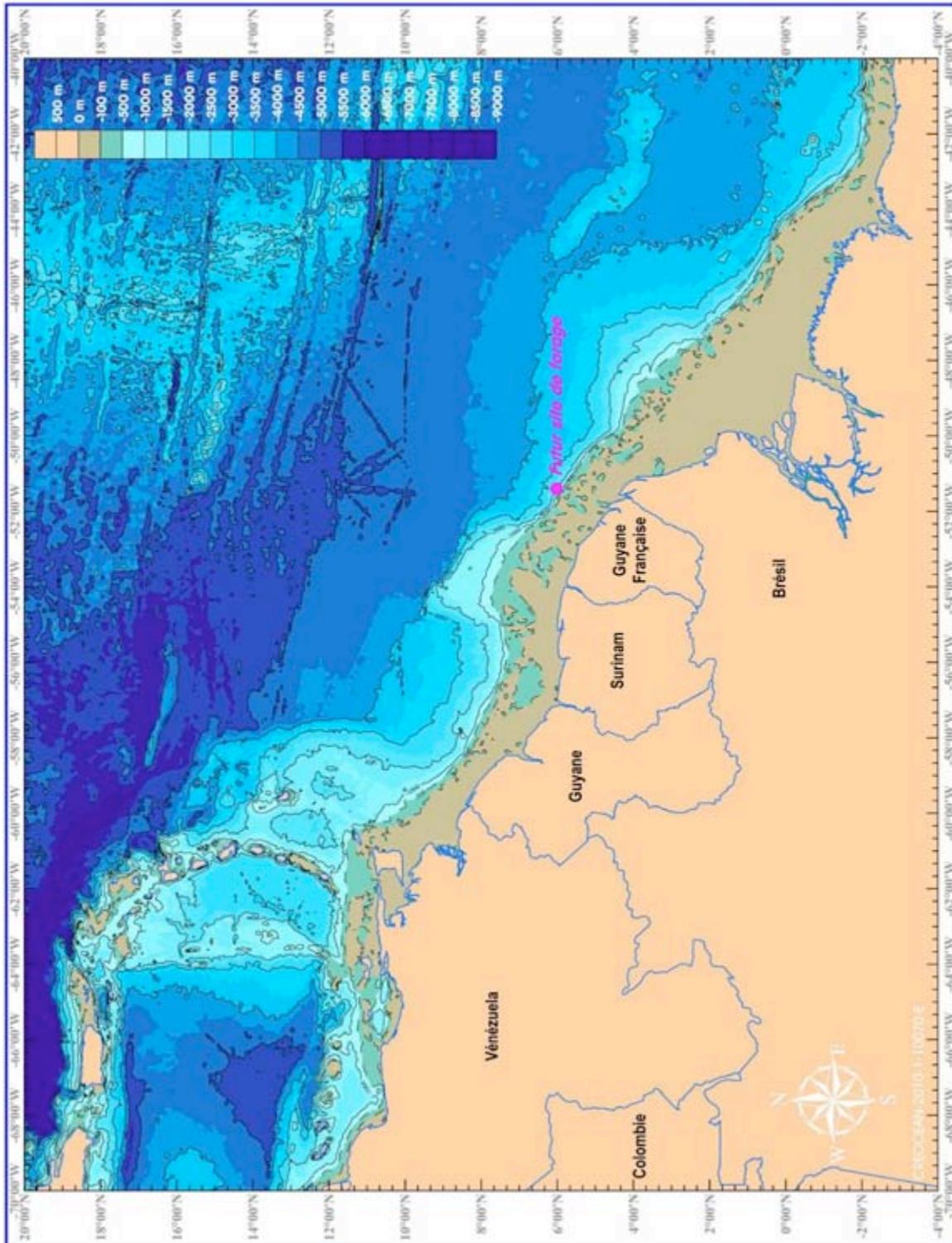
Figure 3.1. Bathymétrie au-delà du plateau continental guyanais (Ifremer, 2003)



NB : le nord est indiqué par la pointe de la flèche rouge et se situe dans l'angle en bas à droite de la figure.

La **Figure 3.2** replace le domaine maritime guyanais dans un contexte plus vaste, allant du Venezuela à l'embouchure de l'Amazone en passant par les petites Antilles.

Figure 3.2. Bathymétrie de l'arc antillais à l'embouchure de l'Amazone (ETOPO-2)



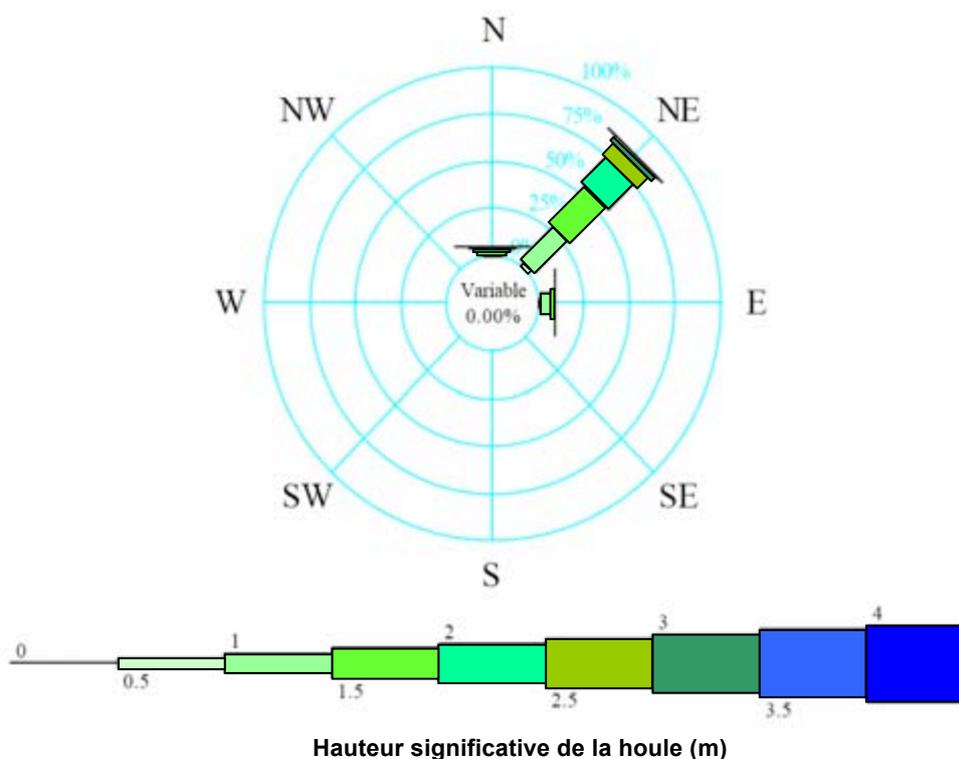
Le plateau continental de la Guyane française est compris entre 0 et 200 m de hauteur d'eau. Il s'étend à partir des côtes sur une largeur comprise entre 120 et 170 km. Au-delà, les fonds océaniques plongent rapidement pour atteindre 3000 m, sauf au niveau du Plateau de Démérara (cf. **Figure 3.1**) et de l'embouchure de l'Amazone.

Plus au large s'étend la plaine abyssale de Démérara, qui avoisine les 5000 m d'eau, puis les fonds remontent au niveau de la dorsale médio-atlantique qui culmine à 2900 m sous le niveau de la mer. On voit très bien les failles transformantes associées à la dorsale médio-atlantique, formant de longues dépressions orientées globalement d'est en ouest (**Figure 3.2**).

3.1.3.2 - Houles

Les hauteurs de houle ont été déterminées à partir de données acquises par satellites sur la période 1992-2004 (FUGRO GEOS, 2005).

Graphique 3.7. Rose des houles au large de la Guyane (FUGRO GEOS, 2005)



Au large de la Guyane, on note une nette prédominance des houles provenant du Nord-est (86% des observations). Les houles provenant du Nord et de l'Est sont minoritaires, et leur hauteur maximale est plus faible.

Le **Tableau 3.1** présente la répartition mensuelle des hauteurs de houle au large de la Guyane.

Tableau 3.1. Etat de la mer (fréquence en %) au large de la Guyane (FUGRO GEOS, 2005)

Hauteur des vagues (m)	J %	F %	M %	A %	M %	J %	J %	A %	S %	O %	N %	D %	Année %
< 0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5 à 1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	11,4	23,5	8,4	5,9	0,9	0,0	4,3
1,0 à 1,5	0,9	3,5	4,4	5,1	14,3	41,1	72,7	69,8	72,0	59,9	22,5	7,5	31,1
1,5 à 2,0	22,6	20,8	27,7	37,1	49,8	47,9	15,0	6,6	18,5	30,2	54,6	38,0	30,7
2,0 à 2,5	43,6	30,3	42,4	43,1	30,2	10,0	0,9	0,1	1,1	4,0	18,8	30,1	21,3
2,5 à 3,0	24,5	31,1	19,3	12,3	5,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	16,3	9,3
3,0 à 3,5	7,2	11,2	6,1	2,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	6,4	2,8
3,5 à 4,0	1,2	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,5
> 4,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	<0,1

Les données en gras surlignées en bleu correspondent aux fréquences mensuelles supérieures ou égales à 15%. On observe ainsi une nette variabilité saisonnière des hauteurs de vagues.

Entre novembre et juin, plus de 50% des houles sont de hauteur supérieure à 1,5 m. Les plus fortes houles sont observées entre décembre et mars avec des hauteurs de 3,5 à 4,0 m et quelque fois supérieures à 4,0 m, à des fréquences toutefois faibles. C'est également durant ces 4 mois que 60% des houles présentent des hauteurs supérieures à 2 m.

La période la plus calme au large de la Guyane s'établit entre juillet et septembre avec des minima au mois d'août (93,3% des houles < 1,5 m).

3.1.3.3 - Marées

D'après les données du Service Hydrographique et Météorologique de la Marine (SHOM), les marées sont de type semi-diurnes et présentent, aux Iles du Salut, un marnage de :

- 2,20 m en vive-eau moyenne (coefficient de 95),
- 1,10 m en morte-eau moyenne (coefficient de 45).

L'amplitude des marées s'estompe en allant vers le large.

3.1.3.4 - Courants

3.1.3.4.1 - Courants généraux

Au sud de l'équateur, un courant océanique nommé Courant Sud Equatorial traverse l'Atlantique d'Est en Ouest. Il s'étend de la surface jusqu'à une profondeur d'environ 100 mètres. La limite Nord de ce courant se trouve généralement aux environs de 4°N, tandis que la limite Sud est située entre 15 et 25°S. Autour de 10°S, à l'approche du plateau continental brésilien et du Cap San Roque, le Courant Sud Equatorial se sépare en deux branches distinctes, l'une partant vers le Sud sous le nom du Courant du Brésil, l'autre partant vers le Nord (branche la plus importante) pour donner naissance au Courant Nord Brésil. Le Courant Nord Brésil longe les côtes du Brésil, traverse l'équateur et entre dans l'hémisphère nord pour donner naissance au Courant de Guyane.

Le Courant de Guyane longe les côtes guyanaises parallèlement à la côte, sur une largeur de 200 à 300 milles. Les vitesses les plus importantes ont été enregistrées le long du talus continental. Elles varient entre 0,2 et 4,2 nœuds et présentent une variabilité saisonnière :

- vitesses maximales entre avril et mai,
- vitesses minimales entre septembre et novembre, en raison du déplacement de la Zone Intertropicale de Convergence et de l'alternance des vents dominants.

Entre juillet et décembre, le courant de Guyane subit une réflexion et rejoint le Contre Courant Nord Equatorial (dirigé vers l'Est). Ainsi au niveau de la latitude 5°N, le courant de Guyane tend à se diriger vers l'Est. Ce phénomène s'accompagne de tourbillons se déplaçant vers le Nord-ouest et les Caraïbes. Leur vitesse de déplacement est d'environ 12,5 km par jour et leur diamètre peut atteindre 400 km. Sur une année, sept à huit phénomènes de ce genre ont pu être quantifiés.

La modélisation des courants à partir des données de Mercator Océan³ a permis de décrire plus précisément les phénomènes observables quant à la circulation des eaux au large de la Guyane (Créocéan, 2006). Les résultats obtenus ont été confirmés par les observations satellite de chlorophylle-*a*, utilisée comme traceur du déplacement des masses d'eau océaniques (Créocéan, 2006).

³ Le Groupement d'Intérêt Public Mercator Océan (CNES, Ifremer, CNRS, SHOM, Météo France et IRD) assure l'exploitation opérationnelle d'un modèle de prévision océanique à haute résolution. Les paramètres d'entrées pour le système Mercator proviennent des observations réalisées par satellites ou en mer.

Evolution des courants de surface sur une année

Les observations générales faites à partir de ces modélisations (sur une période d'une année entre juillet 2004 et juin 2005) sont les suivantes ;

- Le Courant Nord Brésil est relativement important tout au long de l'année.
- Le phénomène de rétroflexion du Courant de Guyane dure environ 6 mois, entre juillet et décembre. Le phénomène va progressivement s'amplifier pour atteindre un maximum au mois de novembre (**Figure 3.3**). Les courants au large de la frontière Brésil/Guyane sont alors orientés vers le Nord-nord-est. On observe, également durant cette période et particulièrement en novembre, l'apparition de phénomènes tourbillonnaires à grande échelle.
- Lorsque le phénomène de rétroflexion diminue, à partir de janvier, le courant de Guyane devient prépondérant dans la zone d'étude. Il longe alors la côte du Brésil jusqu'aux Antilles. En ce qui concerne sa vitesse, elle est forte sur le plateau continental, puis tend à diminuer lorsque les fonds dépassent 2 000 m (vitesse < 0,2 m/s). Le Courant de Guyane est alors nettement orienté au Nord-Ouest. Le mois d'avril, représenté en **Figure 3.4**, est tout à fait caractéristique de cette période.

La **Figure 3.5** représente la vitesse moyenne en surface sur une année (juillet 2004 à juin 2005). Au large de la Guyane, les courants de surface les plus forts sont trouvés au niveau du plateau continental. Le courant porte principalement vers le Nord-Ouest, sauf au niveau de la rétroflexion où le courant porte vers l'Est. Les vitesses moyennes au niveau du futur point de forage sont relativement importantes avec des valeurs comprises entre 0,7 et 0,8 m/s.

Figure 3.3. Modélisation des courants de surface, novembre 2004 (Créocéan, 2006)

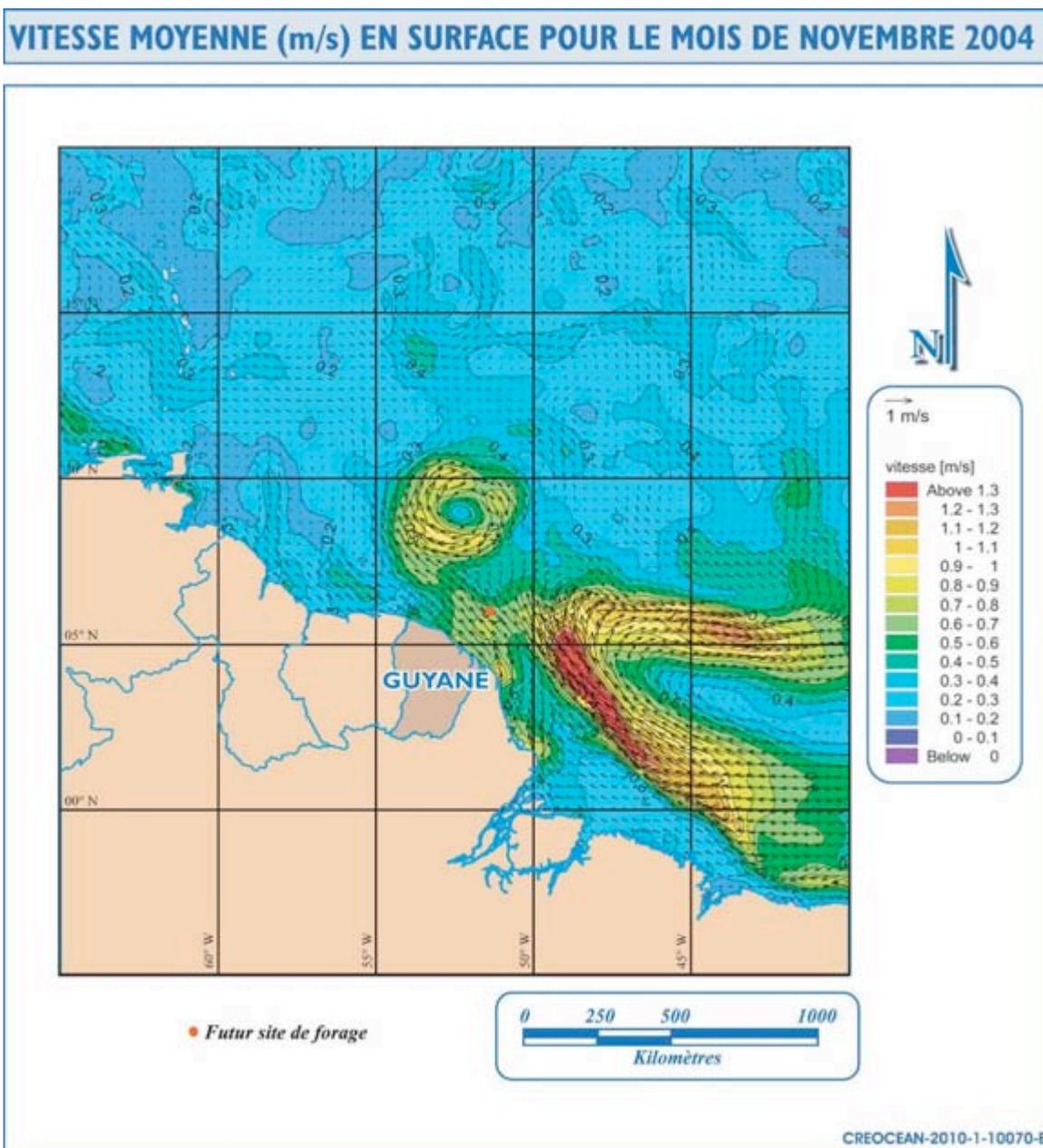


Figure 3.4. Modélisation des courants de surface, avril 2005 (Créocéan, 2006)

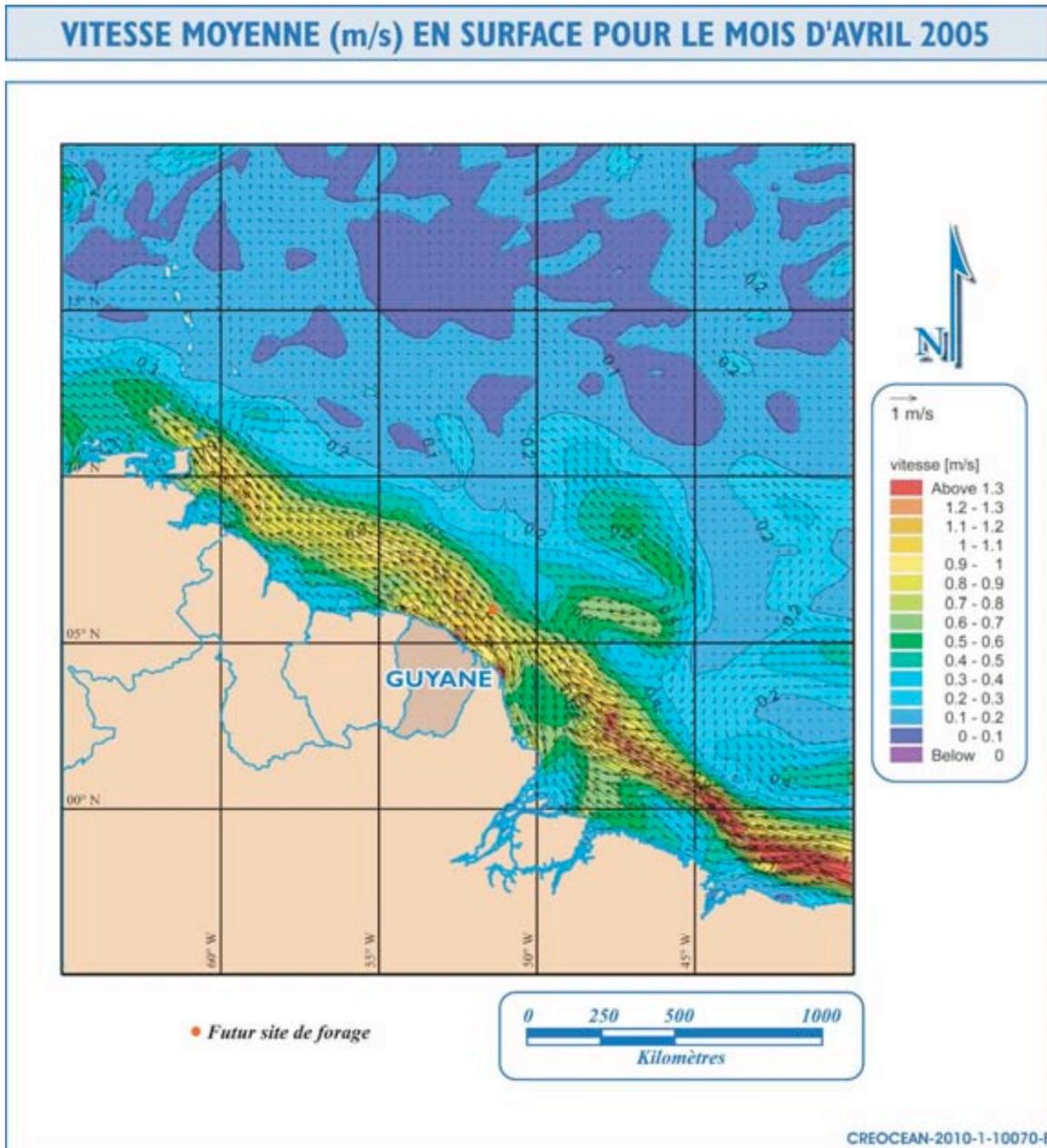
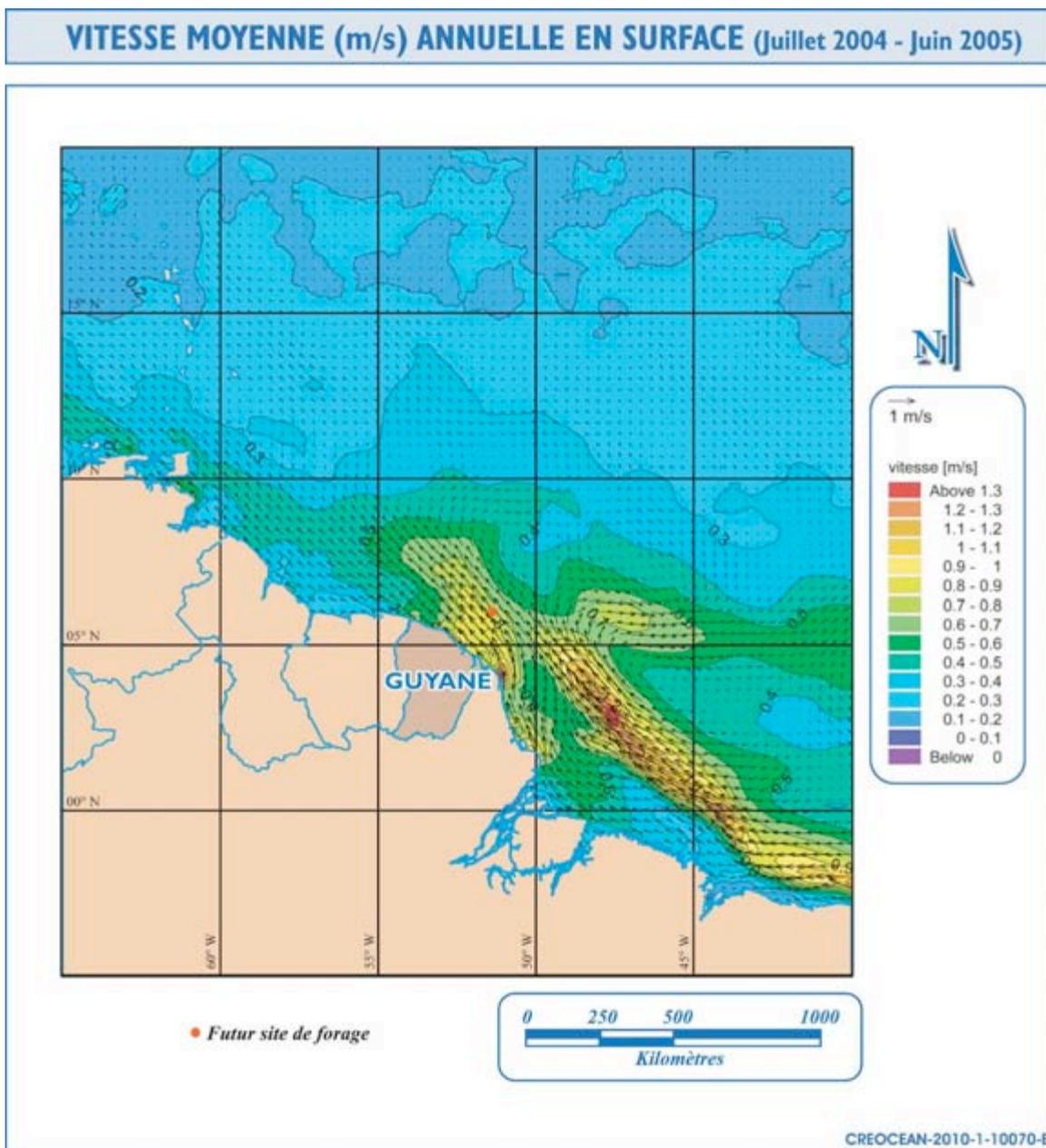


Figure 3.5. Vitesse moyenne annuelle des courants de surface : juillet 2004 à juin 2005 (Créocyan, 2006)



Evolution des courants pour les deux mois caractéristiques : novembre et avril

L'évolution des courants au cours du mois de novembre est représentée sur les **Figures 3.6 et 3.7**.

On observe en novembre l'importance du courant de réflexion. La direction et l'intensité du courant restent relativement constantes durant tout le mois. Au large des côtes guyanaises, on observe un tourbillon de grande échelle. L'intensité des courants y est importante, pouvant atteindre certains jours 1,3 m/s. Le phénomène tend à se déplacer vers l'Ouest. Au niveau des côtes guyanaises, l'intensité des courants est comprise entre 0,2 et 0,9 m/s et augmente durant la période considérée. Ces courants sont alors parallèles à la côte. A l'ouest de la Guyane, les courants sont relativement faibles, inférieurs à 0,5 m/s. Au niveau du futur site de forage, les courants sont compris entre 0,6 et 1,0 m/s et de direction Nord/Nord-Ouest.

L'évolution des courants au cours du mois d'avril est représentée sur les **Figures 3.8 et 3.9**.

En avril, les courants longeant les côtes brésiliennes et guyanaises conservent leur direction (Nord-Ouest) mais présentent des intensités variables. Durant cette période le Courant de Guyane est bien établi avec un phénomène de réflexion très faible. A l'Ouest de la Guyane on observe des amorces de phénomènes tourbillonnaires qui se déplacent peu à peu vers l'Ouest, entraînés par le Courant de Guyane. Au niveau du futur site de forage, les courants sont de l'ordre de 0,4-0,5 m/s et de direction Nord-nord-ouest.

Figure 3.6. Vitesse moyenne des courants de surface : début novembre 2004 (Créocéan, 2006)

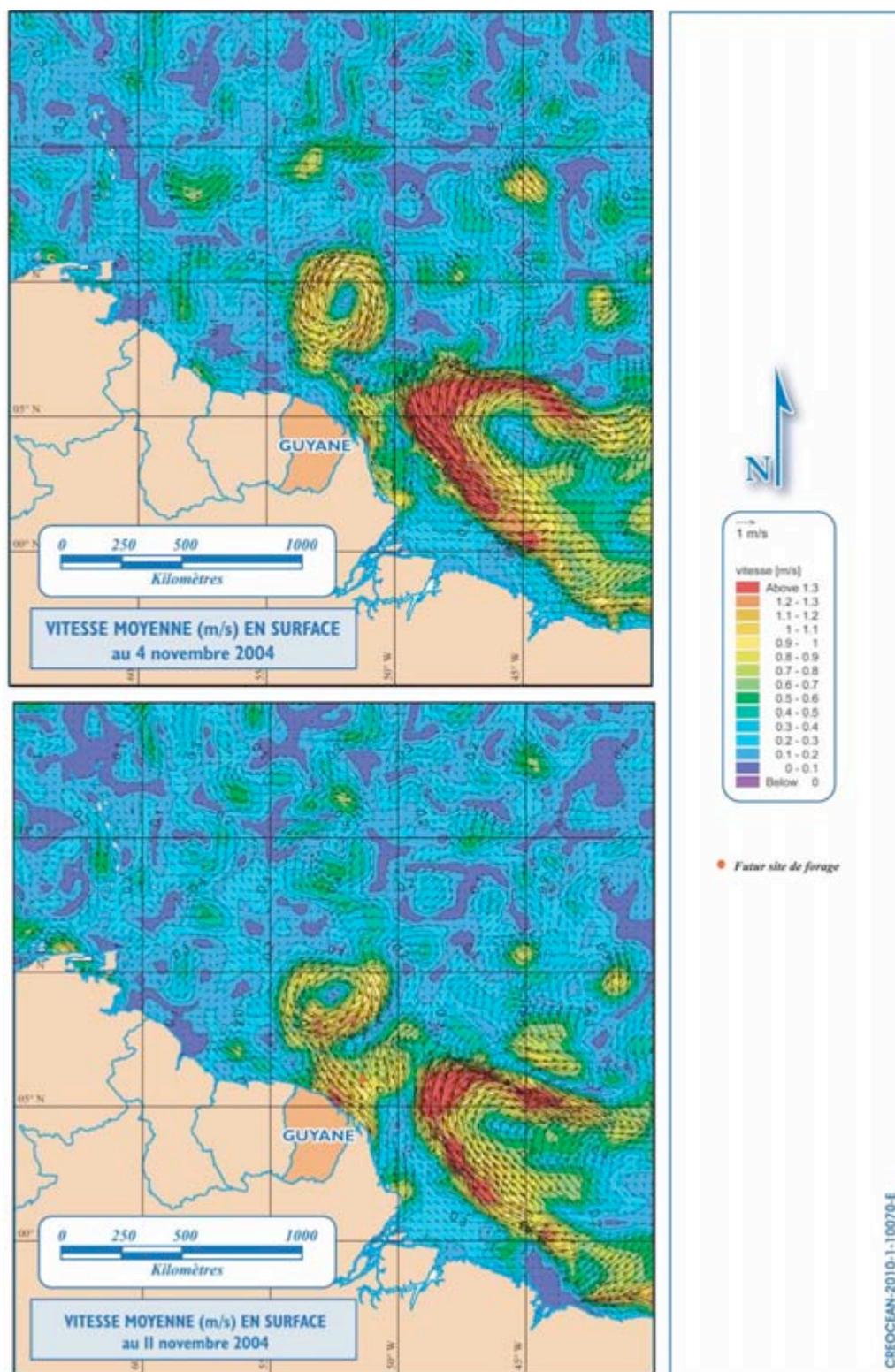


Figure 3.7. Vitesse moyenne des courants de surface : fin novembre 2004
(Créocéan, 2006)

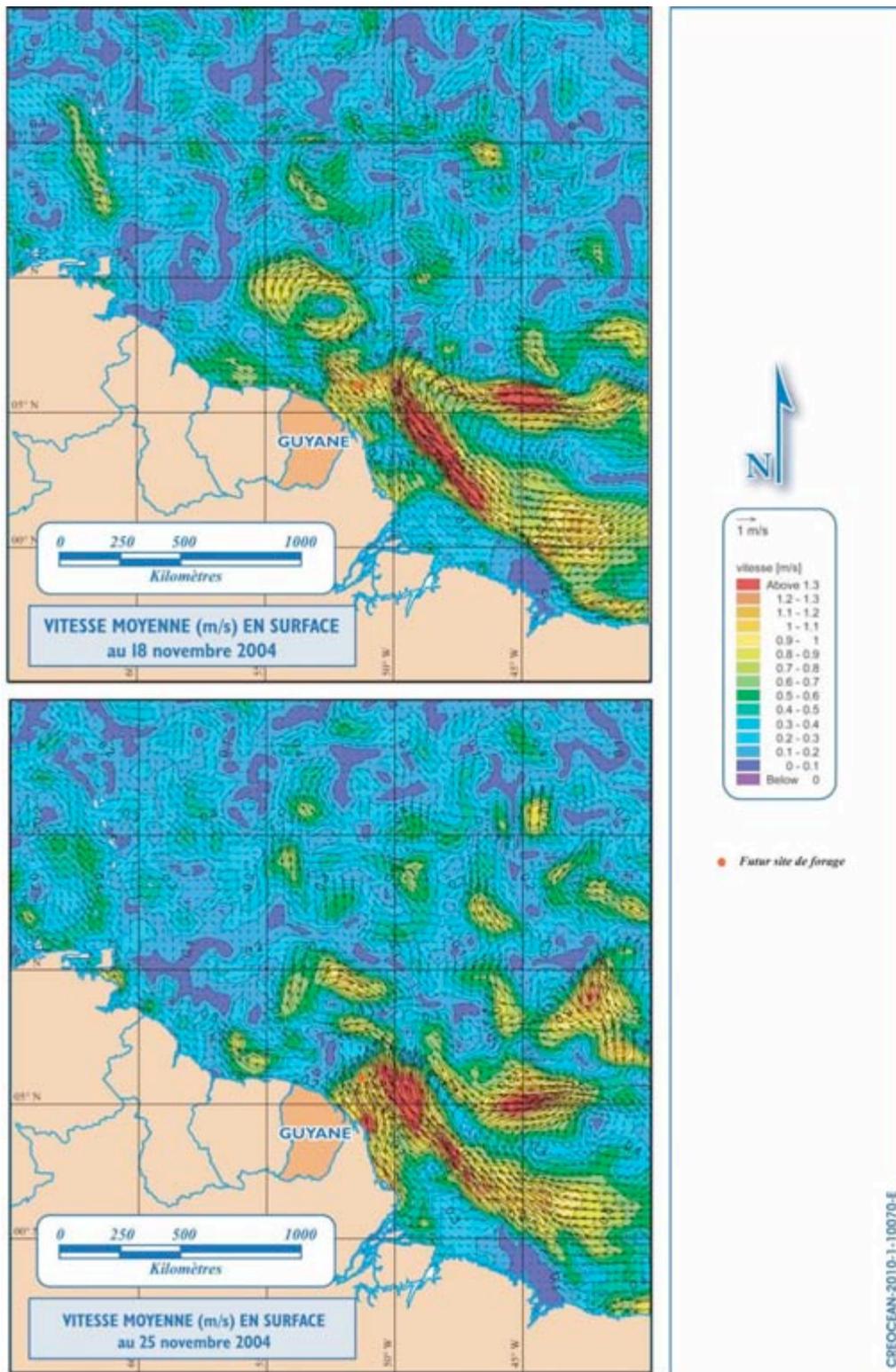


Figure 3.8. Vitesse moyenne des courants de surface : début avril 2005
(Créocéan, 2006)

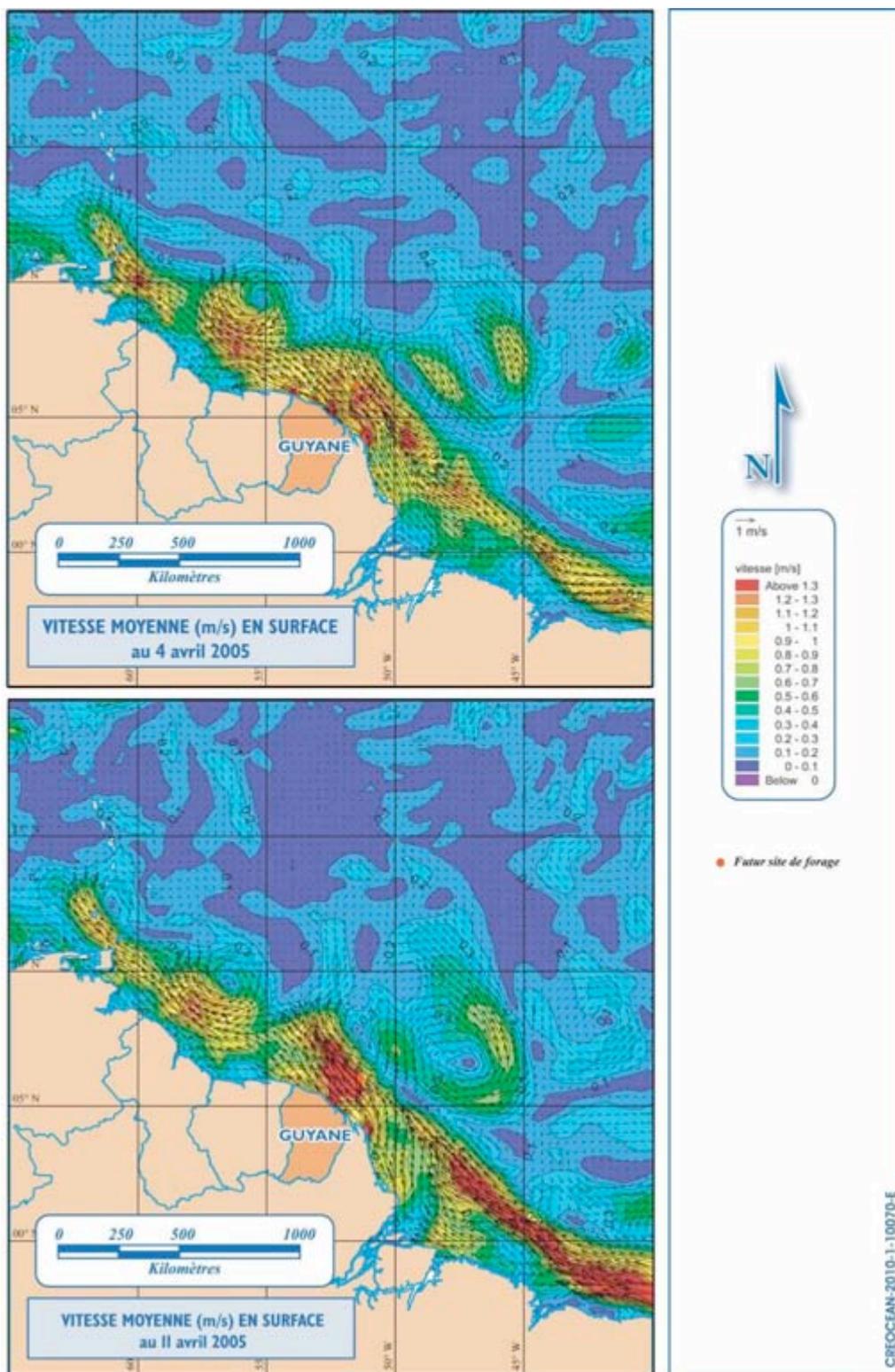
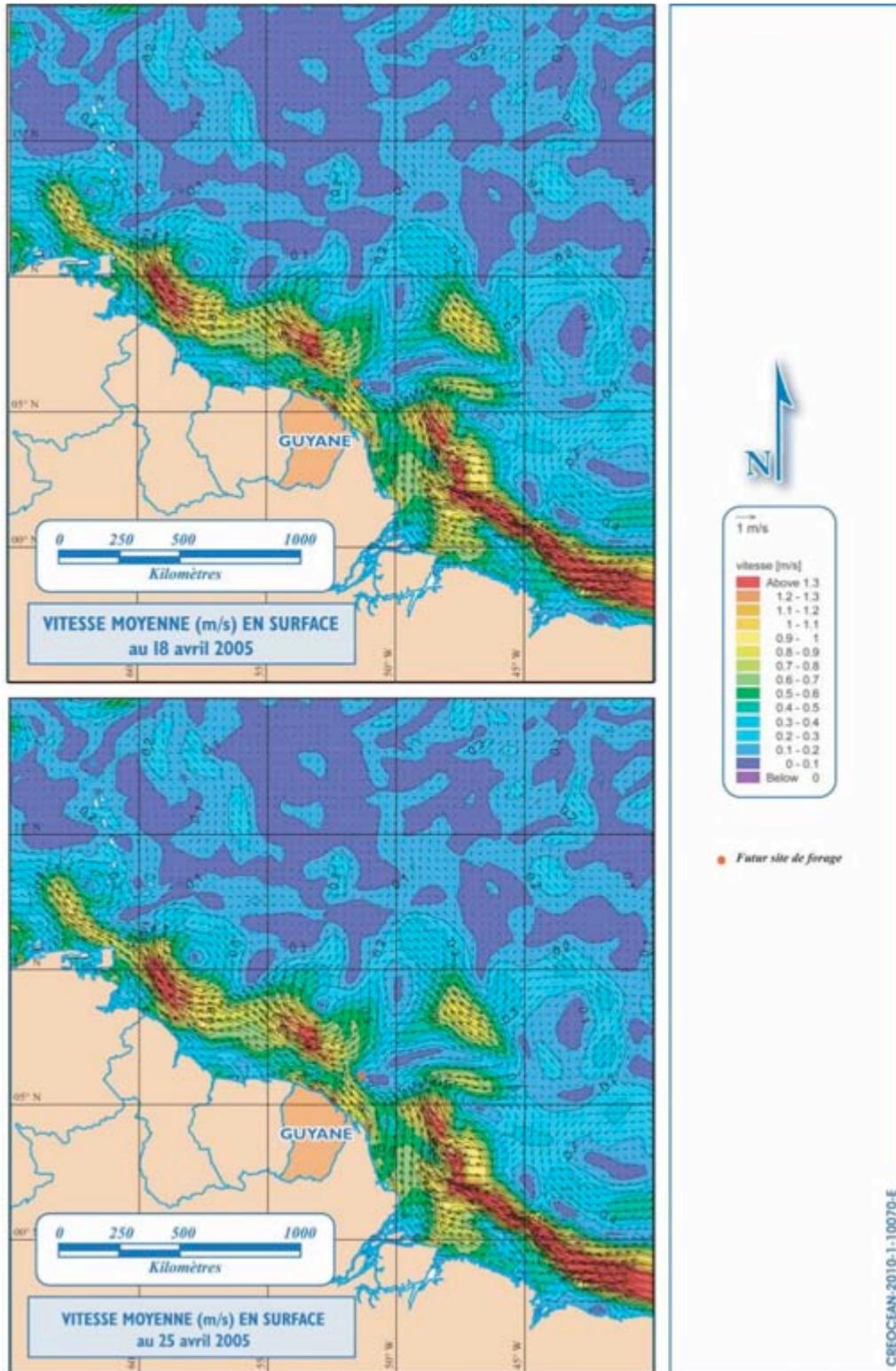


Figure 3.9. Vitesse moyenne des courants de surface : fin avril 2005
(Créocéan, 2006)



Evolution sur une année des courants à 100 m de profondeur et près du fond

Les principales observations à proximité du futur site de forage sont les suivantes :

- les vitesses près du fond (1 700 m) sont nettement plus faibles qu'à 100 m de profondeur. C'est en limite du plateau continental vers 200 m de profondeur que l'on observe les vitesses les plus importantes,
- En novembre, le phénomène de réflexion est visible avec une direction Nord privilégiée de la surface jusqu'à 1000 mètres de profondeur. A noter que ponctuellement, les directions peuvent être inversées par rapport aux courants de surface, les directions s'orientent vers le Sud-est à 1700 m de profondeur,
- En avril, les courants de fond à 1700 m ont la même direction que les courants de surface (Nord-Ouest), seule l'intensité a diminué.

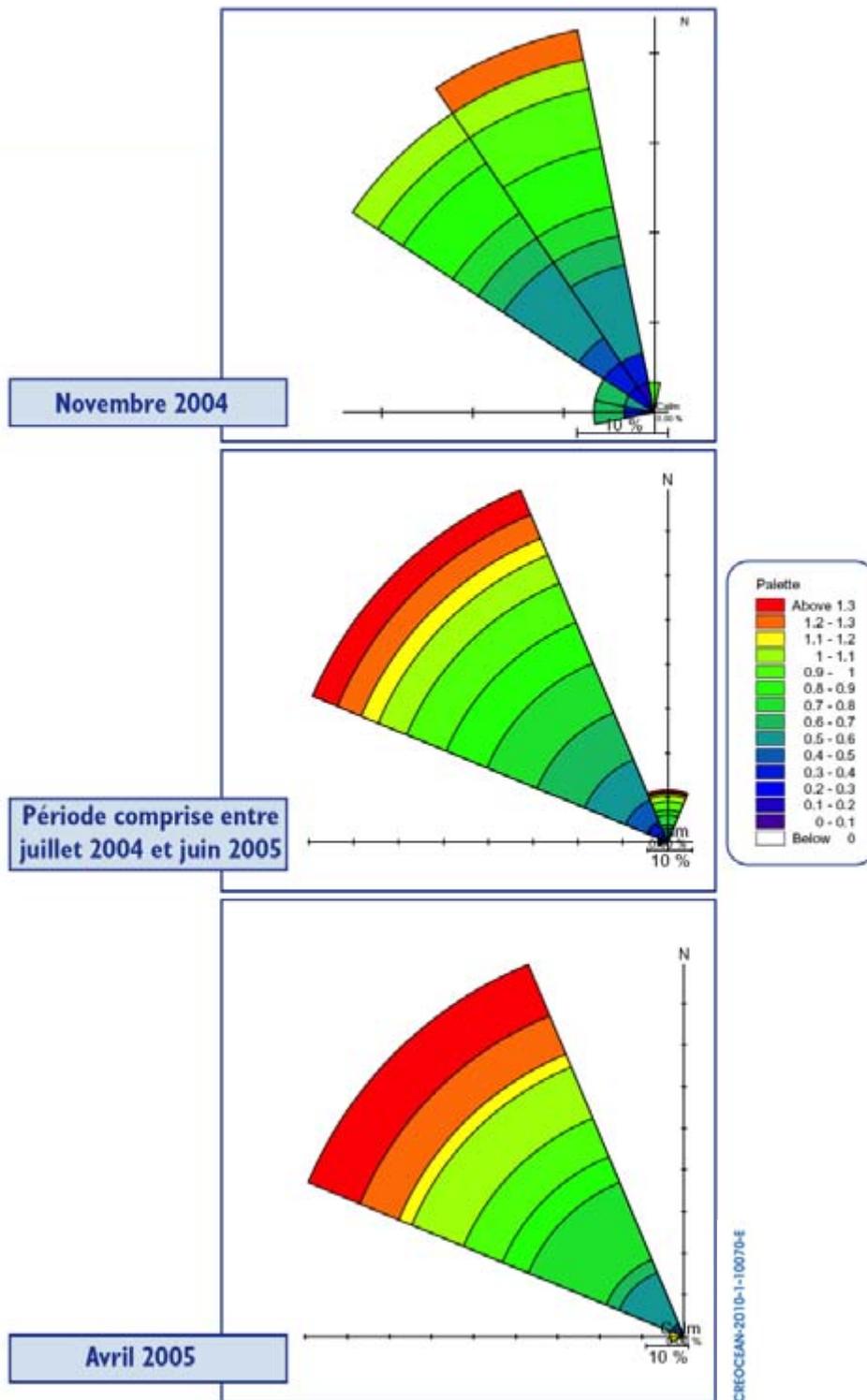
3.1.3.4.2 - Courants sur le site

La courantologie sur le site d'étude s'inscrit dans les mécanismes exposés ci-dessus. Toutefois nous apporterons ici quelques précisions, issues du modèle courantologique développé par Créocéan sur le site de Kawana. Le futur site de forage de Tullow Oil se situant à 24 km au Nord-Ouest de Kawana dans des profondeurs identiques, nous considérerons que la courantologie sur le site de Kawana est semblable à celle du futur site de forage.

La **Figure 3.10** présente la rose annuelle des courants de surface ainsi que la rose des deux mois représentatifs des deux situations de courant présentes au cours de l'année sur le site de Kawana.

La direction privilégiée sur le site est le Nord-Ouest, avec plus de 80% du total. Des directions secondaires, Nord et Ouest, apparaissent toutefois, mais d'importance très faible selon la saison. Ces directions secondaires peuvent être imputables aux phénomènes tourbillonnaires voisins de la zone d'étude, tels qu'on peut les voir sur les figures précédentes. Ces directions restent très minoritaires et le courant sur le futur site d'étude est quasiment toujours parallèle à la côte.

Figure 3.10. Roses de courant de surface sur le site de Kawana, proche du site de forage (Créocéan, 2006)



Les **Figures 3.11** et **3.12** représentent les profils verticaux du courant en direction et intensité au niveau du site de Kawana. Notons que les directions sont exprimées en degré par rapport au Nord et représentent la direction vers laquelle se dirige le courant.

En novembre (**Figure 3.11**), les vitesses de courant sont plus importantes en surface et globalement comprises entre 0,2 et 0,6 m/s. Une légère augmentation est observée entre 100 m et 300 m de profondeur, avec des vitesses comprises entre 0,4 et 0,8 m/s et pouvant atteindre 1 m/s. Puis les vitesses diminuent peu à peu en se rapprochant du fond où elles sont voisines de 0,2 m/s. Les profils de direction montrent que la direction Nord est privilégiée de la surface jusqu'à 1000 mètres de profondeur, puis les directions s'orientent vers le Sud-est à 1700 m de profondeur. Cette direction Nord s'explique par la proximité du phénomène de réflexion.

En avril (**Figure 3.12**), les vitesses de courant sont très fortes en surface, jusqu'à 1,5 m/s, et diminuent fortement jusqu'à 200 m de profondeur pour atteindre 0,2 m/s. Au-delà de 200 m de profondeur, les vitesses continuent de diminuer jusqu'à devenir quasiment nulles entre 700 m et 1100 m, puis elles augmentent très légèrement au fond pour atteindre 0,2 m/s vers 1700 m. Concernant les directions, elles sont homogènes et orientées au Nord-Ouest (320°) jusqu'à 700 m de profondeur. Au-delà, elles tournent pour s'orienter au Sud et au Sud-est entre -700m et -1200m de profondeur. Ensuite, en se rapprochant du fond, les courants tournent à nouveau dans une direction Nord-Ouest au fond, identique à celle de surface.

Le forage sur le nouveau site est prévu entre janvier et mai 2011. Les profils de vitesse et de direction des courants de chaque jour sont donnés pour les mois de janvier à mai 2005 en **Annexe 2**.

Figure 3.11. Profil vertical des vitesses et des directions des courants, novembre 2004 (Créocéan, 2006)

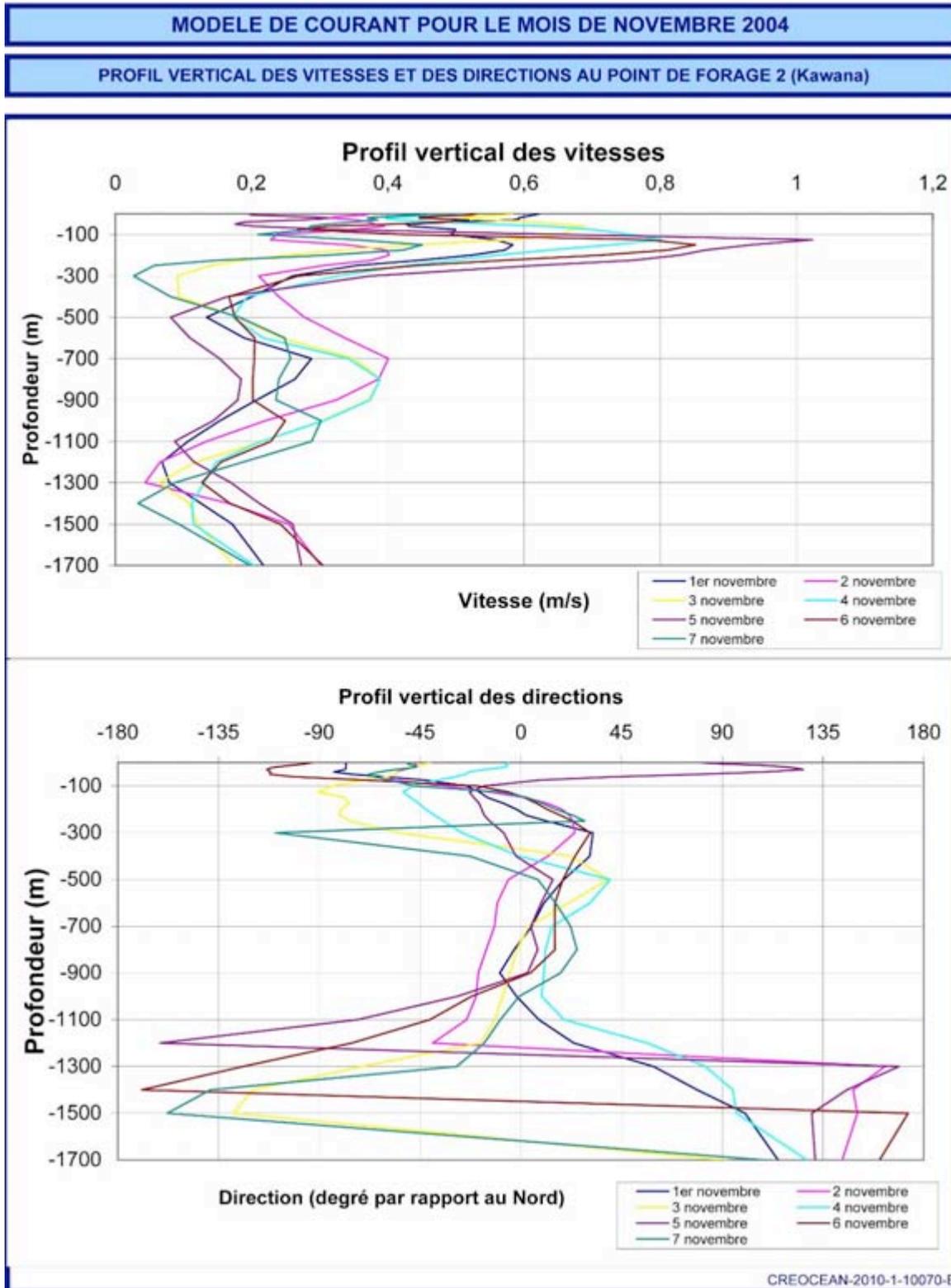
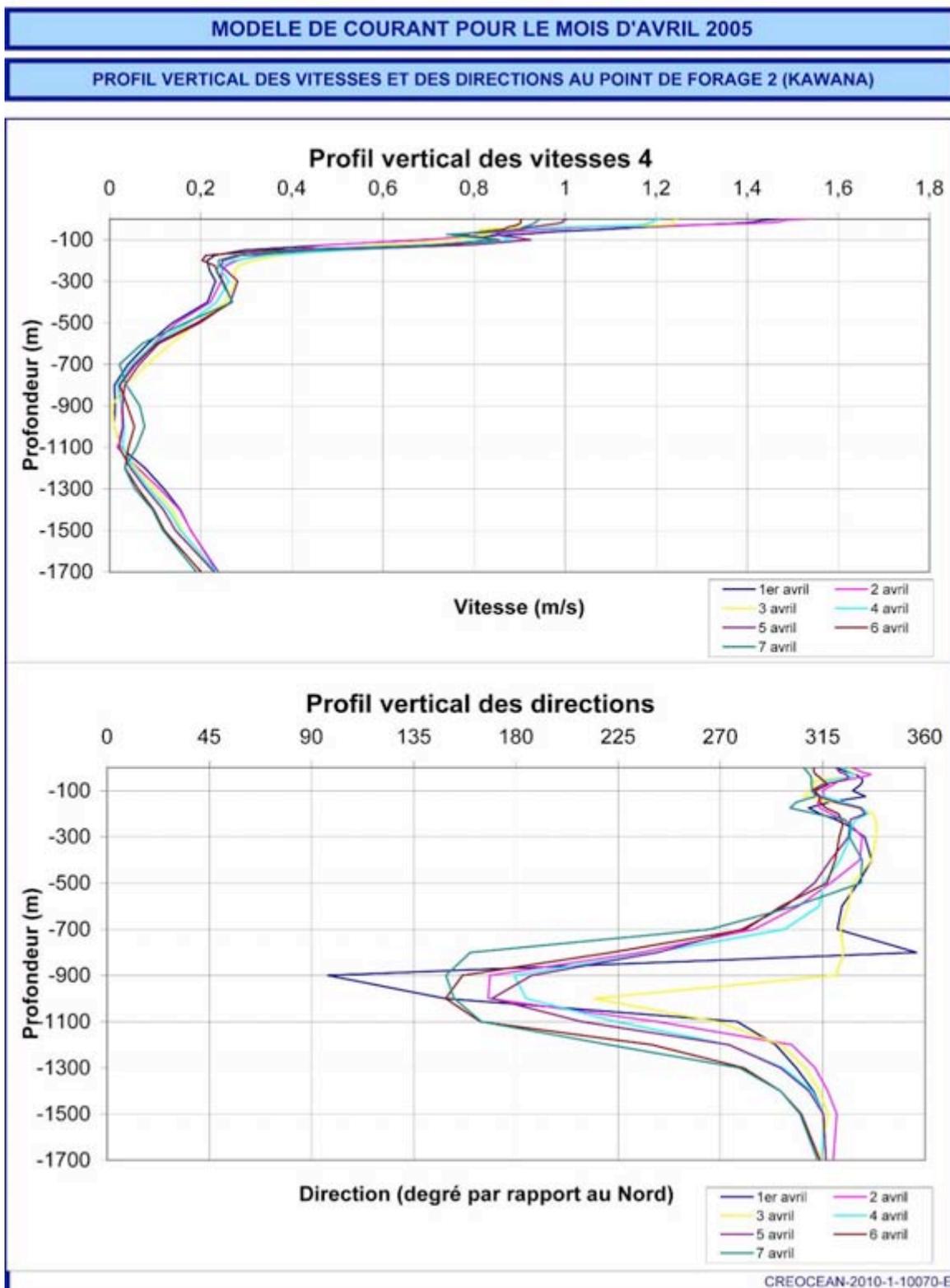


Figure 3.12. Profil vertical des vitesses et des directions des courants, avril 2005 (Créocéan, 2006)



3.1.3.5 - Hydrographie

La Guyane est parcourue de nombreux fleuves et rivières. Toutefois l'hydrographie de la région est largement dominée, en termes de débit, par l'Amazone, qui se jette dans l'Atlantique au nord du Brésil.

L'Amazone, premier fleuve mondial, avec un débit moyen⁴ de 180 000 m³/s, induit des caractéristiques particulières à la circulation des eaux sur le plateau continental notamment au niveau de la Guyane. Les eaux issues de l'Amazone sont reprises par les courants côtiers portant vers le Nord-Ouest et peuvent à certaines saisons atteindre l'arc antillais. Ces eaux dessalées, et restant en surface en raison de leur densité moindre, jouent un rôle essentiel, régissant à la fois les processus physiques et biologiques du domaine maritime guyanais, car elles sont riches en nutriments. Ces eaux douces se retrouvent ainsi uniquement en surface des eaux marines. Cette stratification due à la différence de densité est observable jusqu'à la mer des Caraïbes.

Une comparaison des débits entre l'Amazone et les fleuves guyanais est réalisée ci-dessous.

Tableau 3.2. Débits de l'Amazone et des principaux fleuves guyanais (SDAGE Guyane)

Fleuve	Débit moyen (m ³ /s)	Plage de variation (m ³ /s)
<i>Amazone</i>	<i>180 000</i>	<i>50 000-250 000</i>
Oyapock	838	90-3 570
Approuague	304	-
Sinnamary	243	55-1 065
Mana	311	35-1 265
Maroni	1 681	90-5 360

⁴ Le débit de l'Amazone varie tout au long de l'année. Il est maximal près de son embouchure de mars à août (250 000 m³/s) et minimal en novembre (50 000 m³/s).

3.1.4 - Paramètres généraux des eaux littorales et marines

Ce paragraphe décrit les caractéristiques physiques et chimiques des eaux au large de la Guyane avec des données provenant en majorité du plateau continental.

3.1.4.1 - Salinité

3.1.4.1.1 - Données générales

La salinité des eaux côtières et des eaux du large de la Guyane a été mesurée à plusieurs reprises dans le cadre de travaux scientifiques. Le **Tableau 3.3** présente les résultats des principales contributions.

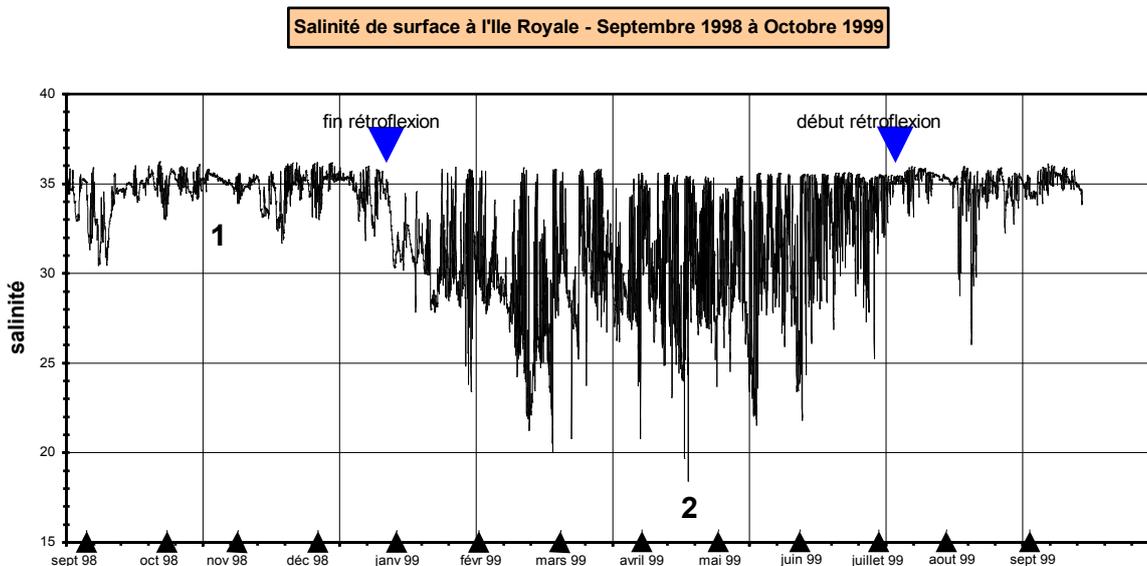
Tableau 3.3. Valeurs de salinité au large de la Guyane

Site	Domaine	Valeurs	Auteur(s)
Embouchure Mahury	Domaine côtier	12 à 33 psu	Artigas & Guiral, 2002
Estuaire Kaw	Domaine côtier	1 à 30 psu	Artigas & Guiral, 2002
Large Cayenne	Côtier et plateau continental	9 à 23 psu	Do Rosario Marinho <i>et al</i> , 2004
Littoral guyanais	Côtier et plateau continental	10 à 32 psu (moyenne 23 psu)	Renaud, 2004
Large Guyane	Plateau continental	20 à 36 psu	Chevalier & Lerat, 2002
Iles du Salut	Plateau continental	18 à 36 psu (moyenne 33 psu)	Ternon <i>et al</i> , 2001
Large Mahury	Plateau continental	12 à 35 psu 2004 (moyenne 30 psu)	Artigas & Guiral, 2002
Large Est Guyane	Plateau continental	30 à 35 psu	Créocéan, 2009
Large Est Guyane	Plateau et talus continentaux	25 à 35 psu	Ternon <i>et al</i> , 2002
Large Est Guyane	Plateau et talus continentaux	14 à 34 psu	Ternon <i>et al</i> , 2004

Ces données mettent en évidence une variabilité parfois importante de la salinité des eaux marines, y compris des eaux du large. Cette variabilité de la salinité des eaux est due principalement aux apports d'eau douce de l'Amazonie et des fleuves guyanais, aux variations de la circulation océanique de surface à grande échelle et au déplacement de la zone intertropicale de convergence (ZIC) auquel correspondent deux régimes de vents distincts.

Ternon *et al*, 2001 a mis en évidence la variabilité saisonnière de la salinité grâce à une station d'enregistrement permanente située aux Iles du Salut (à 20 km des côtes de Guyane).

Graphique 3.8. Salinité de surface à l'île Royale – Septembre 1998 à Octobre 1999 (Ternon *et al*, 2001)

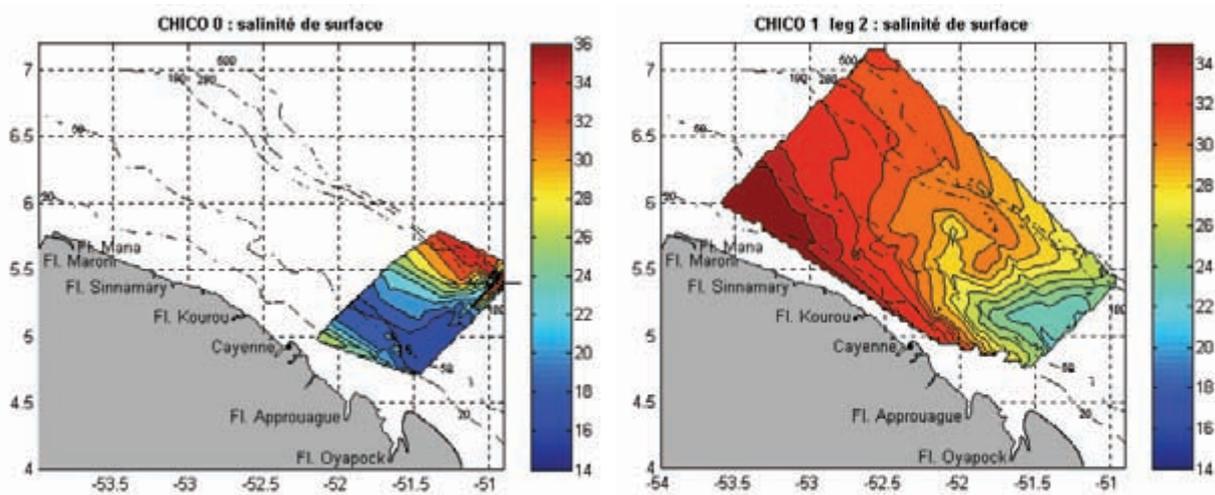


Cet enregistrement met en évidence deux périodes distinctes. L'une entre juillet et janvier (1) présentant des valeurs hautes de salinité, la seconde, entre janvier et juillet (2) présentant des valeurs plus basses de salinité.

Le changement de régime entre les périodes 1 et 2 correspond à la disparition puis au rétablissement de la rétroflexion du Courant Nord Brésil, au Sud-est du plateau continental de la Guyane, faisant varier les apports en eau douce en provenance de l'Amazonie. En effet, la rétroflexion, dirigée vers l'Est, transporte les eaux dessalées de l'Amazonie vers le centre de l'Atlantique, et non plus vers les côtes guyanaises. La salinité moyenne sur l'année d'enregistrement est voisine de 32,8 psu pour cette station.

L'influence en surface des eaux amazonienne a été mise en évidence par Ternon *et al*, 2004. L'extension en surface des eaux dessalées provenant de l'Amazonie a été observée à deux périodes bien particulières : avril et octobre.

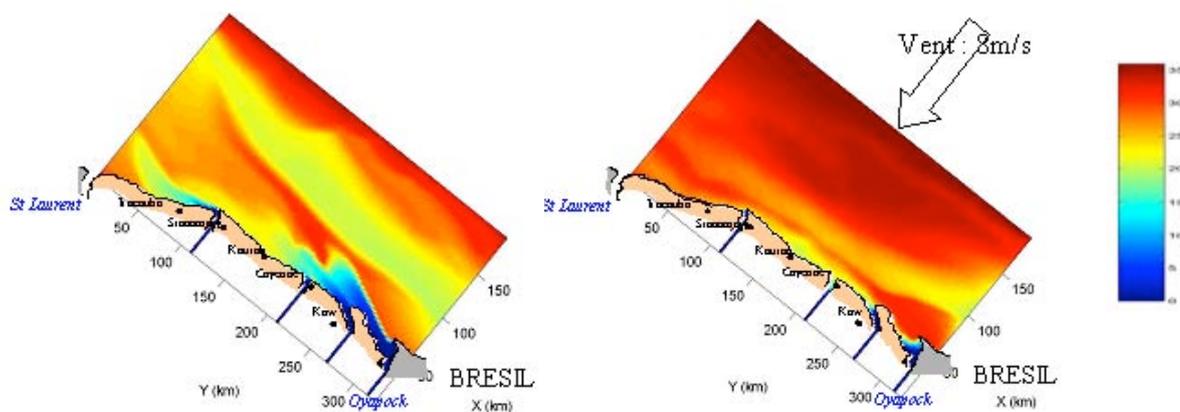
Graphique 3.9. Salinité de surface : avril et octobre (Ternon *et al*, 2004)



L'influence des eaux douces de l'Amazonie apparaît plus marquée en avril, hors réflexion.

Des simulations hydrodynamiques (Nikiéma et Bourret, 2004) ont mis en évidence le rôle du vent sur la distribution de la salinité de surface.

Graphique 3.10. Influence du vent sur la salinité de surface (Nikiéma et Bourret, 2004)

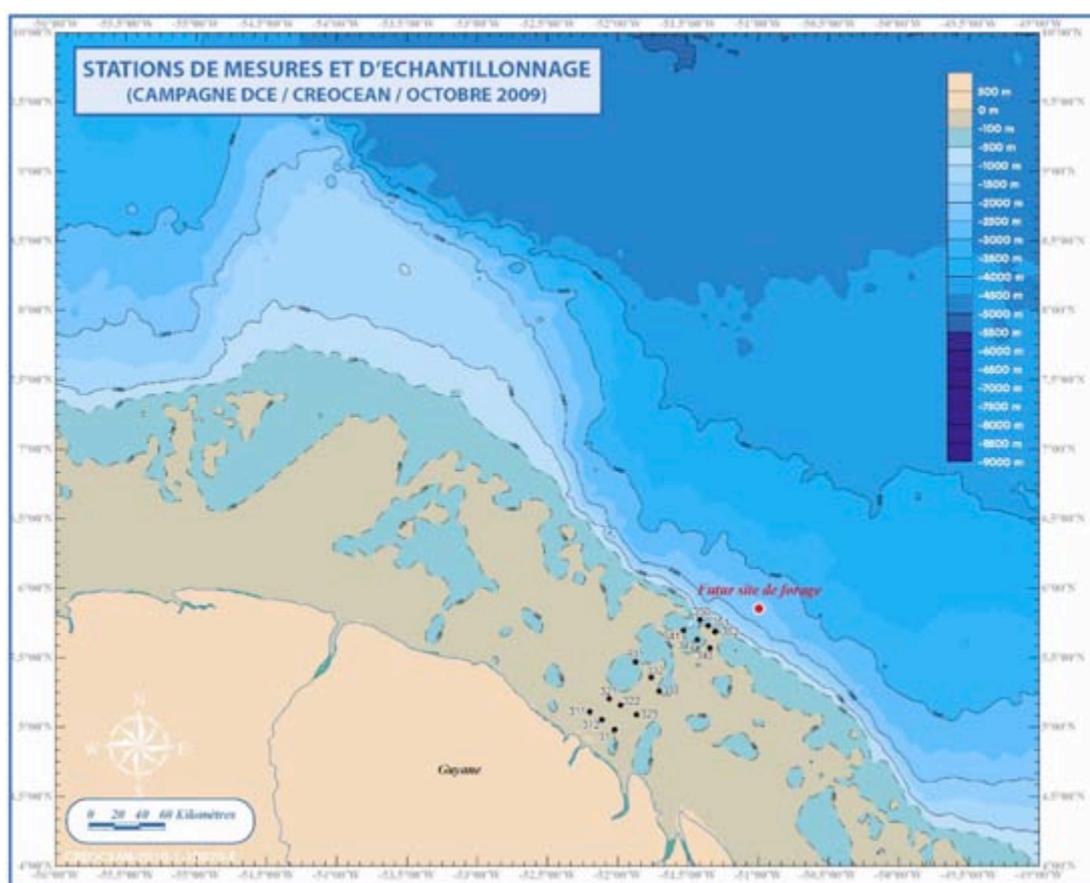


Le schéma de gauche montre une *situation sans vent*, où l'on observe l'influence à la côte des apports d'eau douce des fleuves guyanais et, plus au large, influence de l'Amazonie (bande jaune et verte représentant une salinité comprise entre 20 et 24 psu).

Le schéma de droite met en évidence *l'influence du vent* qui ramène vers la côte des eaux du large, plus salées. Les apports des fleuves guyanais ont une extension réduite et l'influence de l'Amazonie est fortement limitée.

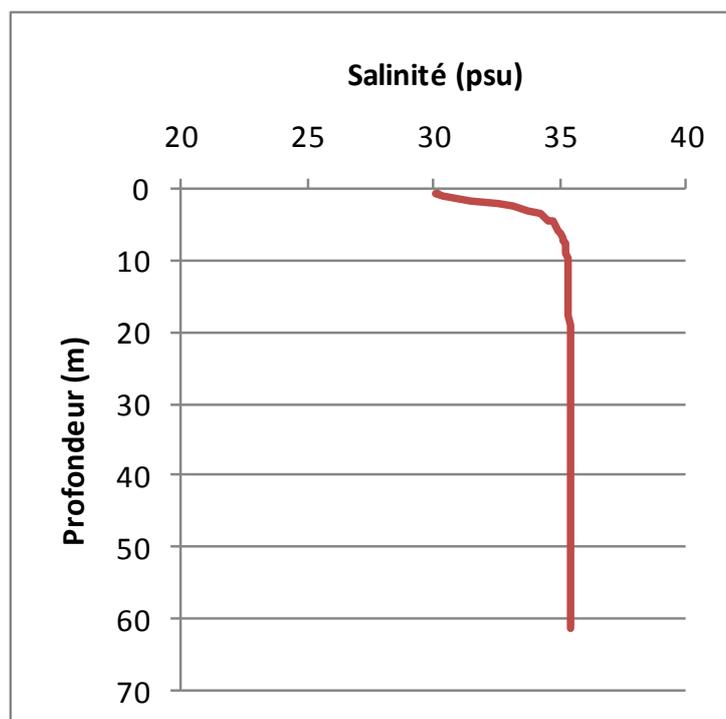
Une campagne a été menée en octobre 2009 sur le plateau continental guyanais. Les positions des stations d'échantillonnages les plus proches du site de GM-ES-1 sont présentées sur la **Figure 3.13**.

Figure 3.13. Stations de mesure et d'échantillonnage d'eau marine (Créocéen, 2009)



Un exemple de profil de salinité est présenté dans le **Graphique 3.11**.

Graphique 3.11. Profil de salinité, station 333, Octobre 2009 (Créocéan, 2009)



Ce profil mesuré à la station 333, par 60 m de fond, met en évidence l'existence d'une couche d'eau de surface moins salée sur les cinq premiers mètres, ce qui illustre également l'influence des fleuves. La salinité de surface est de 30 psu et augmente jusqu'à 35 psu. La salinité est ensuite constante de 5 m et 60 m de profondeur et voisine de 35 psu.

La salinité mesurée est en accord avec les données à plus grande échelle (cf. Tableau 3.3 et Graphique 3.9).

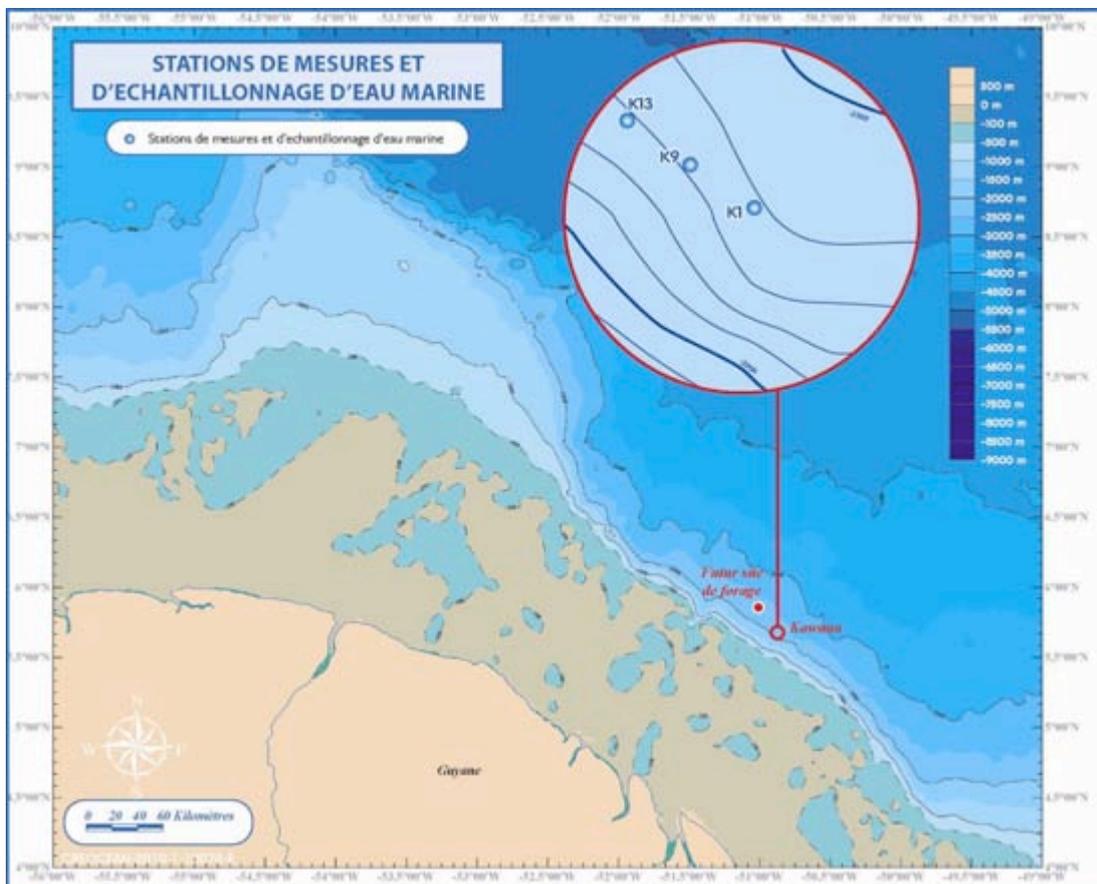
3.1.4.1.2 - Données de la zone de projet

Une campagne de prélèvements et d'analyse des eaux a été menée en 2006 par Créocéan au large de la Guyane. Les stations échantillonnées sont situées à proximité du futur point de forage de Tullow Oil, à Kawana.

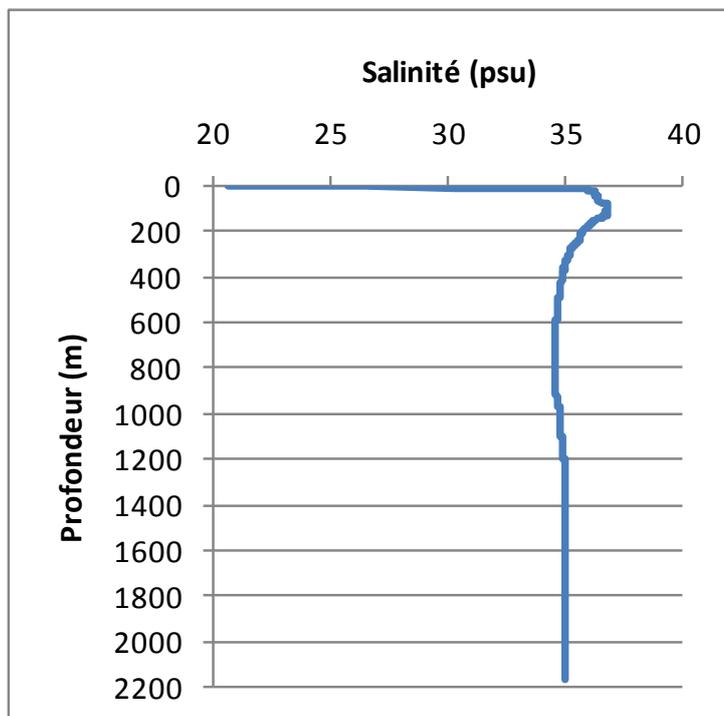
Compte tenu de l'homogénéité de la masse d'eau au large, nous considérerons que les données de Kawana relatives aux paramètres généraux de celle-ci (salinité mais aussi température, turbidité, oxygène et nutriments) peuvent être extrapolées au site de forage GM-ES-1.

Les positions des stations d'échantillonnages du site de Kawana en 2006 sont présentées sur la **Figure 3.14**, par rapport au futur point de forage.

Figure 3.14. Stations de mesure et d'échantillonnage d'eau marine (Créocéan, 2006)



Les mesures de **salinité** effectuées par Créocéan en juin 2006 à la station K13 du site de Kawana sont présentées ci-après.

Graphique 3.12. Profils de salinité, juin 2006 (Créocéan, 2006)

Ce profil met en évidence l'existence d'une couche d'eau de surface de 15 à 20 mètres d'épaisseur, légèrement dessalée (la salinité descend jusqu'à 21 psu) qui illustre l'influence fluviale, même à une telle distance de la côte (160 km).

Entre la base de la couche de surface et 100 m de profondeur, la salinité reste constante et assez élevée, d'environ 37 psu. Ensuite la salinité baisse jusqu'à 35 psu entre 100 et 300 m de profondeur puis reste constante jusqu'au fond.

3.1.4.2 - Température de l'eau

3.1.4.2.1 - Données générales

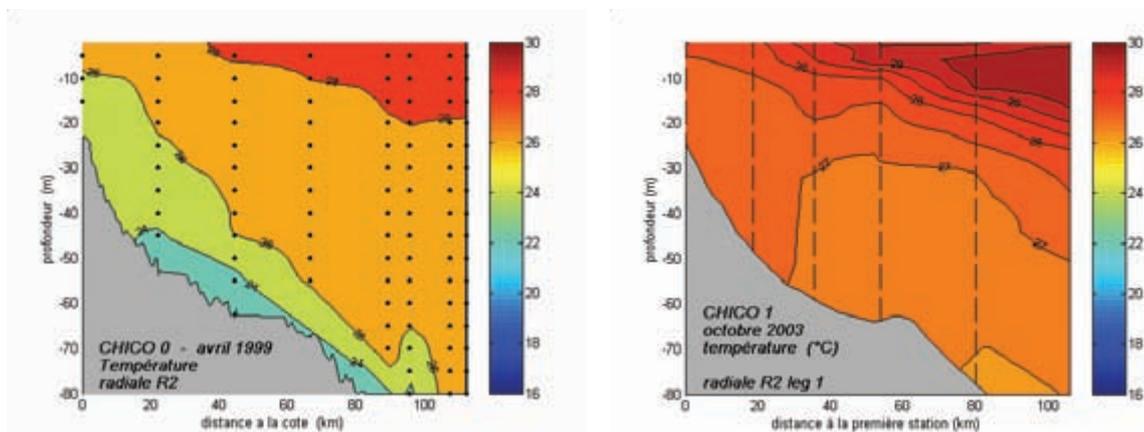
Les données de température de l'eau de mer sont nombreuses. Le **Tableau 3.4** donne un aperçu des résultats publiés.

Tableau 3.4. Températures de l'eau de mer au large de la Guyane

Site	Domaine	Valeurs	Auteur(s)
Large Guyane	Côtier et plateau continental	26 à 30°C	Renaud, 2004
Large Guyane	Plateau continental	24 à 28°C	Chevalier & Lerat 2002
Large Est Guyane	Plateau continental	27 à 28°C	Créocéan, 2009
Large Est Guyane	Plateau et talus continentaux	Moyenne en surface : 28,0°C en avril, 29,7°C en octobre	Ternon <i>et al</i> , 2004

Ternon *et al*, 2004 a mis en évidence une variation saisonnière de la température dans les 80 premiers mètres de la colonne d'eau.

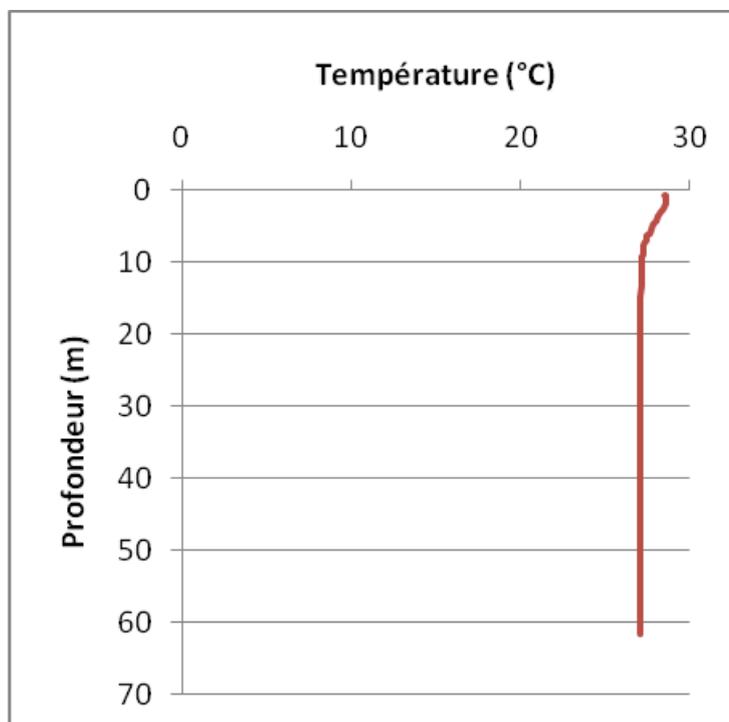
Graphique 3.13. Profils de température en mer (Ternon *et al*, 2004)



En avril, les températures près du fond au-delà des 40 de profondeur sont inférieures à 22°C. En octobre, on observe une homogénéité des températures jusqu'à 80 m de profondeur.

Une campagne réalisée sur le plateau continental guyanais par Créocéan en 2009 a permis de caractériser le profil de température.

Graphique 3.14. Profil de température, station 333, Octobre 2009 (Créocéan, 2009)



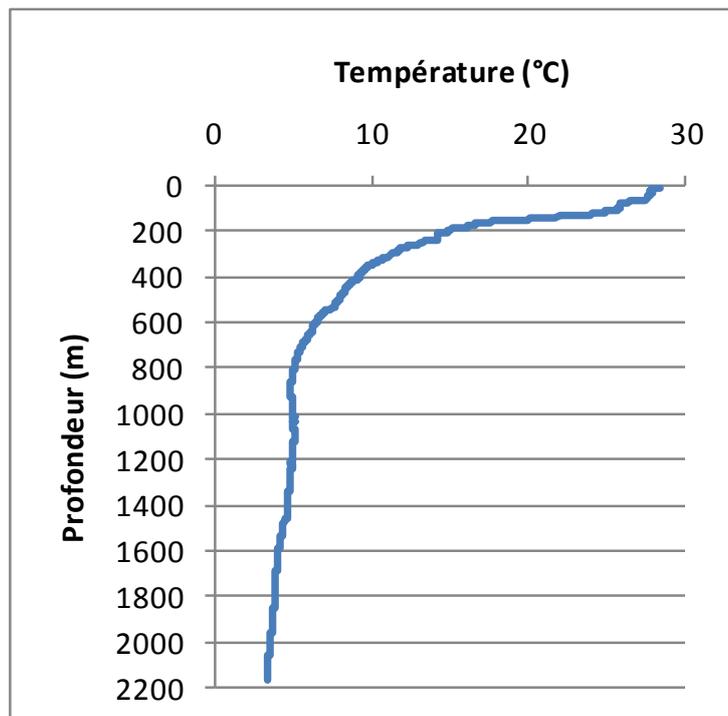
Ce profil mesuré à la station 333 met en évidence l'existence d'une couche d'eau de surface légèrement plus chaude sur les cinq premiers mètres. La température atteint 28°C en surface puis descend à 27°C à 5 m de profondeur

La température est ensuite constante de 5 m à 60 m de profondeur et voisine de 27°C.

Les températures et les variations observées sont conformes aux données bibliographiques (Ternon et al, 2004).

3.1.4.2.2 - Données de la zone de projet

Les mesures de **température** effectuées par Créocéan en juin 2006 à la station K13 du site de Kawana sont présentées ci-après.

Graphique 3.15. Profil de température, juin 2006 (Créocéen, 2006)

La couche d'eau de surface de 15 à 20 mètres d'épaisseur présente des valeurs de température élevées (28 °C). Par la suite et jusqu'à 100 m de profondeur, la température décroît de 28°C à 26°C. Entre 100 et 200 m, la température passe rapidement de 26°C à 15°C. La température chute ensuite plus lentement, pour atteindre 5°C environ à 800 m de profondeur, et 3°C au niveau du fond.

3.1.4.3 - Transparence, turbidité et teneur en matières en suspension

3.1.4.3.1 - Données générales

La turbidité des eaux marines est fortement influencée par la présence de l'Amazone et, plus localement, par les fleuves côtiers guyanais. D'autres facteurs viennent influencer les apports turbides des fleuves. Il s'agit principalement des courants et des houles qui participent au déplacement et à la remobilisation des matières et sédiments en suspension.

Les images satellites montrent une turbidité moindre pour les eaux plus au large, hors de l'aire d'influence des panaches des cours d'eau.

Photo 3.1. Panache turbide de l'Amazone (ESA, Agence Spatiale Européenne)



Des mesures de transparence ont été réalisées le long du littoral guyanais lors de la campagne EPAULARD au moment de la principale saison humide (mai-juin 1994) (*in* Renaud, 2004). L'essentiel de la zone étudiée (à l'aide d'un disque de Secchi) a montré des transparences faibles, avec disparition du disque avant un mètre de profondeur. La zone la plus transparente se situait à l'ouest, entre les panaches du Maroni et de l'Iracoubo.

L'échantillonnage d'eau de mer permet de mesurer la quantité de matières en suspension. Le **Tableau 3.5** fournit une indication de la variabilité de ce paramètre.

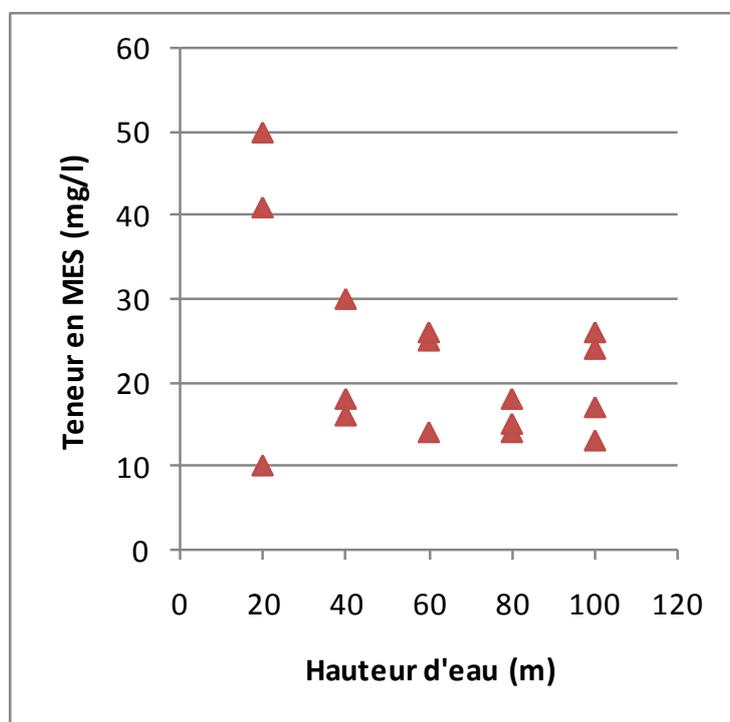
Tableau 3.5. Valeurs de teneur en matières en suspension

Site	Domaine	Valeurs (mg/l)	Auteur(s)
Estuaire Kaw	Domaine côtier	5 à 2050	Artigas & Guiral 2002
Large rivière Cayenne	Domaine côtier	40 à 450	Froidefond <i>et al</i> , 2002
Large Mahury	Domaine côtier	30 à 450	Froidefond <i>et al</i> , 2002
Large Approuague	Domaine côtier	60 à 450	Froidefond <i>et al</i> , 2002
Est Guyane	Côtier et plateau continental	60 à 350	Lahet <i>et al</i>
Large Mahury	Plateau continental	10 à 200	Artigas & Guiral 2002
Large Est Guyane	Plateau continental	10 à 50	Créocéan, 2009

La teneur en matières en suspension est très variable, avec des maxima près des fleuves.

Lors de la campagne menée en 2009 par Créocéan sur le plateau continental de la Guyane, les teneurs en matières en suspension (MES) ont été mesurées près du fond. Les résultats sont présentés ci après.

Graphique 3.16. Matières en suspension en fonction de la hauteur d'eau (Créocéan, 2009)

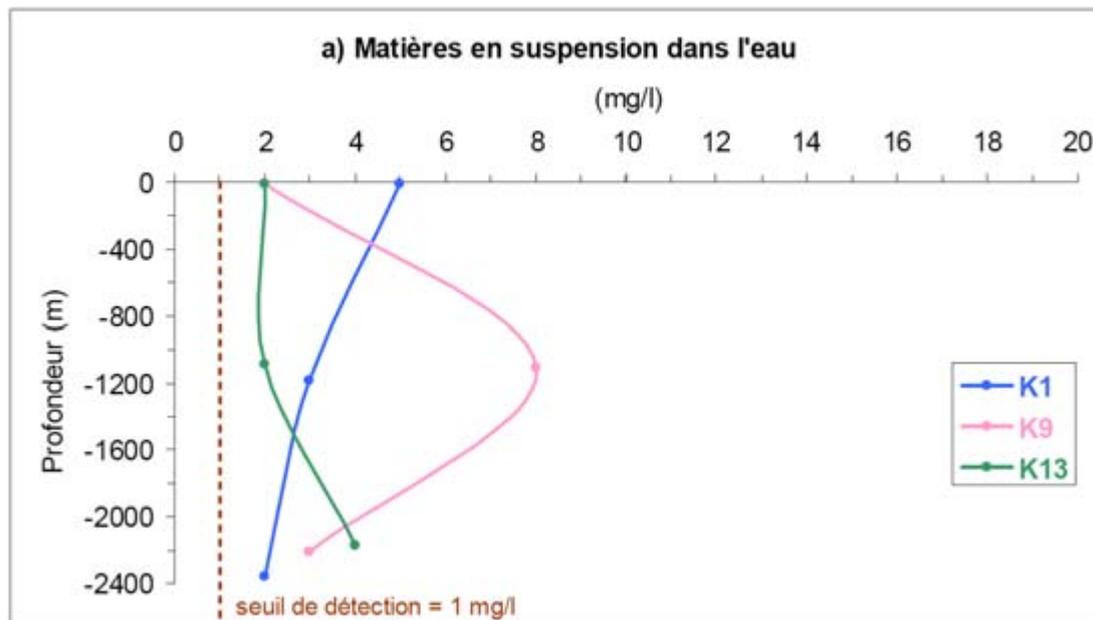


On observe une diminution globale de la teneur en MES près du fond quand on s'éloigne du littoral (hauteurs d'eau qui augmentent), ce qui est en accord avec les conclusions précédentes.

3.1.4.3.2 - Données de la zone de projet

Les concentrations en matières en suspension dans l'eau du site de Kawana (Créocéan, 2006) ont été mesurées à trois niveaux pour les trois stations (cf. **Figure 3.14**). Elles sont illustrées ci-dessous.

Graphique 3.17. Matières en suspension, juin 2006 (Créocéan, 2006)



La teneur en matières en suspension varie entre 2 et 8 mg/l, avec une évolution en fonction de la profondeur différente d'une station à l'autre. Ce sont toutefois des teneurs très faibles.

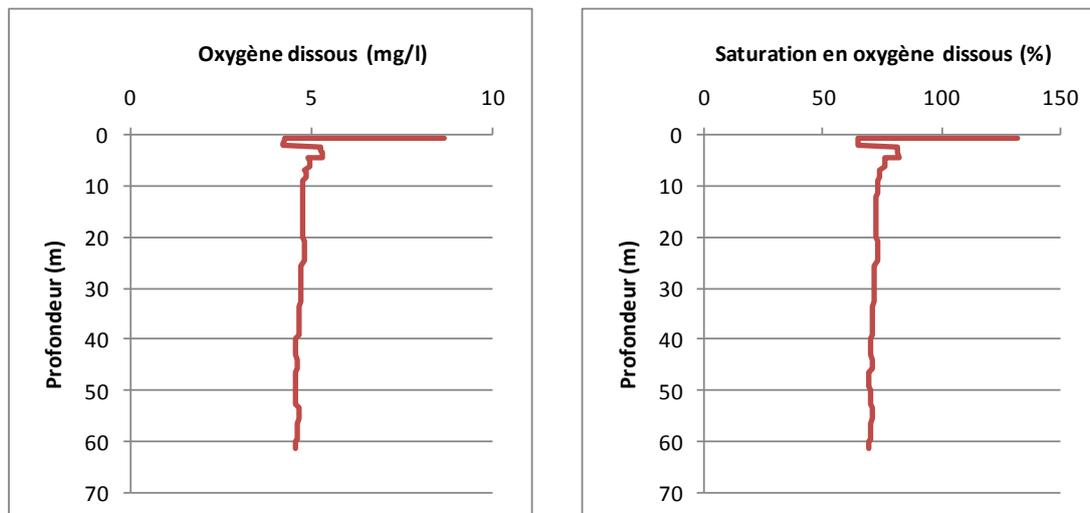
3.1.4.4 - Teneur en oxygène

3.1.4.4.1 - Données générales

D'après Ternon *et al*, 2004, la distribution de l'oxygène dissous est étroitement associée à la présence des eaux dessalées en surface. Celles-ci, riches en nutriments, améliorent la production primaire (développement du phytoplancton) qui par le processus de photosynthèse produit de l'oxygène. Il existe donc un contraste entre les eaux dessalées sous influence fluviale où la teneur en oxygène est supérieure à 5 mg/l et les eaux marines où les concentrations en oxygène dissous sont inférieures à 4 mg/l.

Les résultats de la campagne d'octobre 2009 de Créocéan sont présentés ci après.

Graphique 3.18. Profils d'oxygène dissous, octobre 2009 (Créocéan, 2009)



Hormis une couche de surface, de 2,5 m d'épaisseur, qui présente des variations importantes (de 4,2 à 8,7 mg/l), les teneurs en oxygène dissous décroissent lentement avec la profondeur, de 5,0 mg/l à 3 m jusqu'à 4,6 mg/l à 61 m.

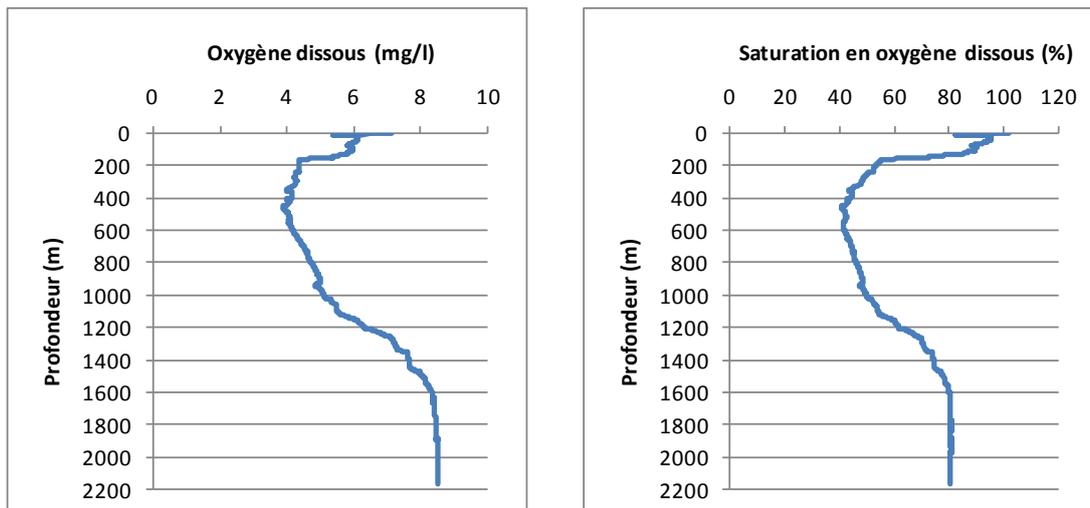
Ces valeurs sont conformes aux données à plus grande échelle (Ternon *et al*, 2004).

3.1.4.4.2 - Données de la zone de projet

Comme pour les paramètres précédents, les données relatives aux teneurs en oxygène des eaux de la zone de projet proviennent de la campagne Créocéan, 2006 (**Figure 3.14**).

Les résultats obtenus à la station K13 sont représentés ci-dessous.

Graphique 3.19. Profils d'oxygène dissous, juin 2006 (Créocéan, 2006)



La couche d'eau de surface située dans les 15 à 20 premiers mètres présente des valeurs élevées d'oxygène dissous (entre 5,2 et 7,2 mg/l). Ces valeurs restent assez élevées jusqu'à 100 m de profondeur (6 mg/l).

Ce n'est qu'entre 100 et 160 m de profondeur que l'oxygène dissous chute rapidement, passant de 6 à 4,2 mg/l.

Entre 160 m et 400 m de profondeur, l'oxygène dissous est globalement stable et compris entre de 4,2 à 4,0 mg/l.

Au-delà de 400 m de profondeur, la teneur en oxygène dissous se met à augmenter jusqu'à atteindre 8 mg/l au fond.

3.1.4.5 - Concentration en nutriments

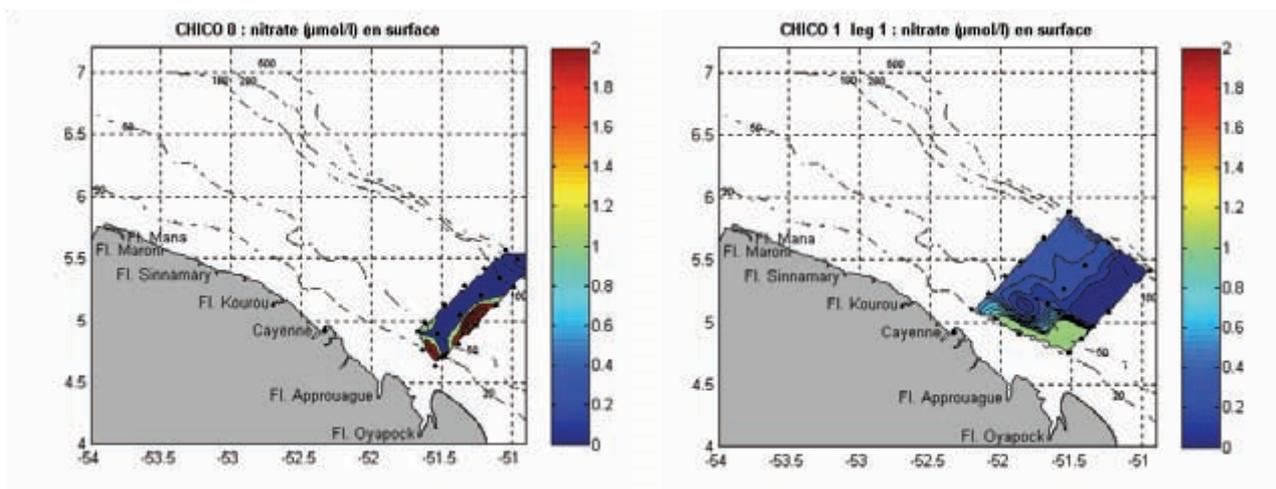
3.1.4.5.1 - Données générales

Les données relatives aux concentrations en nutriments dans les eaux marines gyanaises proviennent principalement de deux campagnes océanographiques (CHICO 0 et CHICO 1).

Dans Ternon *et al*, 2002, des teneurs en **nitrate**s entre 3,5 et 5,0 mg/l sont observées dans la zone côtière au large de l'est de la Guyane. On observe un gradient de la côte vers le large : les teneurs en surface sont inférieures à 0,5 mg/l à 40 km de la côte. Ceci traduit une origine continentale, probablement véhiculée par les fleuves gyanais.

Ternon *et al*, 2004 confirme les diverses sources de nitrates. Le **Graphique 3.20** représente les concentrations en nitrates des eaux marines guyanaises en avril (CHICO 0) et en octobre (CHICO 1).

Graphique 3.20. Teneur en nitrates dans les eaux de surface (Ternon *et al*, 2004)



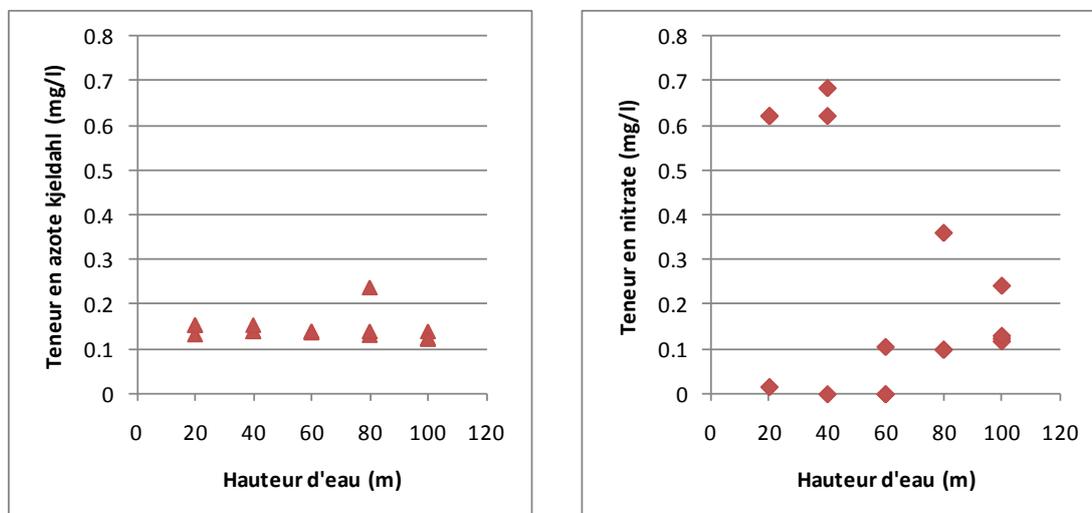
La campagne CHICO 0 a mis en évidence deux sources de nitrates en surface : l'une est liée au signal des eaux sous influence amazonienne alors que l'autre a probablement une origine locale (fleuve Oyapock). Lors de la campagne CHICO 1, en période de rétroflexion, des teneurs moindres sont observées, mais l'influence des apports locaux est confirmée.

Dans Ternon *et al*, 2001, des teneurs en **phosphate** entre 1,5 et 4,5 mg/l sont observées dans la zone côtière au large de l'est de la Guyane. Une diminution des concentrations vers le large traduit un apport continental. Les eaux sous influence amazonienne montrent des teneurs en phosphates inférieures aux eaux marines (Ternon *et al*, 2004).

Ternon *et al*, 2002 rapportent des teneurs en **silicate** (SiOH) entre 0,2 et 3,0 mg/l au large de l'est de la Guyane. Les teneurs supérieures à 10 mg/l sont associées à des eaux peu salées, en provenance de l'embouchure de l'Amazone. Cela confirme le rôle de l'Amazone dans l'apport de certains nutriments le long de la côte guyanaise. Des valeurs plus faibles sont mentionnées dans les eaux du large par Ternon *et al*, 2004, avec un gradient de l'est (1,9 mg/l) vers l'ouest (<0,5 mg/l).

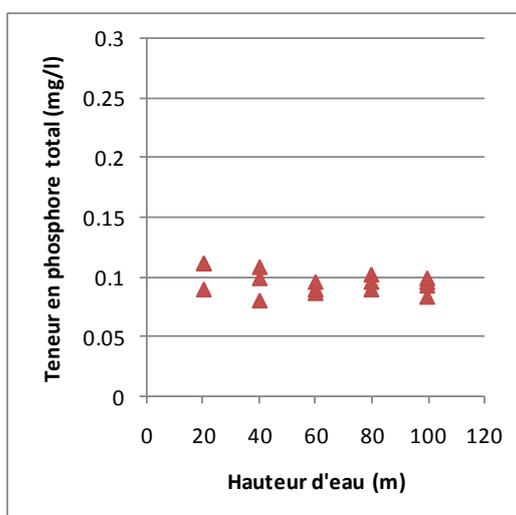
Les données de teneurs en nutriments dans les eaux proches du fond, issues de la campagne Créocéan 2009, sont représentées dans le **Graphique 3.21**.

Graphique 3.21. Teneurs en azote total et en nitrates, octobre 2009 (Créocéan, 2009)



Les teneurs en azote Kjeldahl près du fond sont relativement homogènes, quelle que soit la hauteur d'eau. En revanche, les nitrates sont plus présents pour les faibles hauteurs d'eau (apports terrigènes probablement).

Graphique 3.22. Teneurs en phosphore total, octobre 2009 (Créocéan, 2009)



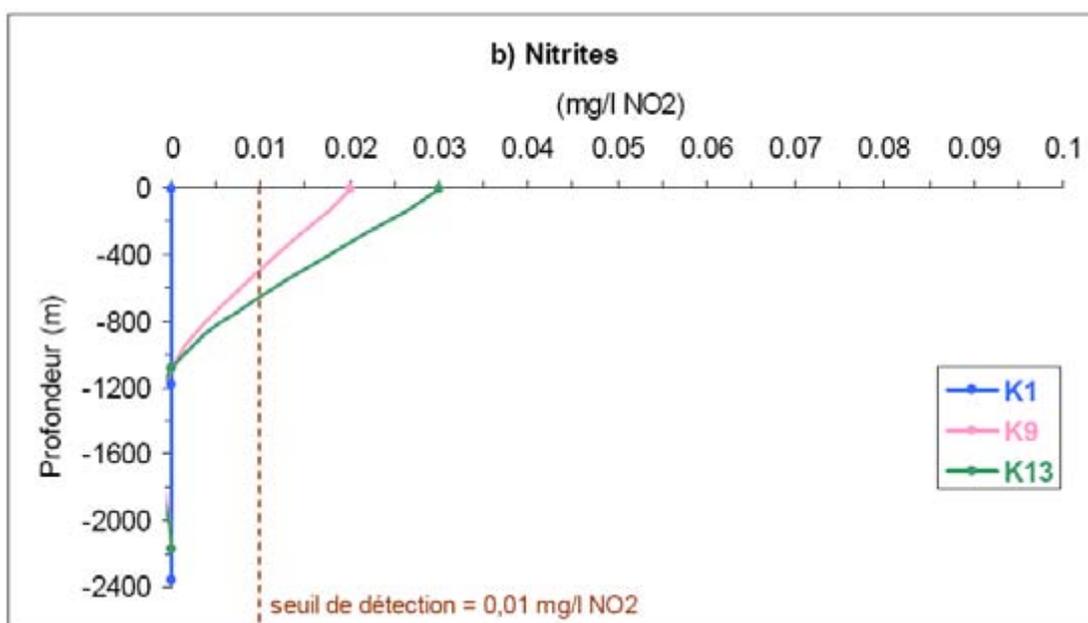
Comme pour l'azote Kjeldahl, les teneurs en phosphore total sont très homogènes près du fond, sur le plateau continental guyanais.

3.1.4.5.2 - Données de la zone de projet

Les données de la zone de projet, issues de la campagne Créocéan 2006, sont représentées dans les graphiques suivants. Les stations d'échantillonnage sont représentées en **Figure 3.14**.

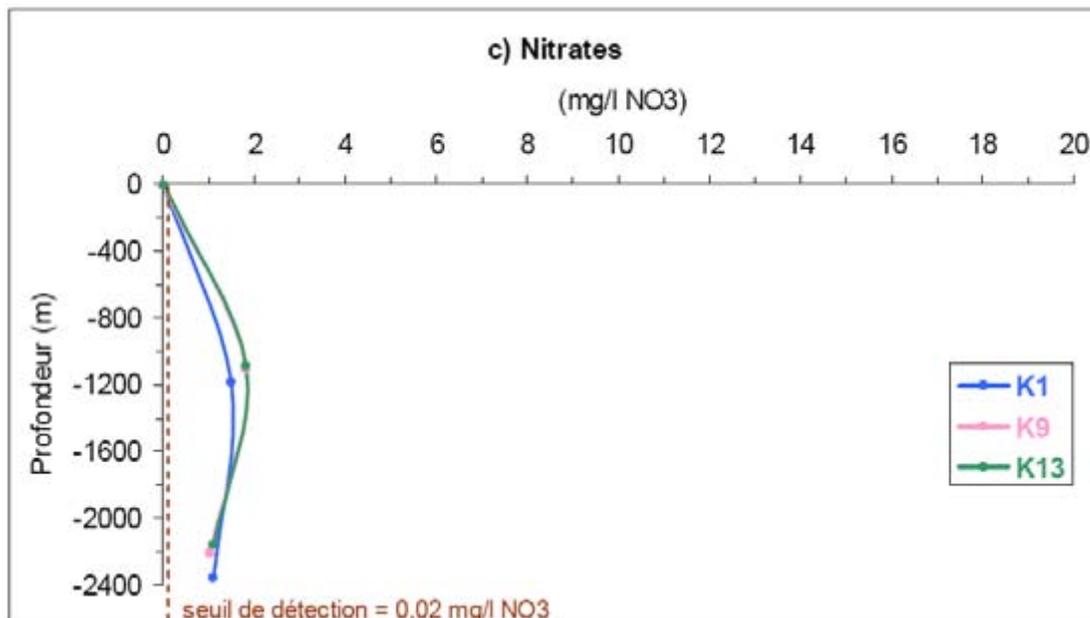
Les nitrites, nitrates et orthophosphates ont été analysés dans des échantillons d'eau prélevés à trois profondeurs (Créocéan, 2006).

Graphique 3.23. Teneurs en nitrites, juin 2006 (Créocéan, 2006)



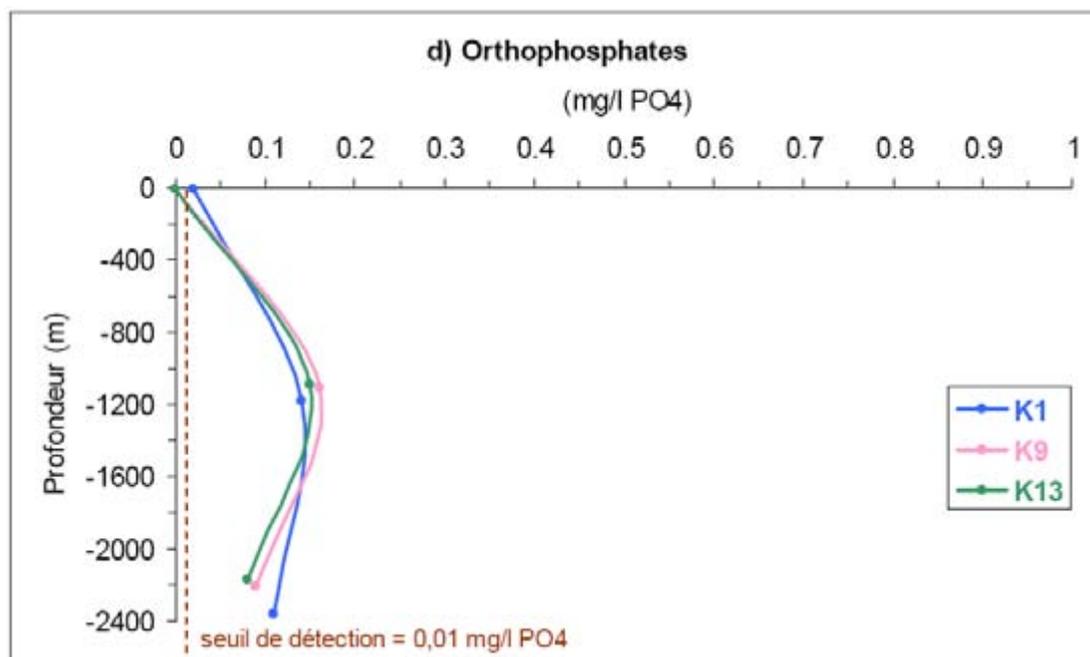
La teneur en **nitrites**, forme très fugace de l'azote, est inférieure ou égale à la limite de détection (0,01 mg/l NO₂) à mi profondeur (1000 m) et à proximité du fond (2200 m). Seule les eaux de surface ont révélé des valeurs supérieures à la limite de détection est comprises entre 0 et 0,03 mg/l. La charge en nitrites de l'eau sur la zone de projet est donc très faible.

Graphique 3.24. Teneurs en nitrates, juin 2006 (Créocéan, 2006)



La teneur en **nitrates** évolue de manière comparable aux trois stations. Elle est inférieure à la limite de détection (0,02 mg/l) en surface, se situe à 1,95 mg/l à mi-profondeur puis redescend à 1,25-1,45 mg/l au fond. Cela correspond à des concentrations très faibles.

Graphique 3.25. Teneurs en orthophosphates, juin 2006 (Créocéan, 2006)



L'évolution des **orthophosphates** est comparable à celle des nitrates, avec des valeurs inférieures ou voisines à la limite de détection en surface, un maximum (0,14 à 0,17 mg/l) à 1000 m et des valeurs plus faibles (0,07 à 0,10 mg/l) au fond. Ce sont des concentrations faibles.

Les concentrations en éléments nutritifs sont donc faibles sur toute la colonne d'eau. Les très faibles valeurs mesurées en surface proviennent, au moins en partie, de leur consommation par le phytoplancton, absent plus en profondeur.

3.1.4.6 - Présence de polluants

3.1.4.6.1 - Données générales

Aucune donnée sur la recherche de polluants dans les eaux du large n'a été identifiée.

3.1.4.6.2 - Données de la zone de projet

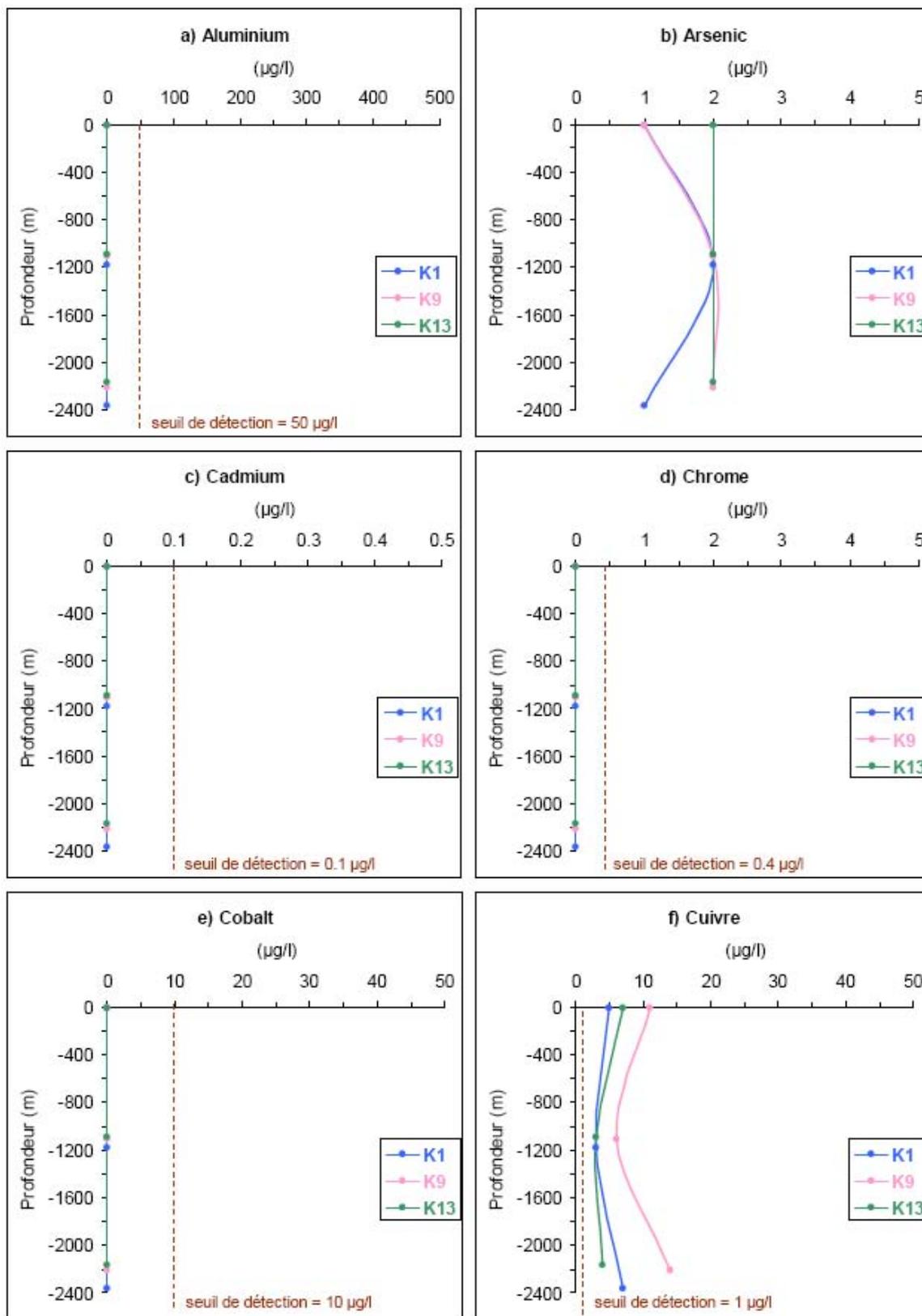
La campagne d'échantillonnage et de mesures *in situ* réalisée par Créocéan en 2006 fournit des données concernant les teneurs en métaux et Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) dans les eaux du site de Kawana. Les stations d'échantillonnage sont localisées sur la **Figure 3.14**. Compte tenu de l'homogénéité des eaux marines du large et de l'absence de sources polluantes à proximité, ces résultats peuvent être extrapolés à l'ensemble de la zone concernée par le futur site de forage GM-ES-1 de Tullow Oil.

Les résultats présentés ci-dessous proviennent d'échantillons récoltés sur trois stations (nommées K1, K9 et K13) à trois profondeurs différentes : 10 m, mi-profondeur et 10 au-dessus du fond. Notons que la hauteur d'eau mesurée sur ces trois stations était d'environ 2 350 m.

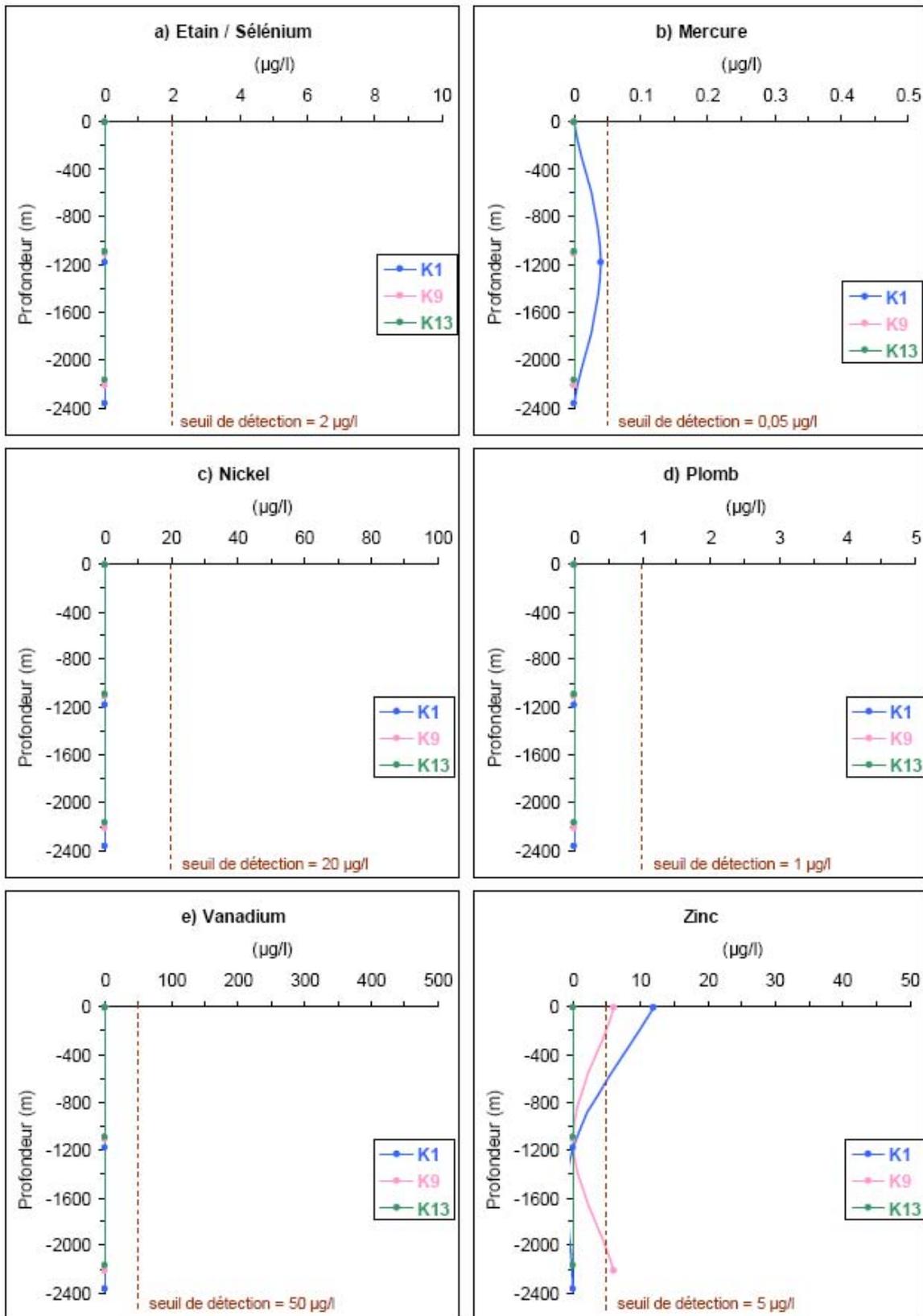
➤ **Métaux lourds**

Les résultats des mesures de métaux lourds (aluminium, arsenic, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, étain, sélénium, mercure, nickel, plomb, vanadium, zinc et baryum) sont présentés sur les **Graphiques 3.26 à 3.28**.

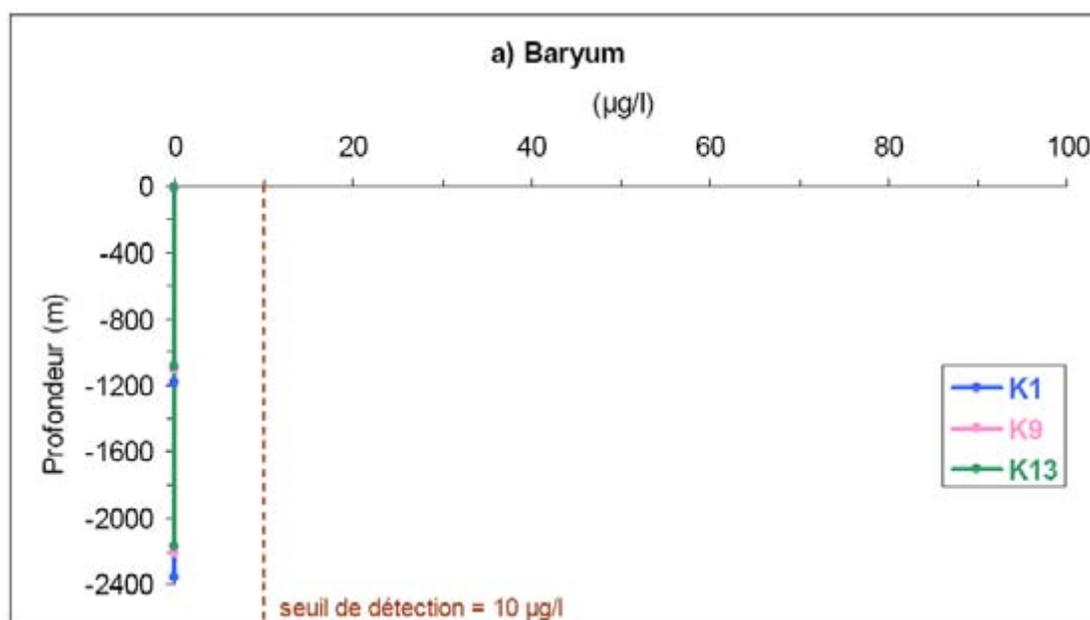
Graphique 3.26. Evolution de la teneur en métaux lourds, juin 2006 (Créocéan, 2006)



Graphique 3.27. Evolution de la teneur en métaux lourds, juin 2006, suite
(Créocéan, 2006)



Graphique 3.28. Evolution de la teneur en baryum, juin 2006, fin (Créocéan, 2006)



Les résultats mettent en évidence, pour neuf métaux, des teneurs inférieures aux limites de détection : aluminium (<50 µg/l), cadmium (<0,1 µg/l), chrome (<0,4 µg/l), cobalt (<10 µg/l), de l'étain/sélénium (<2 µg/l), mercure (<0,05 g/l), nickel (<20 µg/l), plomb (<1 µg/l), vanadium (<50 µg/l) et baryum (<10 µg/l). Ces résultats mettent en évidence des valeurs faibles.

Concernant, L'arsenic varie entre des teneurs de 1 et 2 µg/l. Ces valeurs sont faibles à la vue du bruit de fond océanique habituellement d'environ 3-4 µg/l.

Les teneurs en cuivre, bien que majoritairement supérieures à la limite de détection, restent toutes comparables au bruit de fond des océans (3 à 10 µg/l).

Pour le zinc, trois valeurs supérieures à la limite de détection ont été mesurées. Il s'agit cependant de deux valeurs faibles (6 µg/l), identiques au bruit de fond des océans. Seule une valeur est plus élevée : 12 µg/l en surface.

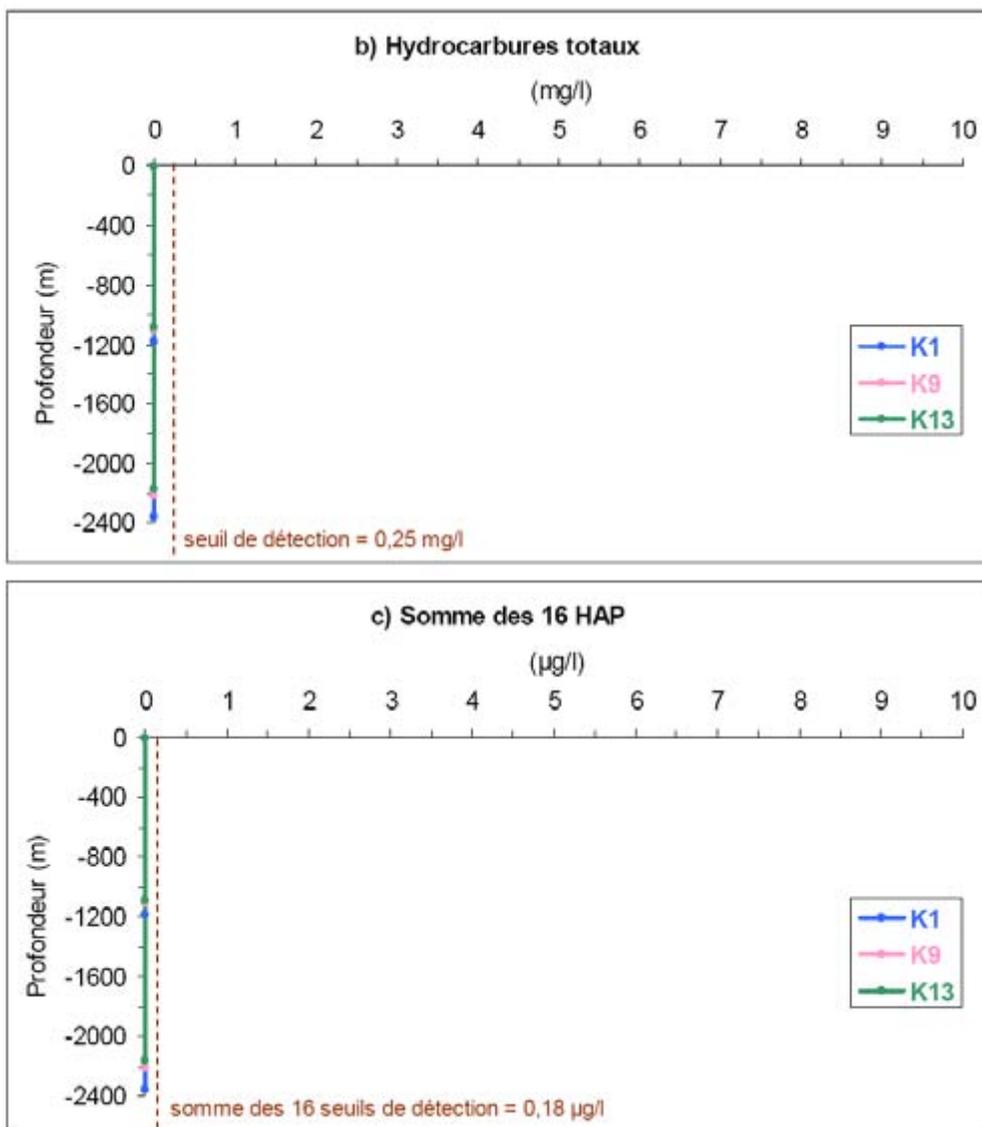
Les teneurs en métaux disponibles sur le site d'étude mettent en évidence des niveaux de contamination faibles, inférieurs ou égaux au bruit de fond des océans, hormis une teneur en surface pour le zinc.

Les différences observées entre les profondeurs sont généralement de l'ordre de grandeur de la variabilité naturelle et ne traduisent pas de gradient d'augmentation ou au contraire de diminution du niveau de contamination en fonction de la profondeur.

➤ **Hydrocarbures**

Les contaminants mesurés sont les hydrocarbures totaux et 16 composés d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Graphique 3.29. Evolution de la teneur en hydrocarbures totaux et en HAP, juin 2006 (Créocéan, 2006)



Les teneurs en hydrocarbures totaux sont inférieures à la limite de détection (< 0,25 mg/l).

Les teneurs de la somme des 16 HAP sont inférieures à la limite de détection, c'est-à-dire inférieures à 0,18 µg/l.

Il n'y a donc pas de traces décelables de contamination par des hydrocarbures dans la colonne d'eau de Kawana.

3.1.5 - Eaux de baignade

La qualité des eaux de baignades en mer est suivie sur 13 plages, réparties sur le littoral de Guyane.

Tableau 3.6. Classification des eaux de baignade du littoral guyanais entre 2004 et 2009 (Ministère en charge de la Santé, 2010)

Points de baignade	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Plage des Hattes	-					
Plage Castor						
Plage des Roches			-	-		
Plage Pollux						
Montabo "Chemin Hilaire"						
Montabo "Secteur Colibri"						
Montabo "Secteur Grant"						
Montabo "Secteur Zéphir"		-	-	-		
Montjoly-Plage Louis Caristan						
Plage de Bourda						
Plage de Montravel						
Plage du Gosselin						
Plage du Rorota						

Bonne qualité
 Qualité moyenne
 Momentanément polluée
 Mauvaise qualité
 Baignade interdite

Les eaux de baignade des plages de Rémire-Montjoly et de deux plages de Cayenne (Chemin Hilaire et Secteur Colibri) sont de qualité bonne à moyenne (classées en A ou en B : conformes aux normes européennes). Pour Kourou et les autres plages de Cayenne, les classements font apparaître, selon les années, des secteurs momentanément pollués, voire de mauvaise qualité. Enfin, la plage des Hattes, à Awala-Yalimapo, après un classement des eaux en catégorie C (momentanément polluées) en 2005, a vu la qualité des eaux s'améliorer (qualité moyenne, c'est-à-dire compatible avec la réglementation européenne).

3.1.6 - Géologie

Cette présentation de la géologie décrit l'ensemble des terrains rencontrés en Guyane.

Le bouclier précambrien

B Choubert (1974) auteur pour partie de la carte géologique au 1/100 000 distingue plusieurs domaines lithologiques :

a) Le domaine paragéosynclinal (Hyléen) qui correspond au complexe de l'île de Cayenne et qui constitue les roches les plus anciennes de la Guyane. Il s'agit de roches métamorphiques recoupées par des venues de gabbros ou de diorites.

b) Le domaine géosynclinal (ou Période guyanaise) qui est composé de plusieurs séries :

- La série Paramaca, riche en produits miniers, qui se divise en :
 - Paramaca inférieur, composé de roches sédimentaires et métamorphiques ;
 - Paramaca supérieur, constitué de laves de natures diverses.
- Les Granites guyanais,
- Les séries de la période caraïbe qui comprennent des roches détritiques métamorphisées reposant sur les granites, gneiss et pegmatites caraïbes.

Les terrains tertiaires

Un seul lambeau sédimentaire tertiaire a été rencontré par sondage près de Mana (entre 79 et 99 mètres de profondeur). Ce niveau de calcaires a été rattaché au Paléocène.

Les terrains quaternaires

Les dépôts quaternaires sont en contact direct avec le précambrien. S'ils ne représentent qu'un placage peu épais à l'est d'Organabo, ils sont beaucoup plus épais à l'ouest de cette localité, où débute une vaste fosse de sédimentation qui trouve son maximum d'extension au niveau de la Berbice, au Guyana. Les affleurements du socle perçant les alluvions ne sont pas rares et forment même des îlets en mer. Les sédiments quaternaires forment des plaines côtières minces.

On trouve en allant de l'intérieur vers la mer (**Figure 3.15**) :

1) La plaine côtière ancienne : la plus éloignée de la mer et la plus sableuse où sont distingués du bas vers le haut, les dépôts suivants dont l'épaisseur varie entre 8 et 15 m :

- la série subcontinentale de base dont le faciès sablo-argileux mal trié et les galets ont la texture des produits d'altérite du granite ;
- la série de Coswine, datée du Pléistocène, formée de cordons de sable et d'argiles marines bariolées dessalées et oxydées (taches de rouille) directement déposées sur le socle précambrien.

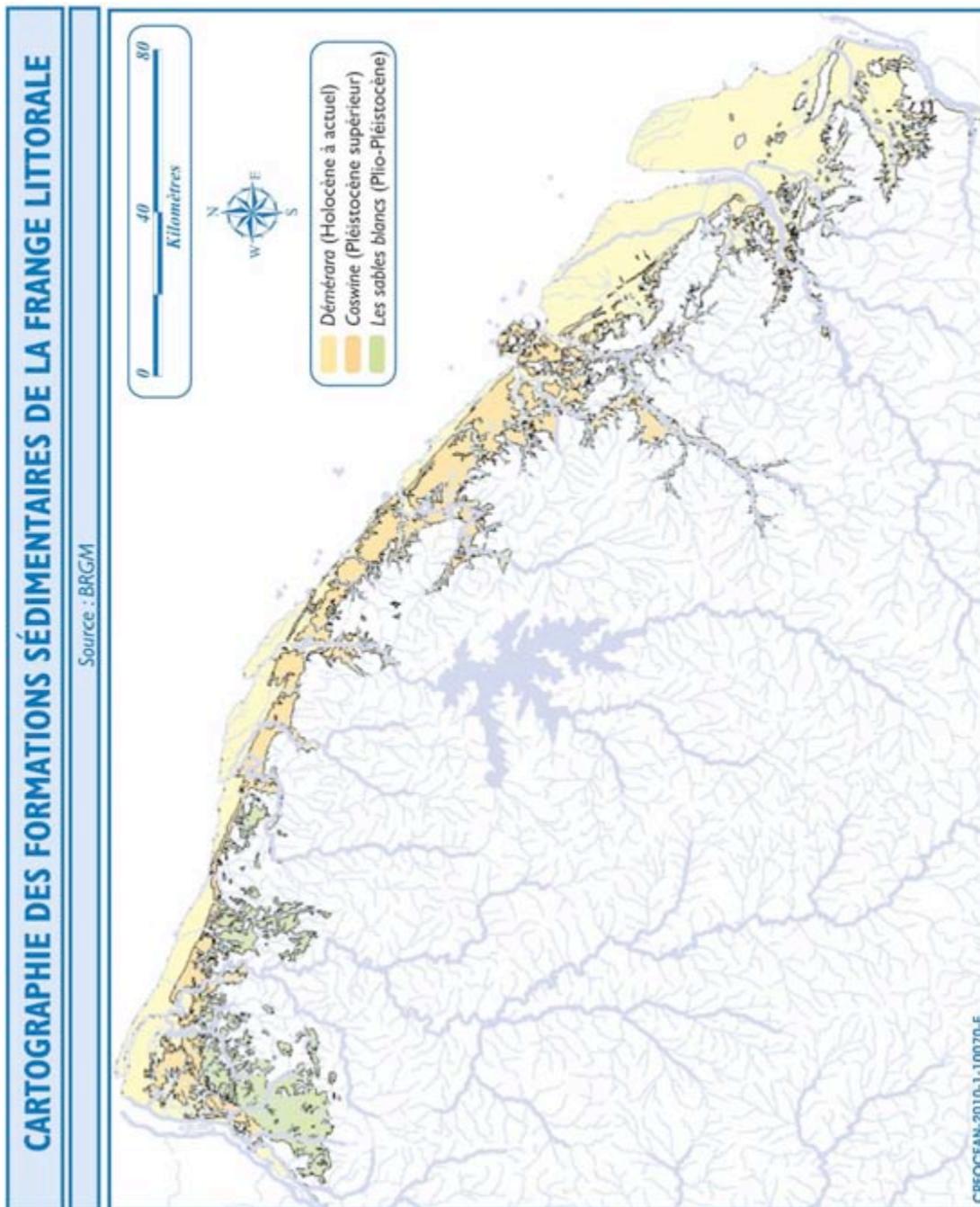
2) La plaine côtière récente : c'est la plus proche de la mer et la plus argileuse. Les sédiments appartiennent tous à la série Démérara (appelé aussi dépôt Coronie), d'âge Holocène, à l'exception des dépôts actuels qui constituent les vasières de front de mer. On distingue du bas vers le haut (du plus ancien au plus récent) des argiles d'eau saumâtre surmontées par des cordons sableux mêlés à des argiles marines salées ou saumâtres.

3) Les zones estuariennes ou perturbées par des réseaux hydrographiques anciens. Les dépôts prennent alors des faciès fluvio-continentaux plus ou moins mélangés à des argiles marines.

4) Les alluvions fluviales d'origine continentale. Elles sont assez abondantes dans les cours inférieurs des fleuves, plus rares en amont. Les produits mis en place sont majoritairement de nature sableuse.

L'étude des sédiments meubles grossiers du littoral guyanais a montré qu'ils proviennent de l'érosion du socle précambrien situé en amont, bouclier guyanais proche ou contreforts andins via l'Amazonie. Cette érosion provoque les dépôts continentaux ; ceux-ci, à leur tour, nourrissent successivement les dépôts sublittoraux, littoraux et marins.

Figure 3.15. Cartographie des formations sédimentaires de la frange littorale (BRGM)



3.1.7 - Sédimentologie

3.1.7.1 - Plateau continental

Les données relatives aux sédiments superficiels du plateau continental sont issues de la carte SHOM 6131G.

Les sédiments superficiels rencontrés sur le plateau continental montrent une augmentation globale de leur granulométrie depuis le rivage vers le large (**Figure 3.16**).

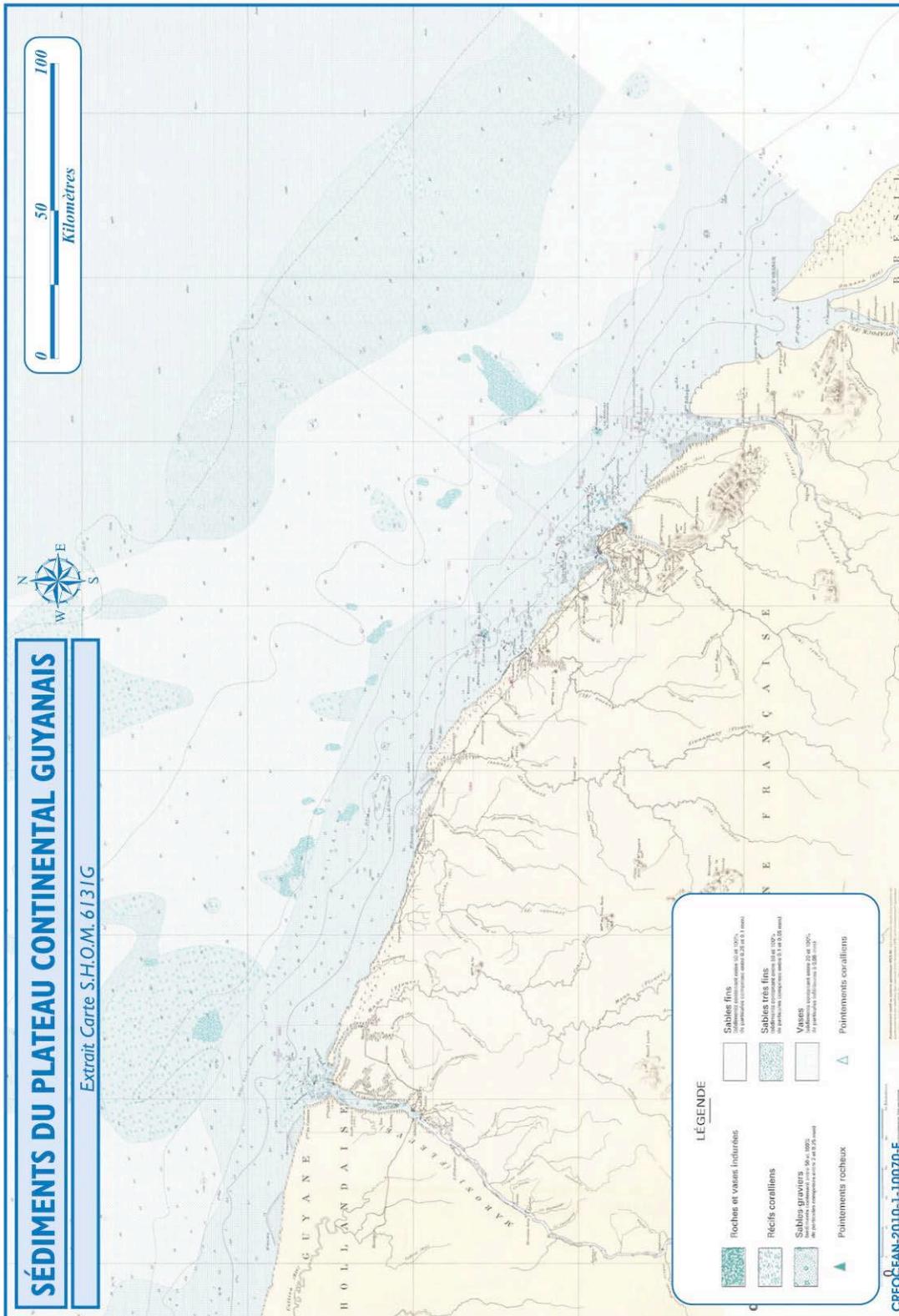
Les fonds littoraux sont constitués majoritairement de vases argileuses. On observe toutefois des portions sableuses, notamment au niveau de l'estuaire du Maroni. Les vases s'étendent depuis la bordure littorale sur une largeur de 20 à 50 km des côtes. Ces sédiments présentent des teneurs en carbonates inférieures à 10%. Notons également la présence très ponctuelle de zones rocheuses.

Au-delà de la zone vaseuse littorale apparaissent des fonds constitués de sables fins présentant une proportion réduite de particules fines (<10%). Cette formation de sables fins s'étend sur des distances variables, allant de 30 km à plus de 130 km, soit l'extrémité du plateau continental. Cette zone de fonds sableux est ponctuellement interrompue par des secteurs rocheux ou indurés ou de sédiments plus grossiers (sables et graviers) rencontrés essentiellement dans l'Ouest. Cette formation sableuse présente des teneurs en carbonate souvent inférieures à 10%, excepté dans le Nord-Ouest où celle-ci peut atteindre 50%.

A l'est de 52°30'W, entre les sables fins et la limite du plateau continental, un faciès particulier de sables très fins est rencontré. Sa teneur en carbonates est comprise entre 10 et 70%.

Enfin, des récifs et pointements coralliens sont signalés dans des fonds compris entre 70 et 200 m, principalement à l'est de 52°30'W.

Figure 3.16. Sédiments du plateau continental guyanais (SHOM)



3.1.7.2 - Talus continental

3.1.7.2.1 - Données générales

Les sédiments du talus continental sont constitués de sables vaseux à vases sableuses surmontant des vases pures. Les teneurs en carbonate sont comprises entre 10 et 50%.

3.1.7.3 - Domaine profond

3.1.7.3.1 - Données générales

Le domaine profond se caractérise par des vases pures.

3.1.7.3.2 - Données de la zone de projet

Les observations sur le site de Kawana (Créocéan, 2006), bien que centrées sur un secteur de 8 km par 8 km, doivent pouvoir être extrapolées aux fonds de la zone concernée par futur point de forage qui se situe à 24 km de Kawana.

Les observations du sédiment, faites au moment de l'échantillonnage, ont permis de mettre en évidence l'homogénéité de l'aspect visuel du sédiment de l'ensemble de la zone de Kawana. Il était constitué par une vase brune assez compacte et très fine mélangée à des sables fins, recouverte d'une fine couche oxydée plus fluide en surface.

Photo 3.2. Aspect visuel du sédiment superficiel (Créocéan, 2006)



3.1.7.4 - Qualité des sédiments de surface

3.1.7.4.1 - Données générales

Des **analyses de contaminants métalliques et organiques** ont été réalisées sur les sédiments aux sorties des estuaires du Mahury (chenal d'accès au port du Dégrad des Cannes) et du Maroni (Banc Français) (Créocéan, 2004 a et b).

Les teneurs en métaux lourds sont toutes apparues faibles à très faibles, pour les deux sites (Maroni et Mahury). Il en est de même des teneurs en polluants organiques, inférieures aux seuils de détection (PCB) ou aux valeurs repères données par le groupe d'experts GEODE.

Des **analyses de HAP** ont également été réalisées sur des échantillons de sable prélevés sur la plage de Yalimapo (légèrement au-dessus de la limite des plus hautes mers) à l'Ouest de la Guyane dans l'estuaire du Maroni (Créocéan, 2006).

Les résultats ont mis en évidence une grande homogénéité entre les différentes stations de prélèvement sur la plage de Yalimapo. On observe la présence prépondérante d'HAP à 2 cycles (par exemple le naphthalène) et de manière plus limitée d'HAP à 5 ou 6 cycles. La présence d'HAP à deux cycles semble liée à une origine pyrogénique (feux pour la culture des abattis sur brûlis, nombreux dans la région). Celle des HAP à 5 ou 6 cycles n'a pu être déterminée. Les deux hypothèses sont l'origine pétrogénique (apports anthropiques ou naturels) et l'origine diagénétique (apports des mangroves).

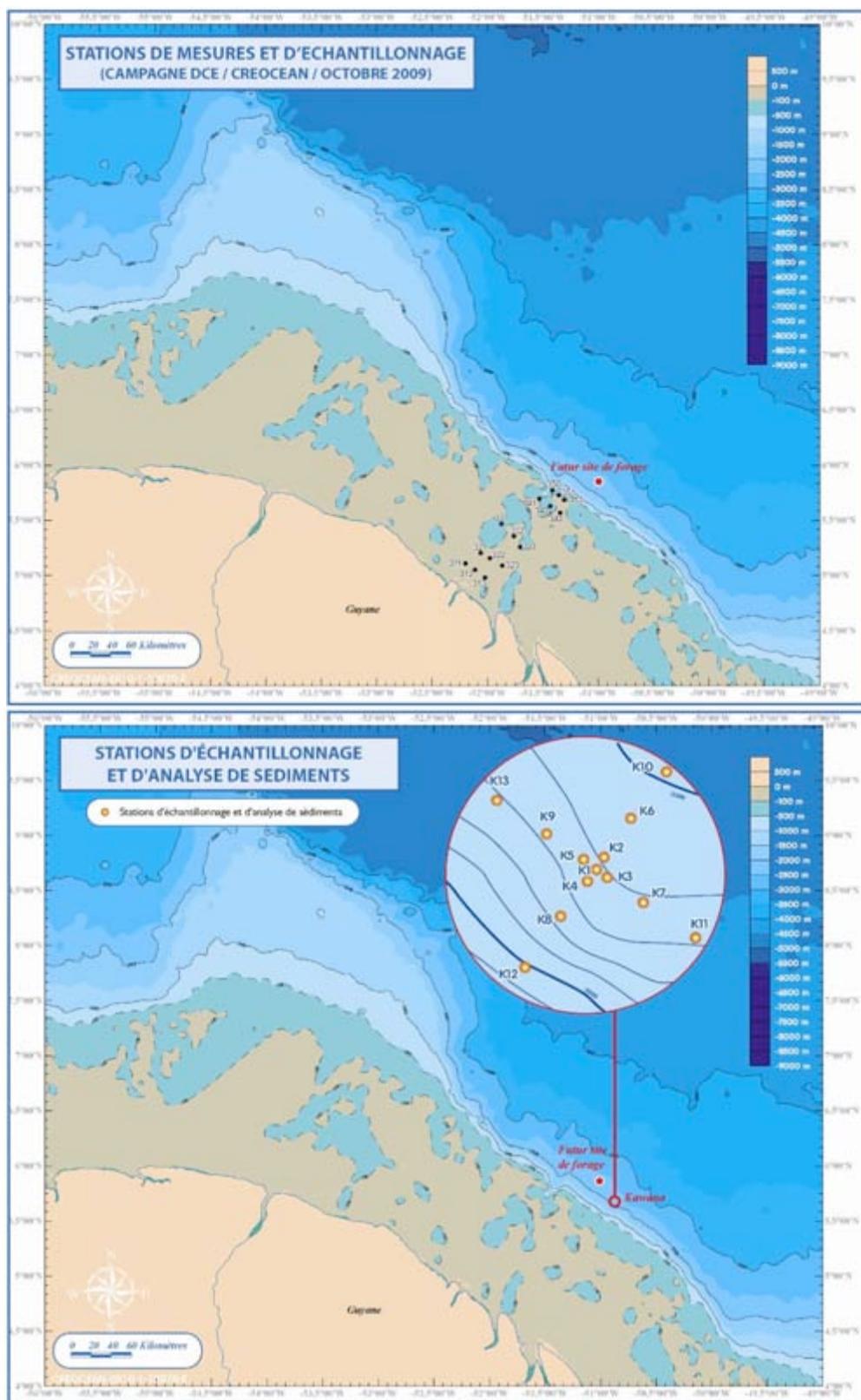
3.1.7.4.2 - Données au large de la Guyane

Deux campagnes de prélèvements et d'analyse des sédiments ont été menées en 2006 et en 2009 par Créocéan au large de la Guyane. Les stations d'échantillonnage sont présentées sur la **Figure 3.17**.

La campagne réalisée en 2009 par Créocéan concernait le plateau continental guyanais.

La campagne biosédimentaire réalisée par Créocéan en 2006 apporte des données quant à la qualité physico-chimique des sédiments superficiels du site de Kawana. La proximité et la similitude des hauteurs d'eau, en milieu bathyal, plaide en faveur d'une homogénéité des caractéristiques physico-chimiques des sédiments entre la zone échantillonnée en 2006 et celle du site de forage GM-ES-1.

Figure 3.17. Stations d'échantillonnage des sédiments (Créocéan, 2009 et Créocéan, 2006)

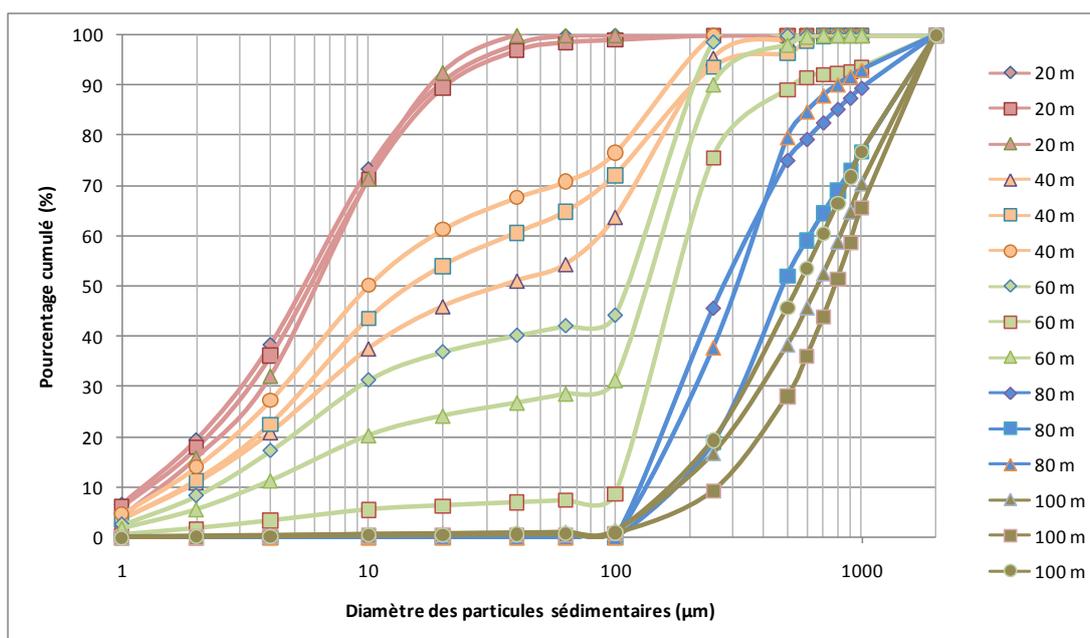


3.1.7.4.2.1 - Variables physiques

➤ Granulométrie

La campagne réalisée sur le **plateau continental** en octobre 2009 par Créocéan a consisté à prélever à 20, 40, 60, 80 et 100 m de hauteur d'eau des sédiments superficiels (voir **Figure 3.17**). Les courbes granulométriques sont présentées en **Graphique 3.30**.

Graphique 3.30. Courbes granulométriques le long du plateau continental guyanais (Créocéan, 2009)



On observe une progression, qui se traduit par une fraction sableuse qui augmente depuis la côte vers le rebord du plateau :

- A 20 m de fond, ce sont des limons, probablement en lien avec les apports fluviaux,
- A 40 m, on trouve des limons plus sableux,
- A 60 m de hauteur d'eau, les fonds sont constitués par des sables limoneux,
- A 80 et 100 m de fond, on trouve des sables purs, dont la taille des grains augmente avec la profondeur.

Pour la **zone du projet** (données Kawana, 2006), le sédiment de l'ensemble de la zone est très largement dominé par les limons fins qui forment entre 52 et 67% des particules totales. Les limons grossiers arrivent en deuxième position avec 15 à 22% du total et les argiles en

troisième position avec 12 à 19% des particules. Au final, la fraction fine représente en moyenne 95,2% des particules.

La fraction grossière du sédiment, correspondant à des sables, est peu représentée, avec des teneurs oscillant entre 0,5 et 14,8% selon la station. De plus, seuls les sables fins y sont représentés, avec des tailles de grains n'excédant pas 200 µm.

Ces résultats sont en accord avec la cartographie du SHOM (Figure 3.16).

➤ Teneur en eau

Aucune mesure de teneur en eau n'a été effectuée sur les sédiments du **plateau continental**.

Pour la **zone du projet** (Kawana, 2006), les échantillons, la teneur en eau est importante (en moyenne 63%) mais elle n'est pas corrélée avec le taux de particules fines, ni d'ailleurs avec le taux d'argiles, de limons ou de sables. Les valeurs se répartissent en deux groupes :

- Des teneurs en eau entre 50 et 55% pour les sédiments des stations les moins profondes (entre 2000 et 2320 m),
- Des teneurs en eau plus élevées, comprises entre 69 et 75%, au-delà de 2320 m de hauteur d'eau.

3.1.7.4.2.2 - Ressources nutritives

Il faut savoir que les teneurs de matière organique total et de carbone organique, ainsi que la teneur d'azote total d'un sédiment sont, généralement, d'autant plus importantes que le sédiment est fin. Les niveaux de chaque paramètre sont évalués à partir des valeurs seuils existantes dans la bibliographie (Licari, 1998).

Tableau 3.7. Seuils de qualité pour les nutriments dans les sédiments (Licari, 1998)

Paramètres	Valeur faible	Valeur moyenne	Valeur élevée	Valeur très élevée
Matière organique (% sec)	< 6,95	6,95 à 10,30	10,30 à 13,00	≥ 13,00
Carbone organique (% sec)	< 0,75	0,75 à 1,33	1,33 à 5,00	≥ 5,00
Azote total (% sec)	< 0,04	0,04 à 0,09	0,09 à 0,18	≥ 0,18

Les deux campagnes Créocéan peuvent permettre de repérer l'existence d'un gradient éventuel du littoral vers le large.

➤ Matière organique totale

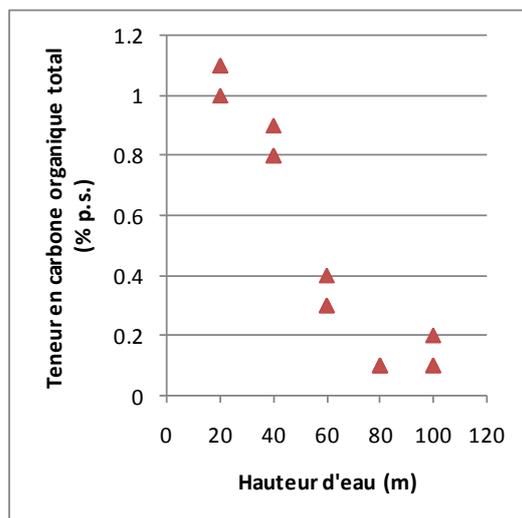
Les teneurs en matière organique n'ont pas été recherchées pour les sédiments du **plateau continental** (Créocéan, 2009).

Sur le site de **Kawana**, le taux de matière organique varie entre 4,1 et 14,2%. Ces valeurs, bien qu'hétérogènes, sont principalement comprises dans l'intervalle de 7 à 9%, correspondant ainsi à un niveau d'enrichissement normal en matière organique.

➤ Carbone organique total

Les teneurs en carbone organique total des sédiments du **plateau continental** sont représentées dans le **Graphique 3.31**.

Graphique 3.31. Teneur en carbone organique total (Créocéan, 2009)



On observe un gradient net entre la côte et le large, avec des teneurs moyennes (ou normales) jusqu'à 40 m de hauteur d'eau, puis des valeurs faibles. Cela apparaît cohérent avec une origine terrigène du carbone, et avec le fait que les sédiments de plus en plus grossiers retiennent moins les nutriments.

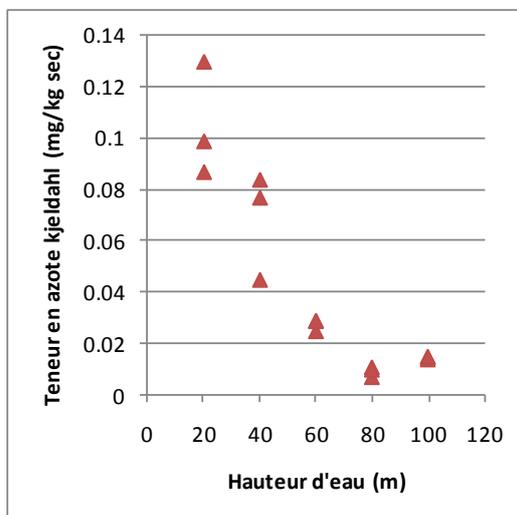
Pour la **zone du projet** (Kawana, 2006), le taux de carbone organique total fluctue entre 2,7% (sec) et 6,2% (sec), la moyenne étant de 4,2% (sec). Ces valeurs sont hétérogènes mais la plupart sont de l'ordre de 3 à 5% (sec), ce qui correspond à un niveau d'enrichissement en carbone organique élevé. Quatre valeurs sont très élevées.

Le gradient décroissant côte-large visible sur le plateau continental s'inverse donc au niveau de la zone du projet. Ce constat reste cohérent avec la corrélation qui existe souvent entre la finesse des sédiments et les teneurs élevées en nutriments.

➤ Azote total

Les teneurs en azote total (Kjeldahl) des sédiments du **plateau continental** sont représentées dans le **Graphique 3.32**.

Graphique 3.32. Teneur en azote Kjeldahl (Créocéan, 2009)



On voit un gradient d'appauvrissement des sédiments en azote avec l'éloignement à la côte, qui va de paire avec la diminution de la fraction fine des sédiments.

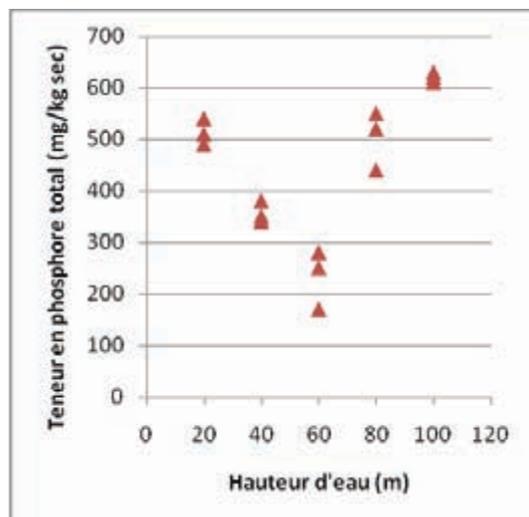
Pour la **zone du projet** (Kawana, 2006), la teneur en azote varie entre 0,061 et 0,195 mg/kg (sec), la moyenne se situant à 0,144 mg/kg. Ces teneurs restent hétérogènes et correspondent toutes à un niveau d'enrichissement moyen à très élevé en azote, la moyenne étant dans la classe « élevée ».

Comme précédemment, la teneur en azote total apparaît fortement corrélée avec la proportion de particules fines des sédiments superficiels.

➤ Phosphore total

Les teneurs en azote total (Kjeldahl) des sédiments du **plateau continental** sont représentées dans le **Graphique 3.33**.

Graphique 3.33. Teneur en phosphore total (Créocéan, 2009)



Aucun gradient côte-large ou en lien avec la granulométrie n'est visible.

Pour la **zone du projet** (Kawana, 2006), la teneur en phosphore dans le sédiment varie entre 394 et 601 mg/kg (sec), la moyenne étant de 510 mg/kg (sec).

Les valeurs de la zone du projet sont comparables à celles du plateau continental ; aucun gradient n'est visible. On ne dispose pas de seuils de qualité pour le phosphore total.

Le sédiment de la zone de projet présente dans l'ensemble des concentrations en matière organique normales (en moyenne 8% sec), des teneurs élevées en carbone organique (4,2% sec) et en azote (0,14 mg/kg sec) et des teneurs moyennes en phosphore de 510 mg/kg sec. Malgré son taux élevé de particules fines, le sédiment ne contient pas des quantités trop importantes d'éléments nutritifs ; cela est dû à des apports réduits du fait de l'éloignement des sources terrigènes.

La station K13 se distingue des autres stations par son plus faible niveau d'enrichissement en matière organique, azote et phosphore, en lien avec une granulométrie plus grossière.

➤ Comparaison de la zone du projet avec d'autres zones bathyales

Le tableau ci-après permet de comparer le niveau d'enrichissement en ressources nutritives du sédiment de Kawana, proche du site de forage, avec celui d'autres zones bathyales.

Tableau 3.8. Comparaison des teneurs en nutriments avec d'autres sites profonds (Créocéan, 2006)

Site	Profondeur	MO ⁵		COT ⁶		NT ⁷		PT ⁸	
Congo	600 m	Red	Red	Orange	Orange	Red	Red		
Congo	850 m	Red	Red	Orange	Orange	Red	Red		
Matamata	1 200 m	Blue	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange		
Angola	1 300 m	Orange	Red						
Kawana	2 400 m	Blue	Yellow	Orange	Red	Orange	Red		

	Valeurs faibles
	Valeurs moyennes
	Valeurs élevées
	Valeurs très élevées

Les teneurs en ressources nutritives des sédiments de la zone d'étude (Kawana) sont comparables, voire plus élevées que celles mesurées sur l'autre site guyanais (Matamata). Matamata est situé au large de l'ouest guyanais, sur le Plateau Démérara, à environ 245 km de l'estuaire du Maroni et 260 km au nord de la ville de Sinnamary.

Les teneurs en matière organique et phosphore total sont nettement plus faibles que celles mesurées sur les sites africains. Les teneurs en carbone organique total et azote total sont globalement comparables aux sites africains.

⁵ MO : matière organique

⁶ COT : carbone organique total

⁷ NT : azote total

⁸ PT : phosphore total

3.1.7.4.2.3 - Métaux lourds

Les métaux lourds n'ont pas été recherchés dans les sédiments du **plateau continental**.

Pour la **zone d'étude**, le **Tableau 3.9** regroupe les teneurs en métaux lourds des sédiments de Kawana, ainsi que les différentes valeurs seuils disponibles dans l'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 extraits de cours d'eau ou canaux » et dans la bibliographie.

Tableau 3.9. Teneurs en métaux lourds des sédiments de Kawana (Créocéen, 2006)

Métaux	Valeurs seuils existantes				Intervalle des valeurs mesurées à Kawana	Caractéristiques des valeurs observées (par rapport aux bruits de fond habituel des océans)
	Valeur faible	Valeur moyenne (normale)	Valeur élevée	Valeur très élevée		
Aluminium (% sec)	< 2	2 à 4	4 à 8	≥ 8	1,4 à 4,5	Faibles à élevées
Arsenic (mg/kg)	< 12,5	12,5 à 25	25 à 50	≥ 50	4 à 23	Faibles à normales
Baryum (mg/kg)	< 200	200 à 400	400 à 800	≥ 2 000	40 à 106	Faibles
Cadmium (mg/kg)	< 0,6	0,6 à 1,2	1,2 à 2,4	≥ 2,4	< 0,2	Très faibles
Chrome (mg/kg)	< 45	45 à 90	90 à 180	≥ 180	21 à 32	Faibles
Cobalt (mg/kg)	< 22,5	22,5 à 45	45 à 90	≥ 90	8 à 11	Faibles
Cuivre (mg/kg)	< 22,5	22,5 à 45	45 à 90	≥ 90	12 à 23	Faibles à normales
Etain (mg/kg)	< 10	10 à 20	20 à 40	≥ 40	< 2	Très faibles
Mercure (µg/kg)	< 200	200 à 400	400 à 800	≥ 800	49 à 68	Faibles
Nickel (mg/kg)	< 18,5	18,5 à 37	37 à 74	≥ 74	13 à 26	Faibles à normales
Plomb (mg/kg)	< 50	50 à 100	100 à 200	≥ 200	9 à 14	Faibles
Sélénium (mg/kg)	< 1	1 à 2	2 à 4	≥ 4	<1 à 2	Normales
Vanadium (mg/kg)	< 50	50 à 100	100 à 200	≥ 200	28 à 54	Faibles à normales
Zinc (mg/kg)	< 138	138 à 276	276 à 552	≥ 552	60 à 81	Faibles

➤ Synthèse

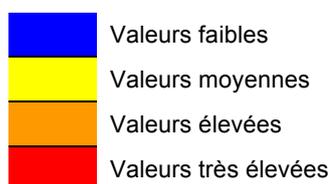
Le niveau de bruit de fond du sédiment de la zone du projet est homogène et faible pour la plupart des métaux. Notons que des niveaux élevés ont été mesurés, au moins en une station, pour l'aluminium et le sélénium.

➤ Comparaison avec d'autres zones bathyales

Le **Tableau 3.10** permet de comparer le niveau de concentration en métaux dans le sédiment de la zone de projet avec celui d'autres zones bathyales.

Tableau 3.10. Comparaison des teneurs en métaux lourds avec d'autres sites profonds (Créocéan, 2006)

Site	Profondeur	Al	As	Ba	Cd	Cr	Co	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Sn	V	Zn
Congo	600 m														
Congo	850 m														
Matamata	1 200 m														
Angola	1 300 m														
Kawana	2 400 m														



Les teneurs en métaux lourds des sédiments de Kawana sont globalement comparables à celles relevés sur le site guyanais de Matamata. On remarque que les sédiments de la zone de projet présentent globalement une meilleure qualité que les sites africains.

3.1.7.4.2.4 - Hydrocarbures

Les valeurs repères des hydrocarbures sont données dans le **Tableau 3.11**.

Tableau 3.11. Valeurs repères pour les teneurs en hydrocarbures dans les sédiments (REPOM)

Paramètres	Valeur faible	Valeur moyenne	Valeur élevée	Valeur très élevée
Hydrocarbures totaux (mg/kg sec)	< 100	100 à 500	500 à 1 000	≥ 1 000
Somme des 16 composés de HAP (µg/kg sec)	< 500	500 à 1 000	1 000 à 10 000	≥ 10 000

Les hydrocarbures n'ont pas été recherchés dans les sédiments du **plateau continental**.

Les teneurs en hydrocarbures totaux des sédiments de la **zone de projet** (Kawana) sont très faibles, toutes inférieures au seuil de détection (40 mg/kg sec).

Les teneurs des 16 composés de HAP sont inférieures aux limites de détection sur toutes les stations, à l'exception du chrysène qui est présent à l'état de trace sur 2 stations (teneurs de 4 µg/kg sec), et du benzo(b)fluoranthène, également présent à l'état de trace aux stations K12 (2 µg/kg sec), K7 et K9 (3 µg/kg sec). Les valeurs seuil définies par la Convention OSPAR⁹ sont respectivement de 1000 µg/kg pour le chrysène et de 300 µg/kg pour le benzo(b)fluoranthène. Les niveaux mesurés sur le site de Kawana sont donc très inférieurs à ces seuils. Notons que pour les autres composés, leurs teneurs inférieures aux limites de détection sont également nettement inférieures aux valeurs seuils OSPAR.

➤ Synthèse

Les sédiments de la zone de projet sont exempts de contamination par les hydrocarbures totaux et par les HAP.

⁹ Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est, dite « Convention OSPAR », signée à Paris en 1992.

➤ Comparaison avec d'autres zones bathyales

Le **Tableau 3.12** permet de comparer le niveau de concentration en hydrocarbures dans le sédiment de la zone de projet avec celui d'autres zones bathyales.

Tableau 3.12. Comparaison des teneurs en hydrocarbures avec d'autres sites profonds (Créocéan, 2006)

Site	Profondeur	Hydrocarbures totaux		HAP	
Congo	600 m				
Congo	850 m				
Matamata	1 200 m				
Angola	1 300 m				
Kawana	2 400 m				

	Valeurs faibles
	Valeurs moyennes
	Valeurs élevées
	Valeurs très élevées

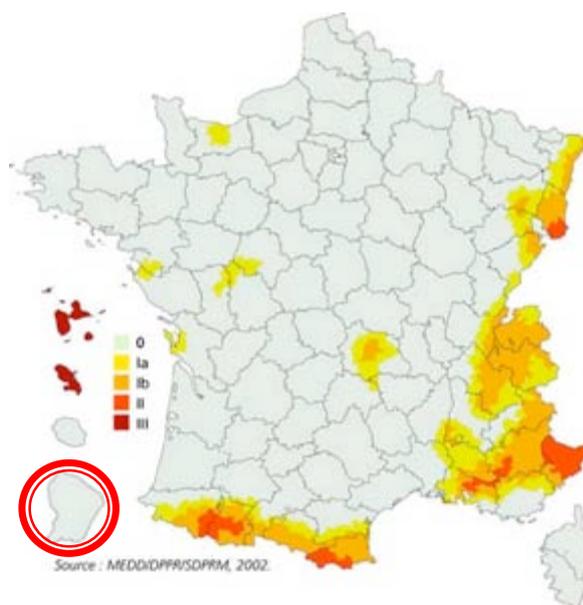
Les teneurs en hydrocarbures des sédiments de la zone de projet sont comparables à celles relevées sur le site de Matamata (ouest Guyane) et sur les différents sites africains.

3.1.8 - Sismicité naturelle

3.1.8.1 - Classement sismique

La Guyane est classée en zone de « risque sismique négligeable mais non nul », ce qui constitue le niveau le plus faible en termes de risque sismique.

Figure 3.18. Zonage du risque sismique en France (MEDD, 2002)



3.1.8.2 - Activité sismique naturelle

Le risque sismique en Guyane est faible, toutefois l'activité sismique naturelle n'y est pas inexistante, comme en témoigne le séisme du 8 juin 2006. Ce séisme, d'une magnitude 5,2 sur l'échelle de Richter, a son épicerne situé près de l'embouchure de l'Approuague, soit une cinquantaine de kilomètres au Sud-est de Cayenne. Cet événement pourrait être dû à un rééquilibrage de la croûte continentale face à l'accumulation de sédiments de l'Amazonie (Lasserre, communication personnelle).

Le bouclier guyanais est caractérisé, dans son ensemble, par une faible sismicité : séismes de magnitude généralement inférieure ou égale à 5,0 ressentis avec une intensité maximale épicerne de l'ordre de IV. Les zones à forte sismicité qui sont les plus proches de la Guyane sont la dorsale médio-atlantique, au nord-est, et l'extrémité sud-est de la zone

Caraïbe, au nord-ouest ; toutefois, ces domaines tectoniques qui correspondent à des limites de plaques, sont distants d'au moins 1 000 km de la ville de Cayenne.

Au sud, le cours moyen et inférieur de l'Amazone sépare les boucliers guyanais et brésilien, pour lequel on connaît quelques séismes atteignant ou dépassant parfois la magnitude 6,0.

Les seuls séismes relativement récents survenus dans un rayon de 150 km autour de Cayenne sont situés près de l'Oyapock (Berrocal *et al*, 1983). Leur localisation, reportée sur la **Figure 3.19**, est précise à 100 km près.

Figure 3.19. Séismes récents du littoral guyanais (Berrocal *et al*, 1983 et BRGM, 2006)



Le séisme du 17 septembre 1949, à 80 km au sud du séisme du 8 juin 2006, a une magnitude évaluée à 5,0 à partir de l'aire de perception (450 000 km²). Celui du 24 avril 1951 a une magnitude évaluée à 4,7 degrés sur l'échelle de Richter.

Le séisme de la montagne de Kaw (4 août 1885) avait été fortement ressenti à Cayenne, Guisanbourg (commune de Régina) et Montsinéry-Tonnégrande (intensités VI), d'après SisFrance/Antilles, 2010.

Ces évènements sont localisés à plus de 150 km du site de GM-ES-1.

3.2 - Description du milieu biologique

La description du milieu biologique s'intéresse à la fois au milieu vivant en mer, mais aussi au milieu vivant de la bande littorale.

3.2.1 - Caractéristiques du milieu vivant en mer

Le milieu biologique en mer est décrit selon la logique de la systématique : d'abord les végétaux, puis les animaux (depuis les invertébrés jusqu'aux mammifères).

3.2.1.1 - Algues macroscopiques et angiospermes marines

Les macroalgues de Guyane n'ont pas fait l'objet de travaux d'inventaire ou de recherche, d'après la bibliographie consultée. Malgré cela, leur présence est fort probable sur les fonds rocheux, notamment sur les îles situées au large de la Guyane.

La forte turbidité naturelle des eaux littorales guyanaises ne permet pas un bon développement de la végétation aquatique marine. L'opacité des eaux empêche la pénétration de la lumière, indispensable à la photosynthèse des plantes sous-marines. L'Herbier de Guyane (IRD, 2006) décrit la présence de la Ruppie (*Ruppia maritima*) comme « espèce rare en Guyane, localisée dans des habitats ou des sites menacés ». Les végétaux supérieurs sont donc peu représentés dans les eaux du littoral guyanais.

3.2.1.2 - Peuplements planctoniques

3.2.1.2.1 - Phytoplancton

Le phytoplancton est composé d'organismes végétaux qui vivent dans les premiers mètres de l'eau de mer, là où la lumière peut pénétrer, permettant la photosynthèse.

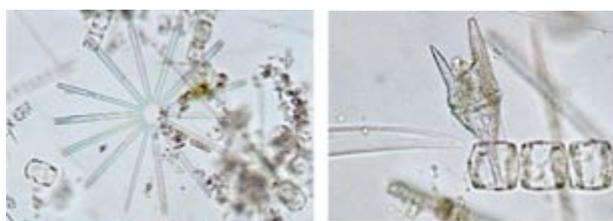
3.2.1.2.1.1 - Espèces rencontrées

Les eaux littorales et côtières abritent des Diatomées et des Dinophycées. Les abondances au niveau du genre et de l'espèce sont variables selon la saison et la localisation géographique. Certaines espèces ont été observées toute l'année : *Skeletonema tropicum*, *Coscinodiscus jonesianus*, *Lauderia annulata*, *Cylindrotheca closterium*, *Pseudonitzschia pungens*, *Odontella mobiliensis*, *Ceratium lineatum* (Do Rosario Marinho *et al*, 2004).



Diatomées: *Skeletonema* sp Diatomées: *Coscinodiscus* sp

Pour les eaux entre 50 et 200 m de profondeur, la diatomée *Thalassionema nitzschioides* et une cyanobactérie, *Oscillatoria* cf. *thebaudii* prédominent. Les genres pélagiques *Rhizosolenia*, *Pseudosolenia*, *Hemialus* et *Climacodium* sont de moindre importance. On note la présence de dinoflagellés, principalement du genre *Ceratium* (Artigas *et al*, 2003).



Diatomées: *Thalassionema* sp Dinophycées: *Ceratium* sp

Les eaux océaniques sont dominées par la diatomée *Nitzschia pungens* et le genre *Rhizosolenia*, espèces que l'on retrouve couramment dans les eaux tropicales atlantiques.

3.2.1.2.1.2 - Biomasse chlorophyllienne

Le phytoplancton contient des pigments chlorophylliens permettant d'utiliser l'énergie lumineuse. Le dosage de ces pigments est relié aux teneurs en phytoplancton.

➤ Données générales

Les données bibliographiques sont réunies dans le **Tableau 3.13**.

Tableau 3.13. Biomasse en chlorophylle au large de la Guyane

Site	Domaine	Concentrations en chlorophylle (µg/l)	Auteur(s)
Large Mahury	Côtier et plateau continental	Moyennes : 214 à 1324	Artigas & Guiral 2002
Large Guyane	Côtier et plateau continental	2 à 52	Do Rosario Marinho <i>et al</i> , 2004
Large Est Guyane	Plateau continental	1 à 23 (avril)	Ternon <i>et al</i> , 2004
Large Guyane	Plateau continental	1 à 13 (octobre)	Ternon <i>et al</i> , 2004

Au large de la Guyane, plusieurs facteurs influencent la concentration ainsi que la répartition géographique des peuplements phytoplanctoniques : les apports de nutriments par les fleuves, la circulation océanique, le vent, la turbidité des eaux, etc.

La variabilité spatiale des concentrations en chlorophylle-a peut être schématisée comme suit (Do Rosario Marinho *et al*, 2004) :

- 1) Les eaux littorales, de faible salinité, chargées en MES¹⁰, et généralement riches en sels nutritifs, affichent les plus fortes concentrations en chlorophylle-a (l'abondance phytoplanctonique y est cependant moyenne en raison de la turbidité des eaux).
- 2) les eaux intermédiaires, de salinité variable, sont peu chargées en MES et présentent une diminution des concentrations en chlorophylle-a ;
- 3) les eaux du reste du plateau continental, de salinité plus élevée (mais pouvant subir l'influence de la dessalure amazonienne) sont plus claires et généralement plus pauvres en nutriments. Elles présentent des concentrations variables de chlorophylle-a (et d'abondance phytoplanctonique), mais globalement faibles.

¹⁰ MES : matières en suspension

L'importance des apports en nutriments des fleuves a été mise en évidence par Ternon *et al*, 2004, qui a corrélé les efflorescences phytoplanctoniques du plateau continental à la présence d'eau dessalée en surface issue des apports d'eau fluviale. Le facteur limitant la croissance du phytoplancton semble être l'azote sous forme de nitrate (campagne CHICO 0 et CHICO 1).

L'observation des concentrations en chlorophylle-*a* sur des images satellites permet d'utiliser ce pigment comme traceur de la circulation des masses d'eau. Cette méthode d'interprétation des images satellites a permis de mettre en évidence différents phénomènes à l'origine de la concentration et de la distribution spatiale du phytoplancton.

D'une manière générale, ces images satellites mettent en évidence l'influence des apports en nutriments des fleuves, et notamment de l'Amazone, sur la production de phytoplancton (**Figures 3.20 et 3.21**). Cette production s'étend vers le large et/ou le long des côtes guyanaises avec une variabilité saisonnière. Cette variabilité provient de l'évolution saisonnière de la circulation des masses d'eau.

Entre mars et juin, le débit de l'Amazone est à son maximum. La zone d'influence des eaux amazoniennes (concentration en chlorophylle-*a* > 0,1 µg/l) est contenue dans une bande s'étendant jusqu'à 250-300 km au large et jusqu'à 10°N. La superficie ainsi couverte dépasse le million de kilomètres carrés. A cette période, les courants sont dirigés vers le Nord-Ouest, entraînant avec eux les apports de l'Amazone et la production chlorophyllienne sur le plateau continental.

De juin à septembre, les apports de l'Amazone sont encore très importants. La surface des eaux riches en chlorophylle-*a* est très étendue, notamment au large de la Guyane, où l'on observe une inflexion vers l'Est du panache chlorophyllien, due à un début de rétroflexion du Courant Nord-Brazil.

De septembre à décembre, les apports de l'Amazone sont minimaux et la circulation des eaux marines est affectée par le phénomène de rétroflexion vers l'Est, comme le montre l'évolution du panache chlorophyllien. Durant cette période, la superficie des eaux riches en chlorophylle est faible.

Entre décembre et mars, les apports amazoniens sont faibles et la rétroflexion a disparu. Les concentrations importantes en chlorophylle-*a* sont situées à proximité des côtes. Les eaux du large apparaissent quasiment exemptes de chlorophylle-*a*.

Figure 3.20. Synthèse trimestrielle des concentrations en chlorophylle-a sur la période 1997-2006 (Créocéan, 2006)

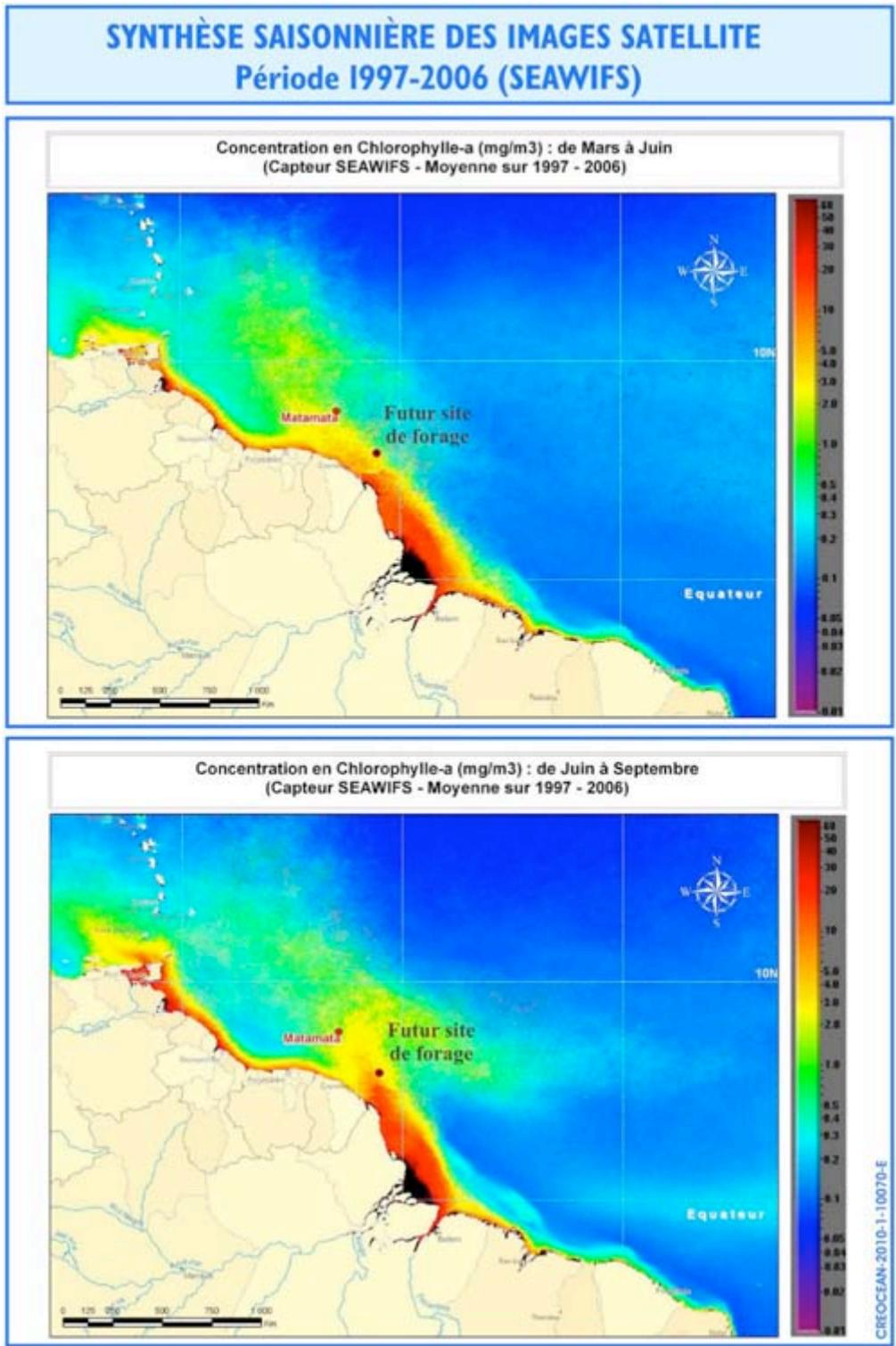
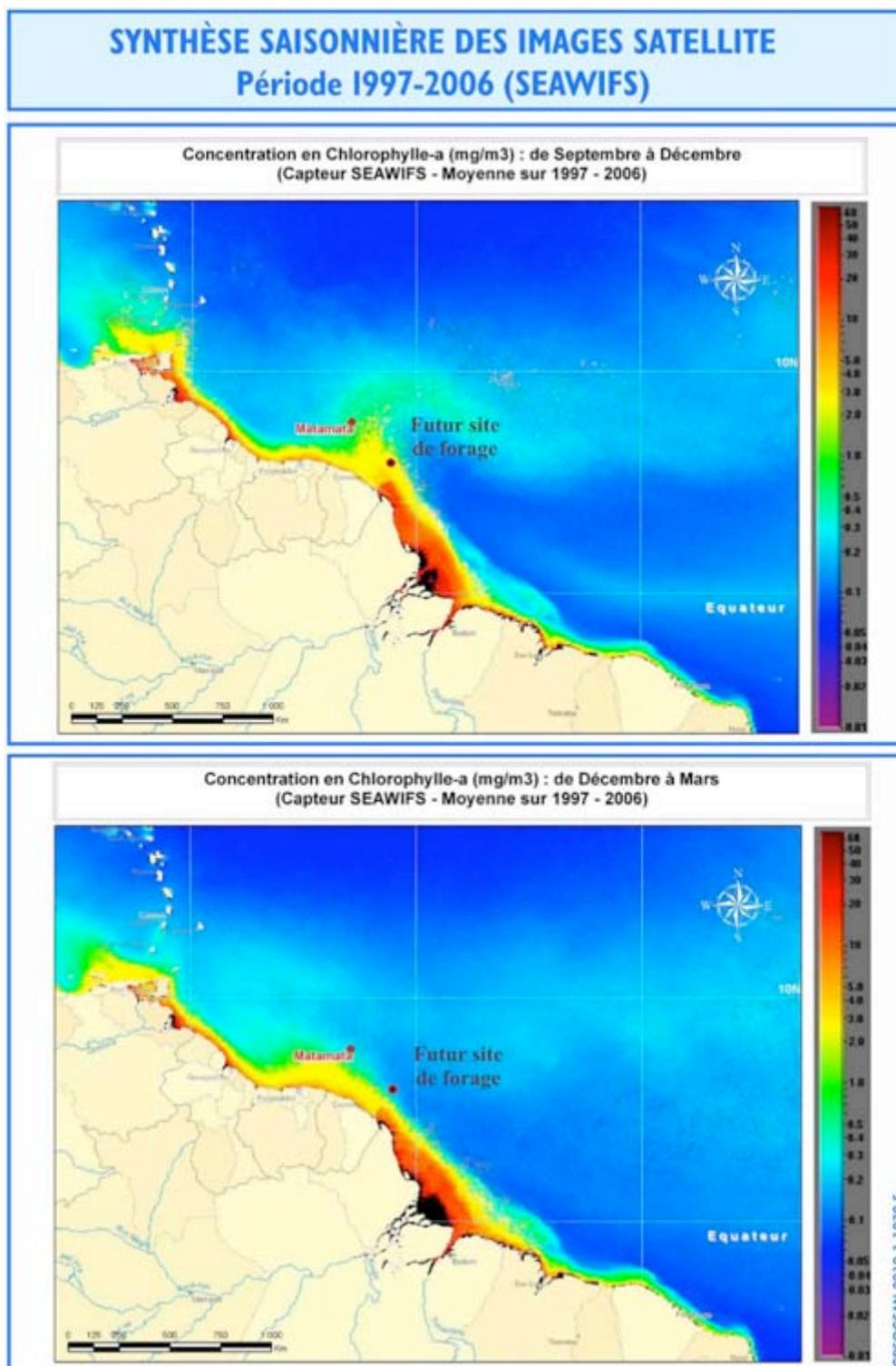


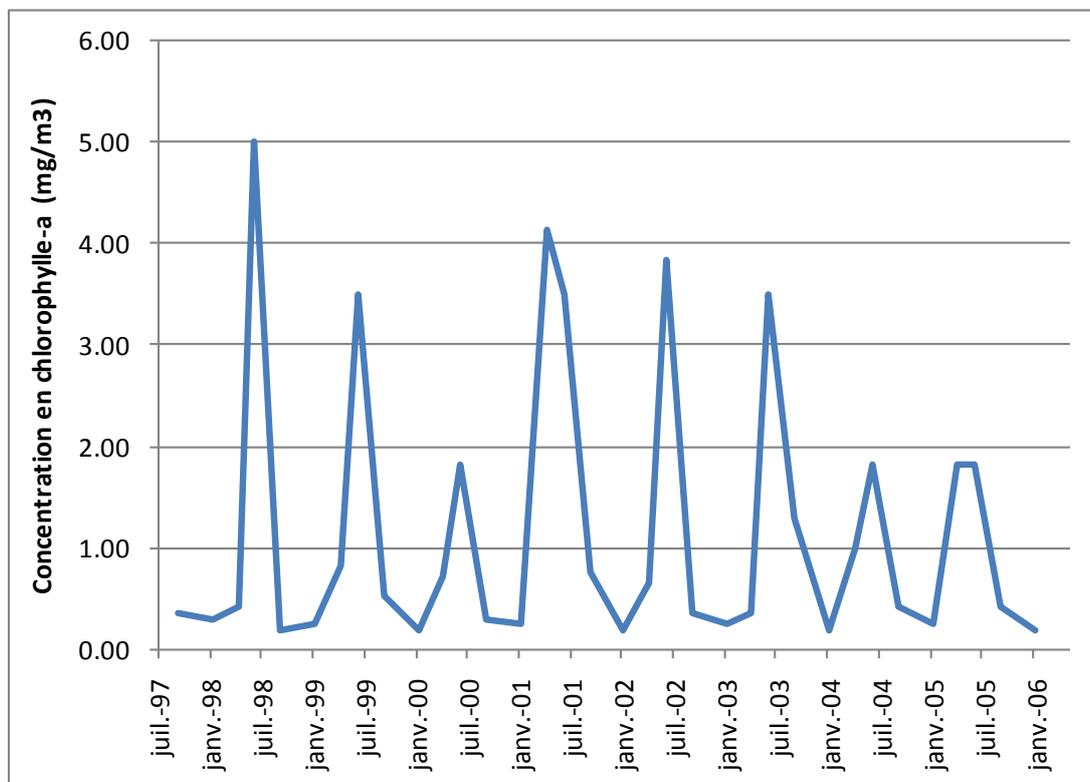
Figure 3.21. Synthèse trimestrielle des concentrations en chlorophylle-a sur la période 1997-2006, fin (Créocéan, 2006)



➤ Données de la zone de projet

De l'exploitation des images satellites, on peut déduire une concentration en chlorophylle-a dans les eaux de surface. Pour le site de Kawana, l'évolution de la teneur en chlorophylle-a est illustrée dans le **Graphique 3.34**.

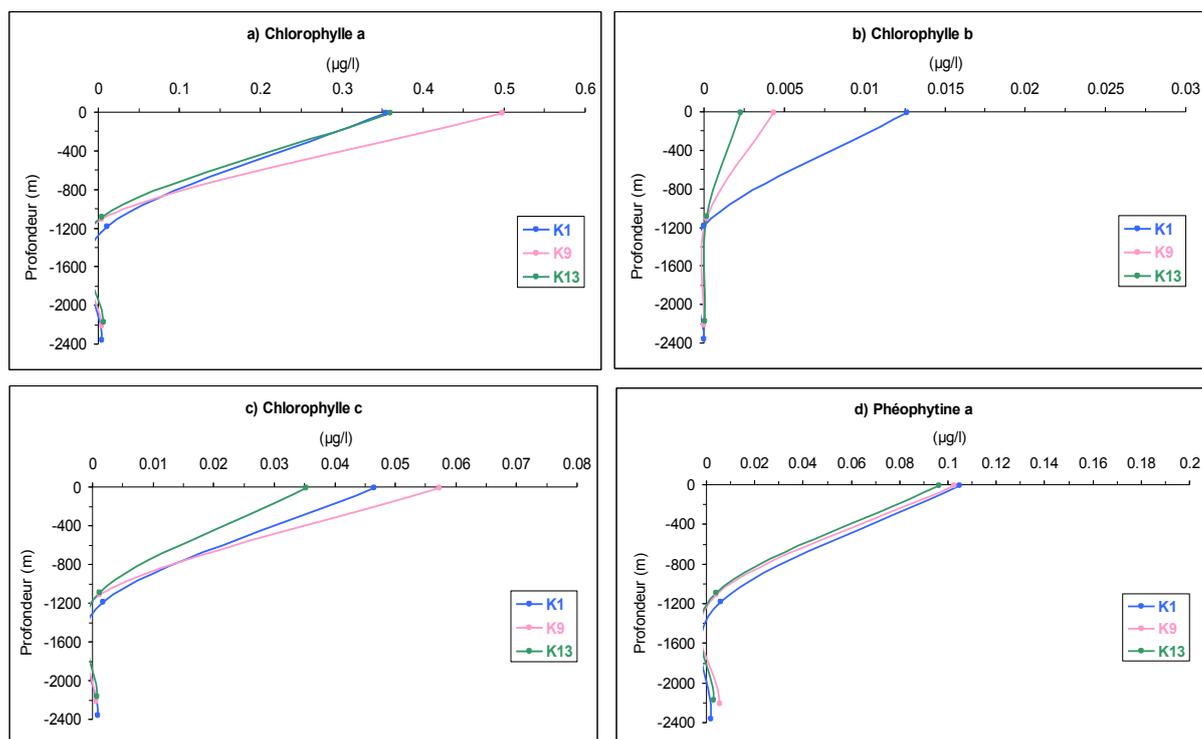
Graphique 3.34. Evolution de la teneur en chlorophylle-a dans les eaux de surface de Kawana (Créocéan, 2006)



Les concentrations en chlorophylle-a déduites des images satellites sont comprises entre 0,2 et 5,0 mg.m⁻³, avec une moyenne 1,2 mg.m⁻³. La variabilité saisonnière est assez marquée, et doit correspondre à des différences dans les apports en nutriments, l'ensoleillement étant relativement constant en Guyane.

Des mesures et analyses des eaux océaniques ont été réalisées. Les graphiques ci-dessous représentent les données obtenues **sur le site de Kawana** pour les chlorophylles a, b et c et la phéophytine (Créocéan, 2006). Trois stations ont été échantillonnées à 10 m, mi-profondeur et 10 m au-dessus du fond. La campagne de prélèvements s'est tenue début juin 2006. Les stations de prélèvements sont présentées en **Figure 3.14**.

**Graphique 3.35. Profils de teneur en pigments chlorophylliens, juin 2006
(Créocéan, 2006)**



Les teneurs en chlorophylle-a, b et c sont extrêmement faibles et ne sont significatives que dans la couche d'eau de surface, où elles atteignent respectivement 0,35-0,50 µg/l (Chl_a), 0,002-0,013 µg/l (Chl_b) et 0,035-0,057 µg/l (Chl_c). La teneur en phéophytine-a, forme dégradée de la chlorophylle-a, est très faible également. Elle représente 20 à 30% de la chlorophylle-a, ce qui correspond à un taux un peu élevé, signe que le peuplement planctonique, très peu abondant, n'est pas en très bonne santé. Le peuplement phytoplanctonique est très peu abondant, indiquant le caractère oligotrophe¹¹ de la totalité de la colonne d'eau. Cette extrême pauvreté en phytoplancton peut s'expliquer par les très faibles teneurs en éléments nutritifs mesurées dans l'eau.

3.2.1.2.2 - Zooplancton

Les peuplements zooplanctoniques côtiers de Guyane sont relativement homogènes de la côte jusqu'à des fonds de 50-60 m de profondeur. Les espèces les plus fréquentes sont *Oithona sp.*, *Acartia tonsa*, *Tintinnopsis sp.*, ainsi que des larves de nombreux crustacés

¹¹ Qualifie un milieu, une masse d'eau, où la concentration en éléments nutritifs est faible (Source : IFREMER).

copépodes. Au-delà de cette zone côtière, les peuplements de zooplancton sont beaucoup plus diversifiés et comprennent des mollusques pélagiques (Artigas *et al*, 2003).

3.2.1.3 - Benthos

Le benthos est constitué par les espèces vivant en surface ou dans les premiers centimètres du sédiment marin. Les conditions du milieu (nature du fond, profondeur, exposition à la houle) favorisent le développement de certaines espèces qui constituent des peuplements.

3.2.1.3.1 - Plateau continental

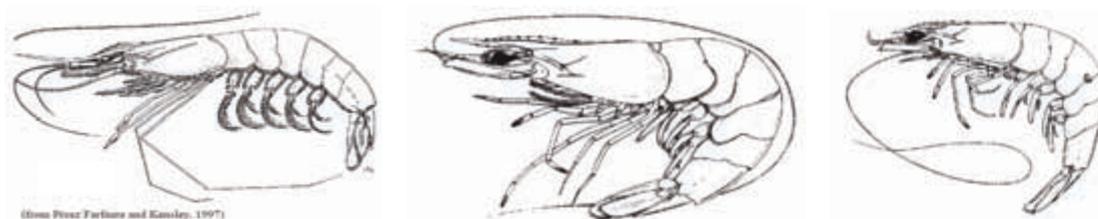
Les peuplements benthiques du plateau continental guyanais ont fait l'objet de plusieurs études. Certaines d'entre elles avaient comme objectif d'analyser la structure des peuplements de crevettes sur le plateau continental.

Ces études ont montré une variation des espèces selon la profondeur.

On retiendra la campagne GREEN 0 (Le Lœuff et von Cosel, 2000) qui a mis en évidence trois assemblages d'espèces de crevettes selon la profondeur :

- peuplement à *Xiphopenaeus kroyeri* sur des vases molles (20 m),
- peuplement à *Penaeus subtilis* pour les fonds vaseux plus compacts (30 à 50 m),
- peuplement à *Penaeus brasiliensis* sur les fonds sableux (60 à 80 m).

Figure 3.22. Quelques espèces de crevettes du plateau continental guyanais (Carpenter, 2002)



Xiphopenaeus kroyeri

Penaeus subtilis

Penaeus brasiliensis

De manière plus générale, la bibliographie montre la présence des différents groupes faunistiques habituellement observés sur les types d'habitats représentés au large de la Guyane.

Ainsi Artigas *et al*, 2003 mentionnent la présence de 107 espèces benthiques sur le plateau continental guyanais.

La campagne EPAULARD, menée entre la côte et l'isobathe 15 m, a révélé la présence de 52 espèces, dont quelques invertébrés :

- 5 espèces de crevettes : *Penaeus subtilis*, *Xiphopenaeus kroyeri*, *Nematopalaemon schmitti*, *Exhippolysmata oplophoroides*, *Acetes sp.*,
- 2 espèces de crabes,
- 1 crustacé stomatopode,
- 1 gastéropode : *Bursa bufo*.

Les prélèvements de la campagne GREEN 0 avaient également mis en évidence : 3 espèces de cnidaires, 4 annélides polychètes, 57 crustacés (dont les espèces de crevettes présentées ci-dessus), 27 mollusques et 15 échinodermes.

Les résultats des analyses du benthos prélevé sur le plateau continental guyanais par Créocéan en 2009 ne sont pas encore disponibles.

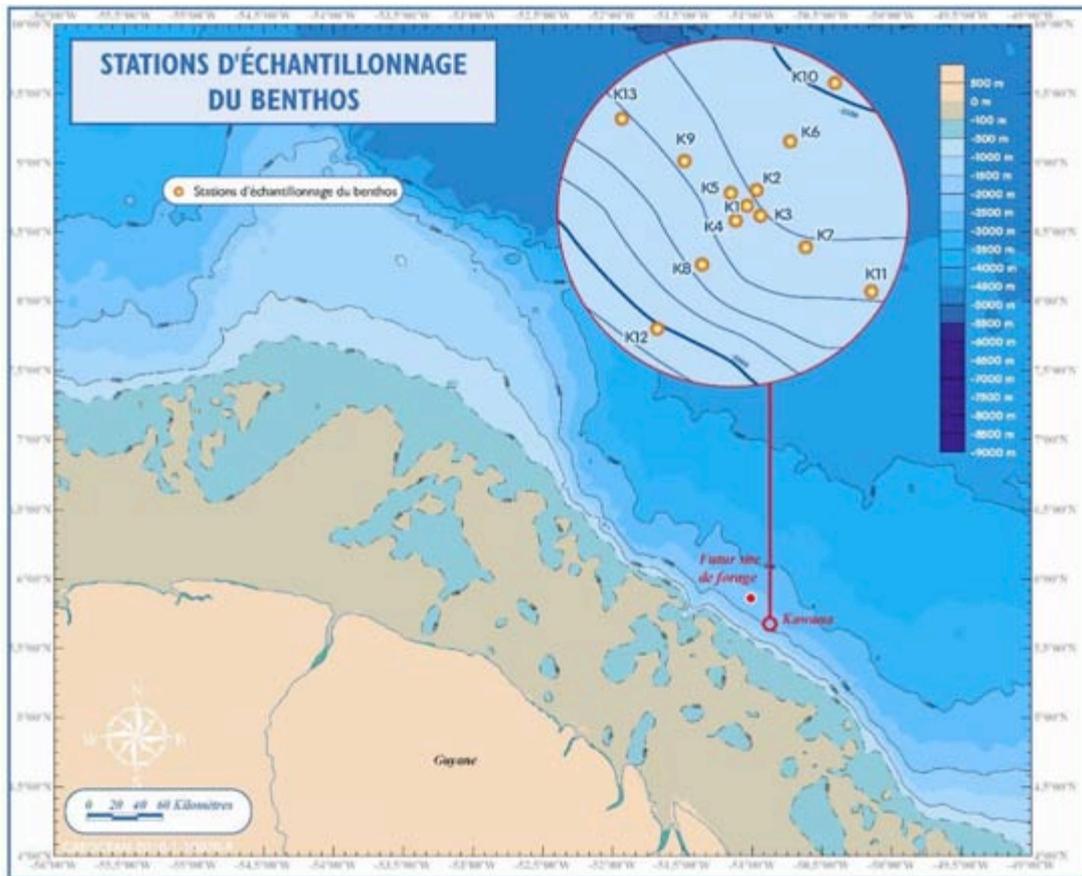
3.2.1.3.2 - *Talus continental*

Les données disponibles dans les publications scientifiques concernent uniquement la partie comprise entre 200 et 1 000 m de profondeur de l'ouest guyanais. Takeda et Okutani (1983) relevaient sur le talus continental (entre 200 et 1 000 mètres de profondeur) 68 espèces de crustacés. Guéguen (1991) rapporte la présence sur le talus d'une trentaine d'espèces de crustacés décapodes.

3.2.1.3.3 - *Domaine profond*

La campagne océanographique menée en juin 2006 dans le cadre du projet de forage pétrolier sur le site de Kawana, avait également comme objectif l'étude de la macrofaune benthique (Créocéan, 2006). Au total, 13 stations ont été échantillonnées (**Figure 3.23**) à des profondeurs d'eau voisines de 2 400 m. Cette campagne s'est déroulée entre 19 et 28 km au sud-est de GM-ES-1, pour des profondeurs d'eau comparables. Les informations sur les peuplements de macrofaune benthique obtenus à Kawana sont *a priori* transposables à la proximité du site de forage GM-ES-1.

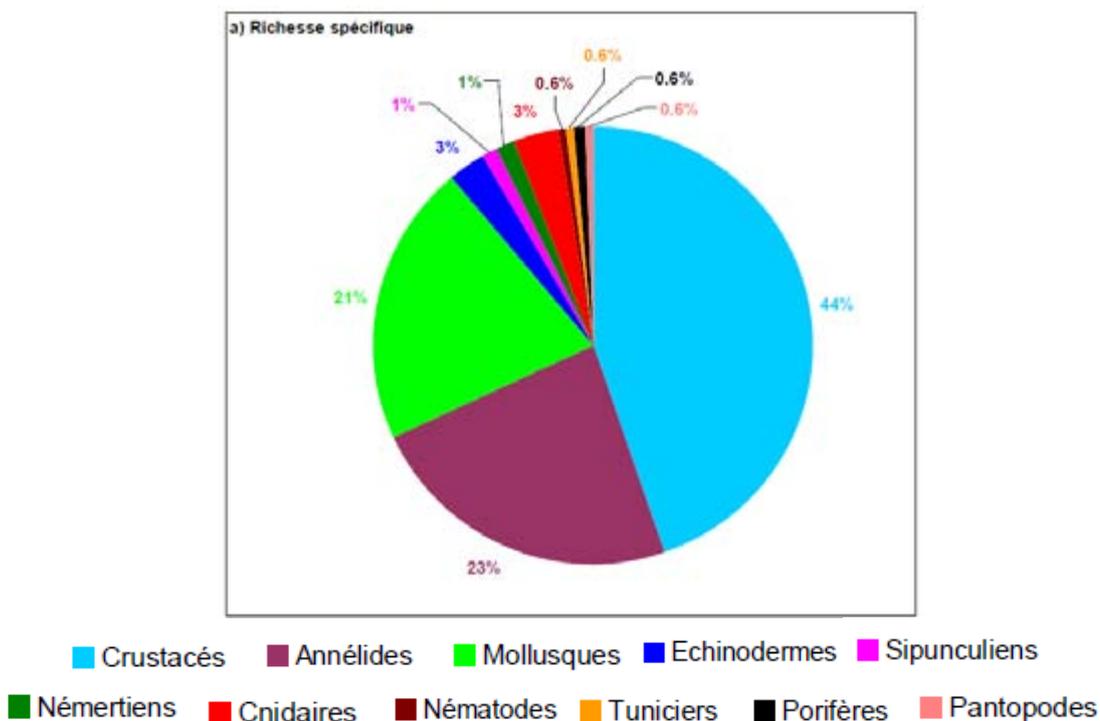
Figure 3.23. Plan d'échantillonnage du benthos de Kawana (Créocéan, 2006)



3.2.1.3.3.1 - Composition générale du peuplement

Richesse spécifique

Le **Graphique 3.36** montre le nombre d'espèces par embranchement sur le site de Kawana.

Graphique 3.36. Richesse spécifique du benthos de Kawana (Créocéan, 2006)

L'embranchement dominant sur le site de Kawana est celui des **crustacés** avec 69 espèces, soit 44% du nombre total d'espèces présentes. Les 69 espèces de crustacés observées en 2006 par Créocéan sont réparties en 8 familles, avec une majorité d'amphipodes (19 espèces) et seulement 1 espèce d'euphausiacés.

Les **annélides** constituent le deuxième embranchement en termes de diversité spécifique avec 36 espèces (35 polychètes et 1 oligochète), représentant ainsi 23% des espèces présentes sur le site. On retrouve ensuite les **mollusques** avec 32 espèces (22 bivalves, 7 gastéropodes, 2 scaphopodes et 1 indéterminé). Cet embranchement contient ainsi 21% des espèces présentes.

Les autres embranchements contiennent très peu d'espèces : 6 **échinodermes**, 2 **sipunculiens**, 1 **némertien**, 5 **cnidaires**, 1 **nématode**, 1 **porifère**, 1 **tunicien** et 1 **pantopode**.

Le Tableau 3.14 présente les données relatives au peuplement benthique de Kawana, accompagnées de données comparatives provenant d'autres zones bathyales.

Tableau 3.14. Composition général du peuplement de Kawana et d'autres zones bathyales (Créocéan, 2006)

Site	Profondeur	Nombre total d'espèces	Nombre moyen d'espèces par station	Densité totale (ind./m)	Diversité (bits)	Biomasse (g/m ² sec)	Indice trophique (%)
Congo	850 m	75	29	825	4,3	0,7	64
Matamata	1 200 m	166	64	3 055	4,1	106	65
Angola	1 300 m	137	49	563	4,6		
Nigéria	1 300 m	128	49	1 218	3,8	0,2	70
Kawana	2 400 m	155	42	2 625	3,4	6,3	64

Sur l'ensemble des 13 stations échantillonnées sur Kawana par 2 400 m de profondeur, 155 espèces ont pu être mises en évidence pour une densité moyenne de 2625 ind./m². Le peuplement peut ainsi être qualifié d'assez riche en espèces et en individus.

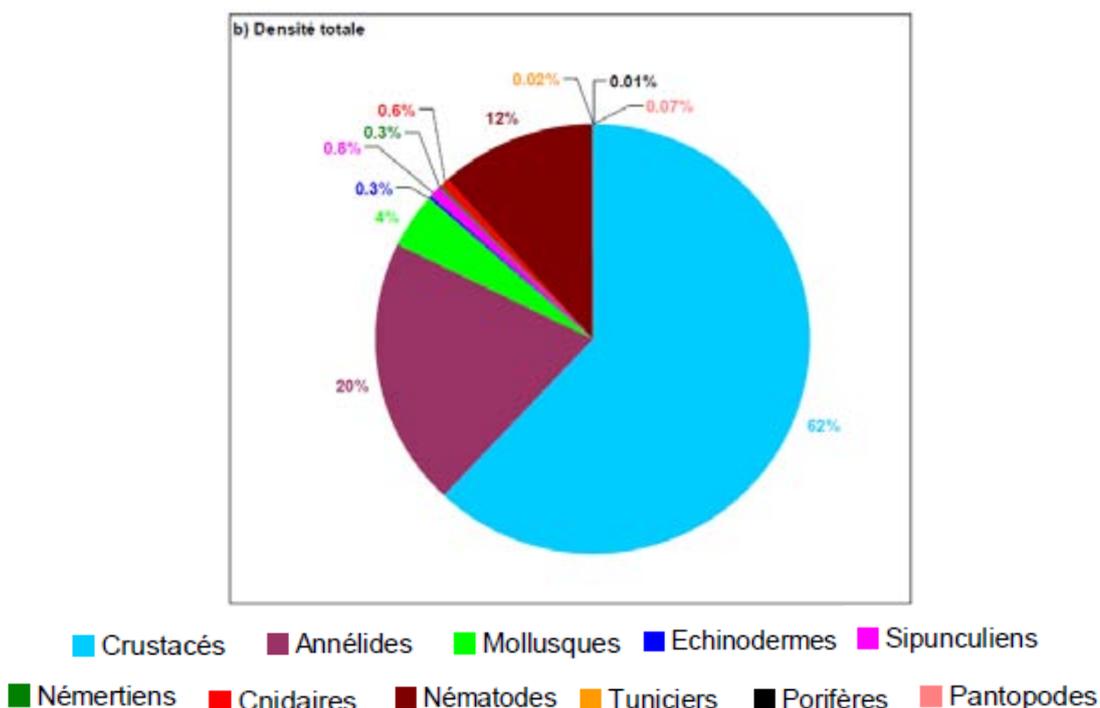
La richesse en espèces du site de Kawana est d'un ordre de grandeur comparable aux différents sites échantillonnés par ailleurs, dont l'autre site guyanais, Matamata, à 1 200 m de profondeur (166 espèces).

Remarque : On observe généralement dans les sédiments vaseux de milieu bathyal des peuplements benthiques dominés par les annélides qui représentent entre 55 et 60% des espèces totales. Sur le site de Kawana, tout comme sur celui de Matamata, ce sont les crustacés qui présentent la plus grande richesse spécifique, les annélides arrivant en deuxième position.

Densité

Le **Graphique 3.37** représente la densité totale par embranchement sur le site de Kawana.

Graphique 3.37. Densité par embranchement du benthos de Kawana (Créocéan, 2006)



Les **crustacés** constituent l'embranchement dominant en termes de densité avec en moyenne 1622 ind./m², soit 62% du nombre total d'individus. Les espèces les plus abondantes sont le cumacé *Leucon* cf. *nasica* (873 ind./m²), l'amphipode *Harpinia* cf. *antennaria* (174 ind./m²), un copépode indéterminé (110 ind./m²) et l'isopode cf. *Syneurycope* (109 ind./m²). Cette dominance des crustacés en termes d'individus est relativement inhabituelle en zone bathyale ; ce sont généralement les annélides qui dominent, représentant de 50 à 75% de l'effectif total (Blake & Hilbig, 1994).

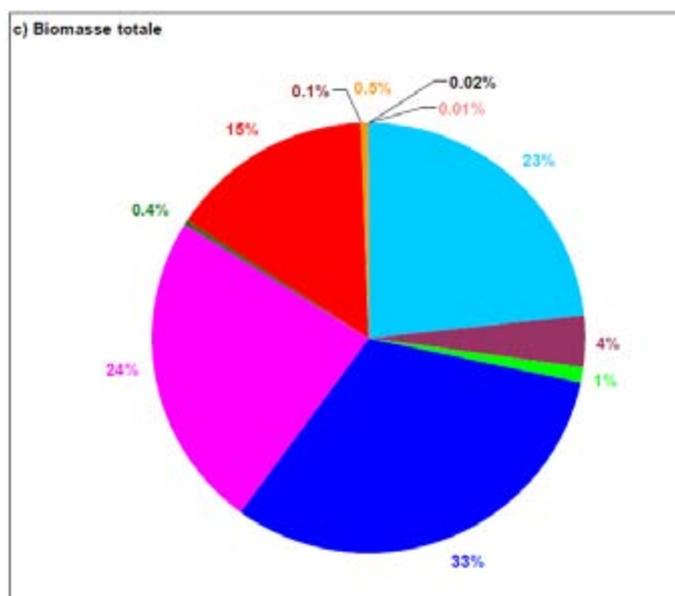
Les **annélides** arrivent en deuxième position avec une moyenne de 535 ind./m² (20%). Parmi les polychètes, les Spionidés, Paraonidés, Cirratulidés, Térébellidés et Phyllodocidés sont généralement les familles les mieux représentées en zone bathyale. Sur la zone de Kawana, ces familles comptent 387 ind./m² en moyenne, ce qui correspond à 72% du peuplement de polychètes. Le Paraonidé *Levinsenia* sp. représente à lui seul 34% des polychètes avec 187 ind./m².

Les **nématodes** sont représentés par 305 ind./m² en moyenne, soit 12% des individus.

Biomasse

Le **Graphique 3.38** représente la biomasse totale du peuplement observée sur le site de Kawana (2 400 m de hauteur d'eau).

Graphique 3.38. Biomasse totale du benthos de Kawana (Créocéan, 2006)



■ Crustacés ■ Annélides ■ Mollusques ■ Echinodermes ■ Sipunculiens
 ■ Némertiens ■ Cnidaires ■ Nématodes ■ Tuniciers ■ Porifères ■ Pantopodes

Le peuplement est équilibré en termes de biomasse ; il se répartit entre les échinodermes (33% de la biomasse totale, du fait d'une ophiure de grande taille), les sipunculiens (24%), les crustacés (23% et les cnidaires (15%). Les annélides, quant à eux, ne représentent que 4% de la biomasse totale.

3.2.1.3.3.2 - Structure générale du peuplement

➤ Richesse spécifique

La richesse spécifique est de 42 espèces par station en moyenne, et varie entre 27 et 71 espèces selon les stations. Les valeurs observées sont hétérogènes et moyennement élevées par rapport à la richesse spécifique totale de l'ensemble de la zone (155 espèces). Le **Tableau 3.15** présente les intervalles de richesse spécifique observés à Kawana et sur d'autres zones bathyales.

Tableau 3.15. Richesse spécifique du peuplement benthique de Kawana et d'autres zones bathyales (Créocéan, 2006)

Site	Profondeur	Richesse spécifique	
		Minimum (nb. d'espèces)	Maximum (nb. d'espèces)
Congo	850 m	13	46
Matamata	1 200 m	50	77
Nigeria	1 300 m	34	62
Angola	1 300 m	37	61
Kawana	2 400 m	27	71

On s'aperçoit que la richesse spécifique du peuplement de Kawana est comparable aux valeurs habituellement rencontrées en milieu bathyal.

➤ Densité totale

La densité varie entre 2 400 et 4 244 ind./m² pour une moyenne de 3 055 ind./m². Ces valeurs sont homogènes et élevées.

Le **Tableau 3.16** présente les intervalles de densité observés à Kawana et sur d'autres zones bathyales.

Tableau 3.16. Densité du peuplement benthique de Kawana et d'autres zones bathyales (Créocéan, 2006)

Site	Profondeur	Densité	
		Minimum (ind./m ²)	Maximum (ind./m ²)
Congo	850 m	180	1 810
Matamata	1 200 m	2 400	4244
Nigeria	1 300 m	400	1 874
Angola	1 300 m	423	820
Kawana	2 400 m	668	5 272

Ces données mettent en évidence les valeurs importantes de densité observées sur Kawana (à 2 400 m de profondeur) par rapport à d'autres sites de milieu bathyal. La densité maximale est comparable à celle observée à Matamata, l'autre site guyanais.

Remarque : En milieu bathyal, les effectifs d'invertébrés benthiques sont généralement peu élevés, les organismes ayant tendance à utiliser le peu de ressources nutritives disponibles non pas pour se reproduire mais pour développer leur propre biomasse. La densité totale importante du peuplement benthique de Kawana (et probablement de la zone de GM-ES-1) est donc peu commune, mais en accord avec le niveau élevé d'enrichissement en carbone organique des sédiments.

➤ Diversité et équitabilité

Les valeurs de diversité et d'équitabilité sont hétérogènes et moyennes à élevées, correspondant à un état d'équilibre écologique satisfaisant du peuplement. Elles témoignent, pour la plupart des stations, d'une répartition équitable des individus entre les différentes espèces et de l'absence de forte dominance par une ou quelques espèces, ce qui sur le plan écologique est le signe d'un bon état de santé du peuplement.

Le **Tableau 3.17** présente les intervalles de densité observés à Kawana et sur d'autres zones bathyales.

Tableau 3.17. Diversité et équitabilité du peuplement benthique de Kawana et d'autres zones bathyales (Créocéen, 2006)

Site	Profondeur	Diversité (bits)		Équitabilité (%)	
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Congo	850 m	3,6	4,8	81	98
Matamata	1 200 m	3,8	4,4	62	72
Nigeria	1 300 m	3,4	4,6	63	80
Angola	1 300 m	4,0	4,9	75	88
Kawana	2 400 m	1,4	4,4	28	86

Sur les sites situés en milieu bathyal, les valeurs habituellement observées sont fortes et reflètent l'absence de perturbation d'ordre physique ou biologique, due au caractère stable des conditions environnementales à une telle profondeur.

➤ Biomasse totale

La biomasse totale par station est en moyenne de 6,3 g/m², et varie selon la station entre 1,5 et 17 g/m² sec. Ces valeurs sont hétérogènes et moyennes.

Le **Tableau 3.18** compare les intervalles de biomasse totale de et différents autres sites bathyaux.

Tableau 3.18. Biomasse totale du peuplement benthique de Kawana et d'autres zones bathyales (Créocéen, 2006)

Site	Profondeur	Biomasse totale	
		Minimum (g/m ²)	Maximum (g/m ²)
Congo	850 m	0,3	3,2
Matamata	1 200 m	8	142
Nigeria	1 300 m	0,003	1
Kawana	2 400 m	1,5	17

Les valeurs de biomasse totale de Kawana sont globalement plus élevées que pour les sites africains. Pour le site de Matamata, au large de l'ouest guyanais, les valeurs extrêmement élevées de biomasse sont dues à 99% à une ophiure non identifiée relativement grande.

3.2.1.3.3.3 - Structure trophique du peuplement

Le **Tableau 3.19** présente la répartition du benthos par groupes trophiques.

Tableau 3.19. Structure trophique du peuplement benthique de Kawana (Créocéen, 2006)

Groupe	Densité moyenne (ind./m ²)	Densité minimum (ind./m ²)	Densité maximum (ind./m ²)
Groupe 1 Suspensivores	67	20	136
Groupe 2 Détritivores	2 289	532	5 008
Groupes 3 Dépositivores	268	60	624

L'analyse des groupes trophiques est conforme à ce que l'on retrouve habituellement en zone bathyale.

On remarque la très forte proportion de détritivores. Ce groupe est formé d'espèces se nourrissant de matière organique de petite taille (donc très dégradée) présente sur le fond ou dans le sédiment. Ceci est cohérent avec la teneur élevée en carbone organique trouvée dans les sédiments. Le crustacé *Leucon* cf. *nasica* est l'espèce la plus représentée de ce groupe.

Viennent ensuite les **déposivores**. Ces espèces se nourrissant de matière organique de plus grande taille (peu dégradée, dont des cadavres et des invertébrés moribonds) présente sur le fond ou dans le sédiment. Le crustacé isopode *Syneurycope* appartient à ce groupe. Les **suspensivores** se nourrissent des particules de matière organique en suspension dans la colonne d'eau. Ils sont donc moins dépendants de la qualité du sédiment que les espèces des autres groupes trophiques. Sur le site de Kawana, le mollusque *Thyasira* sp, constitue l'une des principales espèces suspensivores identifiées.

On note l'absence d'espèces appartenant au groupe trophique 4, qui se nourrissent dans des sédiments dont la qualité est très dégradée par un excès de matière organique.

La valeur de l'indice trophique reflète le niveau de perturbation du sédiment lié à un excès de matière organique. L'indice trophique fluctue entre 60 et 67%. La valeur de 60% est le seuil au-delà duquel le peuplement peut être considéré comme non perturbé par un excès de matière organique. La matière ne s'accumule pas, elle constitue une ressource nutritive favorable au développement d'une faune variée et abondante.

3.2.1.3.3.4 - Espèces dominantes

L'étude par station des espèces sur la zone explorée du site de Kawana fait ressortir :

- Des espèces très fréquentes : 4 espèces sont présentes à toutes les stations (1 annélide polychète et 3 crustacés). Trois d'entre elles sont détritivores et un crustacé est déposévore, ce qui reflète bien la répartition entre les différents groupes trophiques.
- Des espèces fréquentes : 30 espèces sont présentes dans plus de la moitié des stations (en excluant les 4 espèces « très fréquentes »), dont 8 annélides polychètes et 11 crustacés. En font également partie des oligochètes, des nématodes, un némertien, un sipunculien, un cnidaire et six mollusques. La répartition des groupes trophiques reflète encore une fois un peuplement avec une dominance des détritivores (18 espèces), suivis des déposévires (8 espèces) puis des suspensivores (4 espèces).
- Des espèces très peu fréquentes : 65 espèces ne sont trouvées qu'à une station. Leur répartition entre groupes trophiques reflète aussi la structure trophique du peuplement.

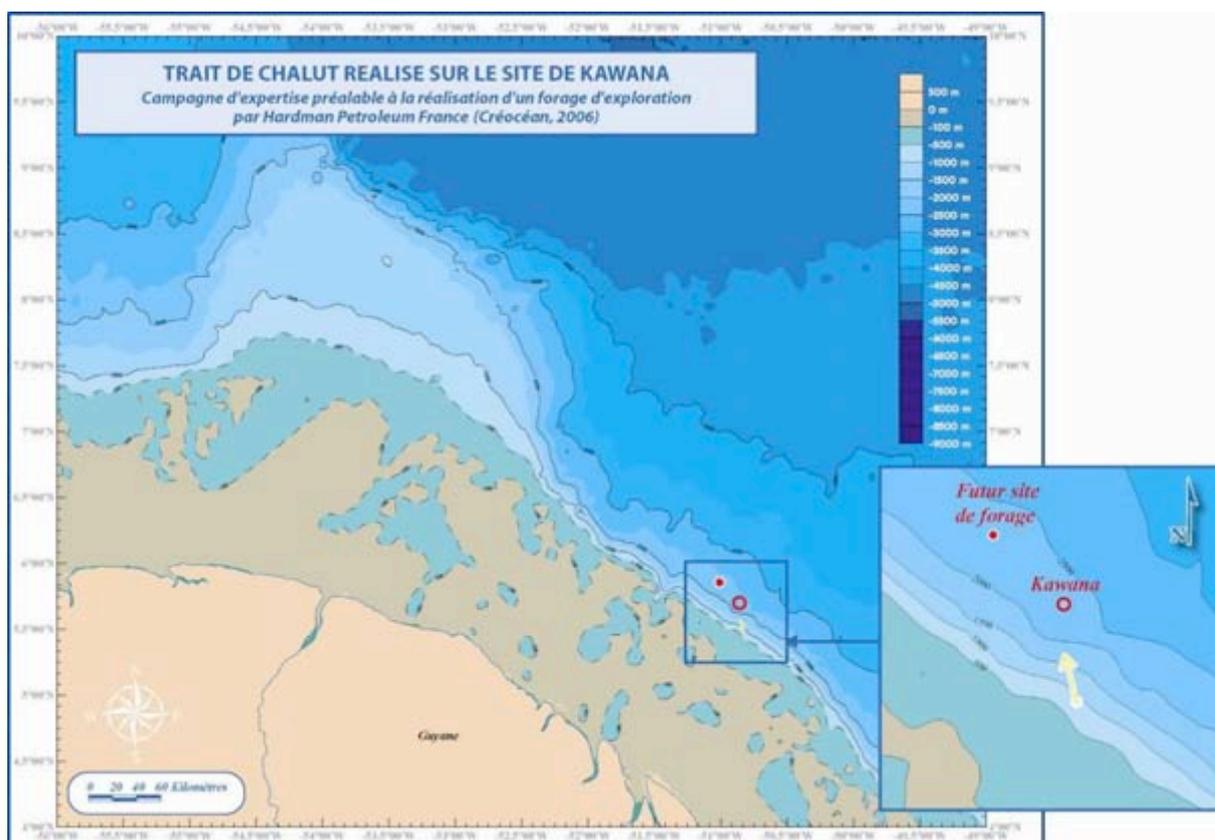
On retiendra principalement que les 6 espèces les plus abondantes sur le site de Kawana sont présentes sur 12 ou 13 des 13 stations échantillonnées. On note trois détritivores : le crustacé *Leucon cf. nasica*, l'espèce de nématode indéterminée, le polychète détritivore *Levinsenia sp.*, et trois déposivores : les crustacés *Harpinia cf. antennaria*, *Syneurycope sp.*, et un copépode indéterminé

En termes de biomasse, une espèce domine largement les autres, il s'agit d'un sipunculien indéterminé, qui représente 24% de la biomasse totale. En deuxième position se trouve une ophiure indéterminée, contribuant pour 20% à la biomasse totale.

3.2.1.3.3.5 - Données complémentaires

Un chalutage (localisé par une flèche blanche sur la **Figure 3.24** a également été réalisé sur le site de Kawana (Créocéan, 2006). Les espèces pêchées complètent les données précédentes : il s'agit de 6 espèces d'invertébrés, majoritairement des holothuries indéterminées et des crustacés décapodes, mais aussi un buccin.

Figure 3.24. Trait de chalut réalisé sur le site de Kawana (Créocéan, 2006)



3.2.1.3.3.6 - Synthèse du benthos sur la zone de projet, à partir des données de Kawana

Le peuplement benthique de la zone de projet est donc hétérogène. Il est globalement riche en espèces (155 taxons identifiés), atteint localement des densités élevées (668 à 5 272 ind./m²), et forme une biomasse relativement importante (1,5 à 17,0 g/m² sec). Ce peuplement est donc globalement riche à tous points de vue, et ce grâce à la présence de ressources nutritives abondantes. Du point de vue écologique, il est bien diversifié et ne montre aucun signe de déséquilibre. Les espèces de petite taille, majoritairement des micro-crustacés microphages, sont variées et forment des populations abondantes qui occupent la totalité de la zone. Quelques espèces de grande taille, comme des échinodermes suspensivores ou des crustacés macrophages, sont présentes de manière plus sporadique et en peu de spécimens.

La composition et la structure générale du peuplement benthique de la zone échantillonnée sur Kawana (à 2 400 m de profondeur) sont comparables à celles observées sur d'autres zones bathyales, au large de la Guyane et de l'Afrique. Toutefois la zone de Kawana se distingue par sa forte densité d'individus de petite taille, qui est à mettre en relation avec le niveau d'enrichissement élevé du sédiment en ressources nutritives. Notons également le bon état de santé écologique de ces peuplements. D'un point de vue trophique, le peuplement est très largement dominé par les organismes détritivores, ce qui est conforme aux observations habituelles des zones bathyales.

Le peuplement benthique de Kawana, bien qu'un peu plus hétérogène, se rapproche de celui observé sur l'autre site guyanais qui se trouve à environ 300 km au nord-ouest, par des fonds de 1 200 m. La similitude s'observe au niveau de la composition du peuplement (60% des espèces recensées sont communes aux deux sites, les embranchements et les espèces dominantes sont les mêmes). Elle vaut également pour sa structure générale et pour la structure trophique. Les espèces observées sur Kawana présentent donc une large répartition géographique, et le peuplement une grande homogénéité, à l'échelle du talus continental de la Guyane. La composition et la structure du benthos, telles que présentes sur les 13 stations échantillonnées à Kawana, semblent donc pouvoir être extrapolées au site du forage GM-ES-1, distant de 24 km seulement.

Enfin, on notera qu'aucune espèce identifiée n'apparaît sur la liste de l'UICN.

Ces différentes observations mettent en évidence un peuplement benthique relativement commun et ne présentant pas d'intérêt patrimonial particulier.

3.2.1.4 - Poissons et céphalopodes

Les données sur les poissons et les céphalopodes proviennent à la fois de la littérature scientifique et de quelques observations effectuées depuis lors de campagne de reconnaissance. Ces reconnaissances englobent à la fois des données de pêches spécifiques (Créocéan, 2006), de recherches dans le cadre d'étude d'impact pétrolier (Girondot, 2006 et 2010 c à f), de la campagne Exocet (CRMM, 2009) et ceux de la campagne de benthos sur le plateau continental (Créocéan, 2009).

3.2.1.4.1 - Plateau continental

Sur le plateau continental, les peuplements de poissons s'établissent en fonction de la profondeur :

- de 0 à 30 m, dans les eaux fortement influencées par les apports fluviaux, on retrouve principalement des Ariidés et des Sciénidés,
- de 30 à 60 m, on retrouve les genres *Lutjanus*, *Priacanthus* et les Hémulidés,
- de 90 à 200 m, ce sont les espèces *Trachurus lathami* et *Pristipomodes aquilonaris* qui dominent. Des grands individus de l'espèce *Lutjanus purpureus* (vivaneau rouge) peuvent également être trouvés.



Lutjanus purpureus



Trachurus lathami

Par ailleurs, le plateau continental est le domaine des Rajiidés (dont la raie manta), thons, sélaciens, ainsi que des calmars *Loligo plei* et *L. pealei*.

*Loligo plei**Loligo pealei*

3.2.1.4.2 - Talus continental

Les données relatives au talus continental proviennent d'une part de la bibliographie (Takeda et Okutani, 1983 et Gueguen, 1991) et d'autre part de la campagne de chalutage réalisée à proximité du site de Kawana (Créocéan, 2006) (**Figure 3.24**).

On observe un étagement des espèces en fonction de la profondeur :

- de 200 à 400 m : *Ariomma spp.* et *Antigonia spp.*,
- de 400 à 1000 m : Macrouridés et Alépocephalidés sont deux familles présentes, avec des densités parfois fortes,
- de 600 à 1 300 m (à proximité du site de Kawana) : dix espèces communes et à large répartition géographique (**Figure 3.25**) : *Talismania homoptera*, *Halosaurus guentheri*, *Nezumia atlantica*, *Monomitopus agassizii*, *Melanostomias macrophotus*, *Stomias affinis*, *Synaphobranchus kaupii*, le congre *Bathyroconger vicinus* et deux vraies raies (Rajidae), *Rajella purpuriventralis* et *Breviraja spinosa*. La richesse spécifique du peuplement est donc très faible en dépit de l'important effort d'échantillonnage (36 000 m² chalutés). Les quatre premières espèces citées ont aussi été recensées sur la zone guyanaise de Matamata.

On note également des espèces de grandes tailles dans la colonne d'eau : sélaciens, thons, grandes raies, poisson-lune.

Figure 3.25. Poissons benthiques pêchés à proximité de la zone de projet
(Créocéan, 2006)



3.2.1.4.3 - Domaine profond

Pour les eaux situées à l'aplomb de profondeurs d'eau supérieures à 2 000 m, deux grands types de poissons peuvent être rencontrés :

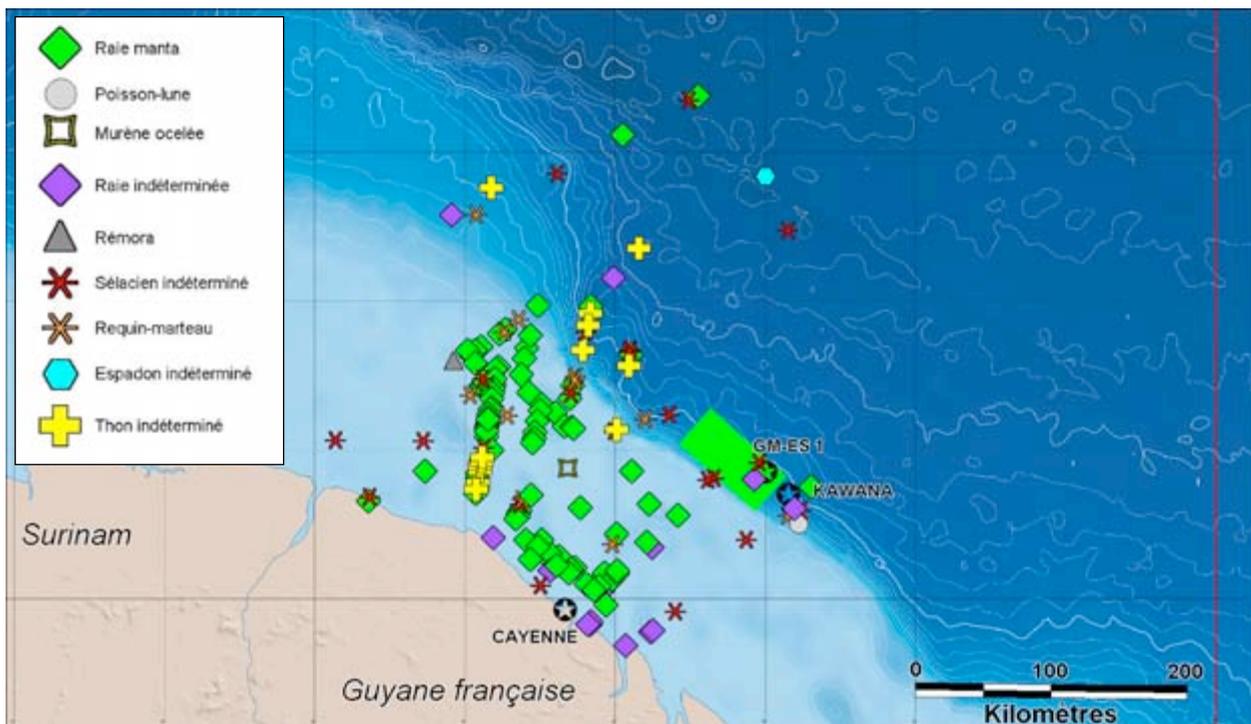
- les espèces néritiques (nageant en surface), comme l'exocet (poisson volant),
- les espèces démersales (vivant près du fond) ou benthiques (vivant sur le fond).

Les poissons appartenant à plus de cinquante familles différentes évoluent dans les eaux du domaine profond de l'Atlantique central occidental (Carpenter, 2002). Parmi les espèces néritiques du domaine profond, les survols ont permis d'identifier des espèces de grande taille, dont des sélaciens (ou requins), un Xiphiidé (espadon), des thons et des Rajidés.

3.2.1.4.4 - Synthèse cartographique

Les données recensées concernant les poissons au large de la Guyane sont représentées en **Figure 3.26**.

Figure 3.26. Poissons observés au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, Girondot & Russo, 2009, Girondot, 2010)



3.2.1.5 - Tortues marines

3.2.1.5.1 - Les différentes espèces présentes en Guyane

La tortue luth est la seule représentante des Dermochelyidae ; elle est la plus grosse des tortues marines actuelles. Les individus peuvent mesurer plus de 2 m ; ils pèsent en moyenne 450 kg. Elle se distingue des autres tortues marines grâce à son absence d'écaïlle.



C'est le reptile qui a la plus grande aire de répartition puisqu'on la retrouve sur tous les océans (**Figure 3.27**). Elle se nourrit d'organismes (poissons, méduses, crustacés). Elle vient pondre toute l'année sur les plages de Guyane, plus spécialement entre mars et août.

Figure 3.27. Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue luth



Elle est considérée comme gravement menacée d'extinction au niveau mondial (UICN, 2010).

La tortue verte (*Chelonia mydas*) vit dans les mers dont la température dépasse 20°C.

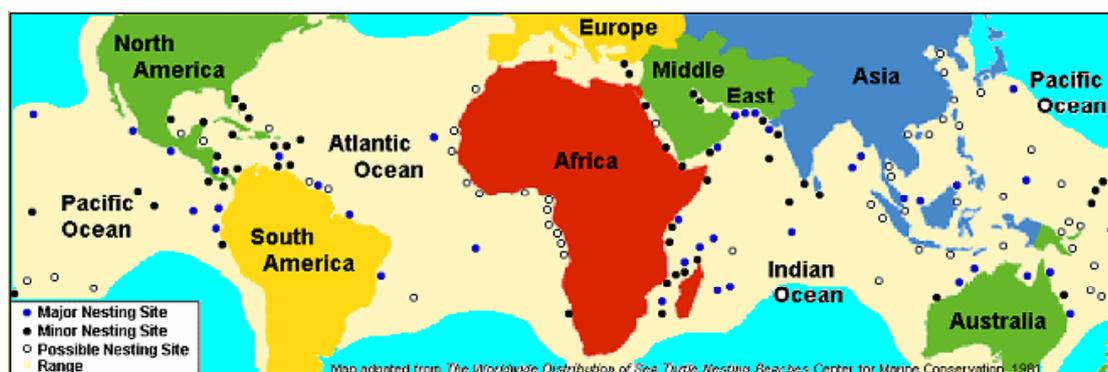


Le régime alimentaire de la tortue verte est omnivore lorsqu'elle est jeune mais devient herbivore (algues, plantes vasculaires) lorsqu'elle est adulte.

Les juvéniles semblent se laisser dériver dans l'océan sur des radeaux de Sargasse (Salmon *et al*, 2004). Les subadultes et les adultes semblent rester à proximité des côtes rocheuses entre Cayenne et Kourou et autour des Iles du Salut à tout moment de l'année, ce qui est logique en raison de leur régime alimentaire. Par contre les adultes peuvent aussi effectuer des trajets océaniques très longs.

Au cours de la saison de ponte, les femelles semblent rester dans une zone autour de 40 km de leur site de ponte (Anonyme, 1999). A la fin de la saison de ponte, les tortues vertes du Surinam semblent se diriger vers le Sud-est.

Figure 3.28. Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue verte



Elle est menacée d'extinction au niveau mondial (UICN, 2010).

La tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*) est la plus petite et la plus commune de par le monde des tortues marines. Elle est relativement fréquente au Surinam et en Guyane française où une grande population nidifie dans la région de Cayenne.

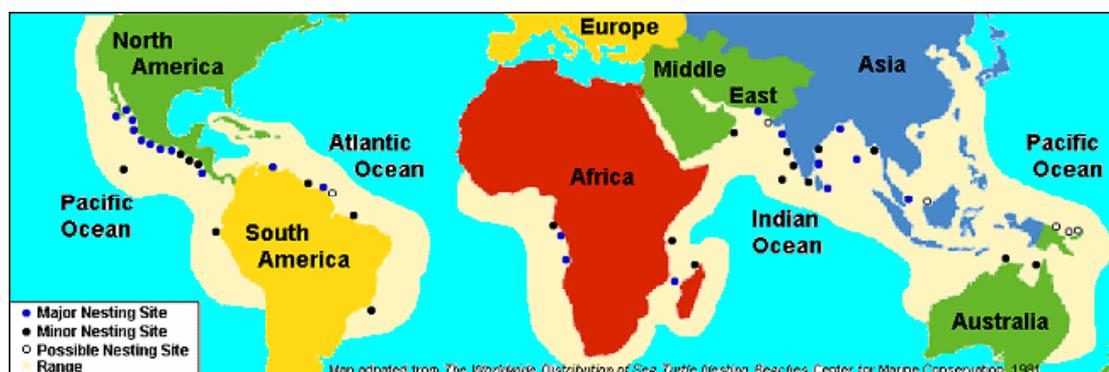


Carnivore, elle se nourrit de crustacés à proximité des côtes.

Il existe peu de renseignements sur les déplacements en mer de cette espèce. On sait qu'elle peut parcourir de très grandes distances en relativement peu de temps (2 600 km en 113 jours) (Beavers & Cassano 1996) et un individu marqué au Surinam a été retrouvé à 1 900 km de son lieu de marquage (Schulz 1975).

Après la ponte, des individus marqués au Surinam ont été retrouvés dans toute la région, même parfois très loin des côtes. Malheureusement, les dates de recapture ne sont pas indiquées et on ne sait donc pas si les individus sont présents toute l'année au large.

Figure 3.29. Sites de ponte et zone d'occurrence de la tortue olivâtre



Elle est menacée d'extinction au niveau mondial (UICN, 2010).

La tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*) se rencontre habituellement près des récifs coralliens ; elle est peu fréquente sur les côtes guyanaises.



Tortue imbriquée : la présence de deux paires d'écailles préfrontales permet de distinguer sans ambiguïté cette espèce de la tortue verte, même juvénile.

La tortue imbriquée est une espèce présente dans tous les océans. Il semble exister deux stratégies chez cette espèce. Certains animaux restent à proximité de leur zone de nidification toute l'année (Cuba), d'autres effectuent des déplacements. Trois suivis satellites ont été effectués dans la mer des Caraïbes et les animaux suivis présentent un patron de dispersion très semblable en ne s'éloignant pas des côtes de plus de 100 km.

Elle préfère pondre dans la Caraïbe plutôt qu'en Guyane, sur les plages sans vase, calmes et couvertes de végétation arbustive pouvant lui servir de cachette en cas de danger.

Figure 3.30. Sites de pontes et zone d'occurrence de la tortue imbriquée



Elle est gravement menacée d'extinction au niveau mondial (UICN, 2010).

La tortue caouanne (*Caretta caretta*) ne fait que de très rares apparitions sur les plages de Guyane, où elle vient parfois pondre.



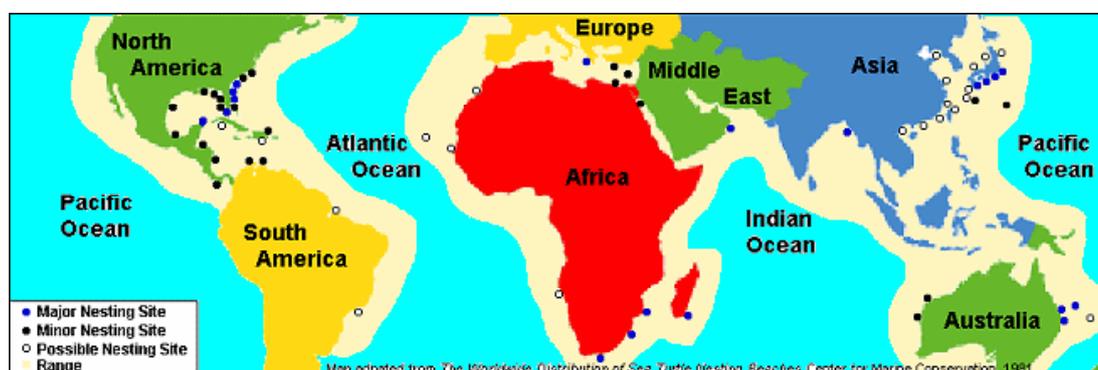
Cette espèce est caractérisée par une tête très large. Elle est carnivore et mange des mollusques et des crustacés qu'elle trouve sur le sol, ce qui explique qu'on la trouve principalement dans des eaux peu profondes, notamment à proximité des estuaires.

C'est une espèce particulièrement craintive. Pour se protéger des prédateurs, il semble que les jeunes nés dans l'Ouest Atlantique se réfugient en groupes dans mer des Sargasses, où se concentrent des algues flottantes. Les 12 suivis Argos de caouannes dans l'Atlantique Ouest ont tous montré que cet animal suit les côtes lors de ses déplacements.

Espèce très peu fréquente dans les eaux guyanaises, on rapporte une observation au Surinam (Reichart & Fretey 1993) et une en Guyane française (Fretey 1981).

Les zones de pontes se situent en dehors de la région des Guyanes (**Figure 3.31**).

Figure 3.31. Sites de ponte et zone d'occurrence de la caouanne



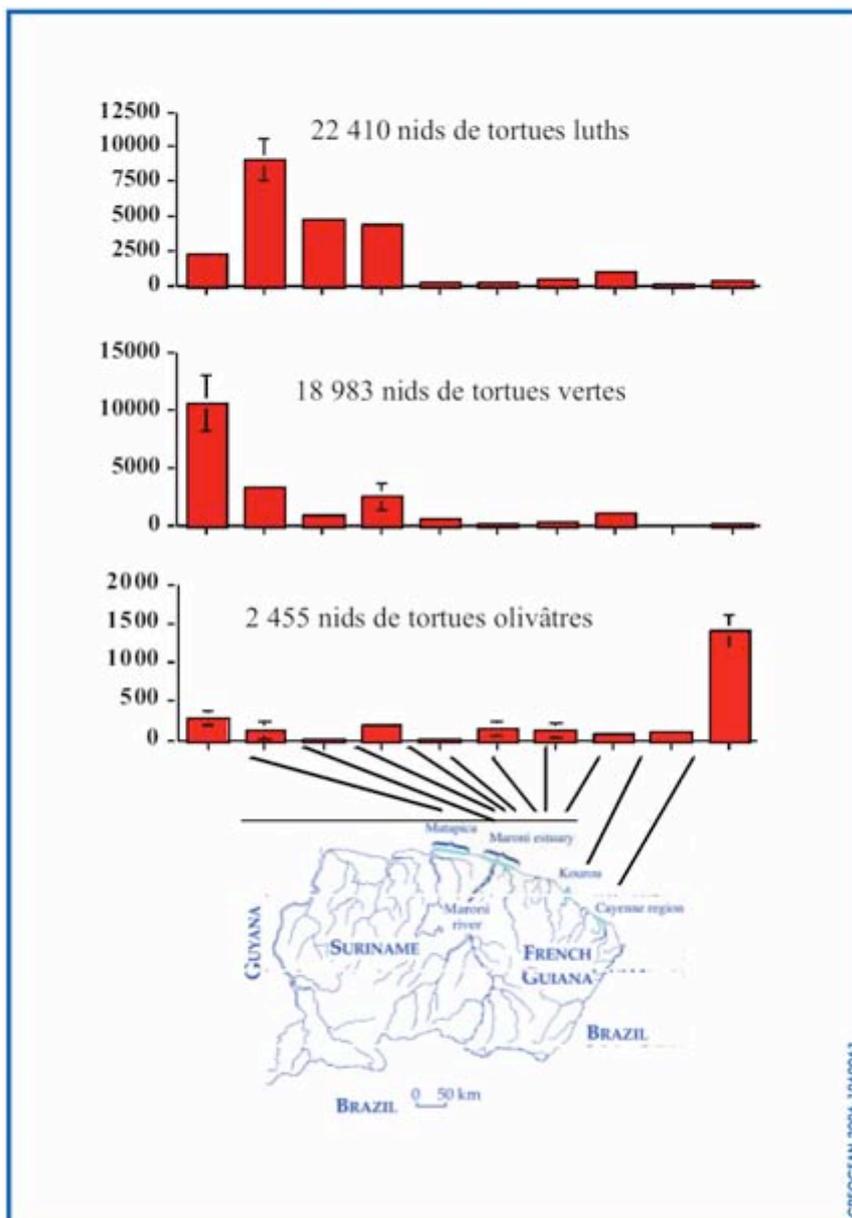
Elle est menacée d'extinction au niveau mondial (UICN, 2010).

3.2.1.5.2 - La ponte des tortues marines en Guyane française et au Surinam

La **tortue luth**, *Dermochelys coriacea*, la **tortue verte**, *Chelonia mydas*, et la **tortue olivâtre**, *Lepidochelys olivacea*, pondent régulièrement en Guyane et au Surinam.

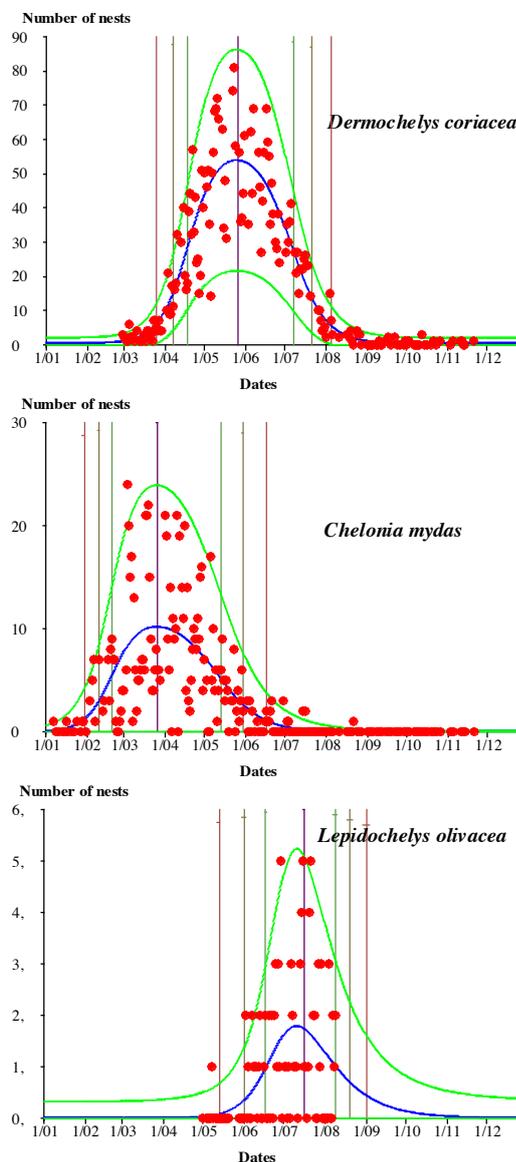
La ponte des tortues marines se produit de l'Est de la côte de la Guyane française jusqu'à Braampunt, au Surinam (**Figure 3.32**), ce qui représente environ 600 km de côte.

Figure 3.32. Distribution des pontes de tortues marines le long de la Guyane française et du Surinam (Rivalan et al, 2004)



Les périodes de pontes diffèrent selon les espèces. Le **Graphique 3.39** représente pour chaque mois de l'année, le nombre de nids observés pour la tortue luth (*Dermochelys coriacea*), la tortue verte (*Chelonia mydas*) et la tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*).

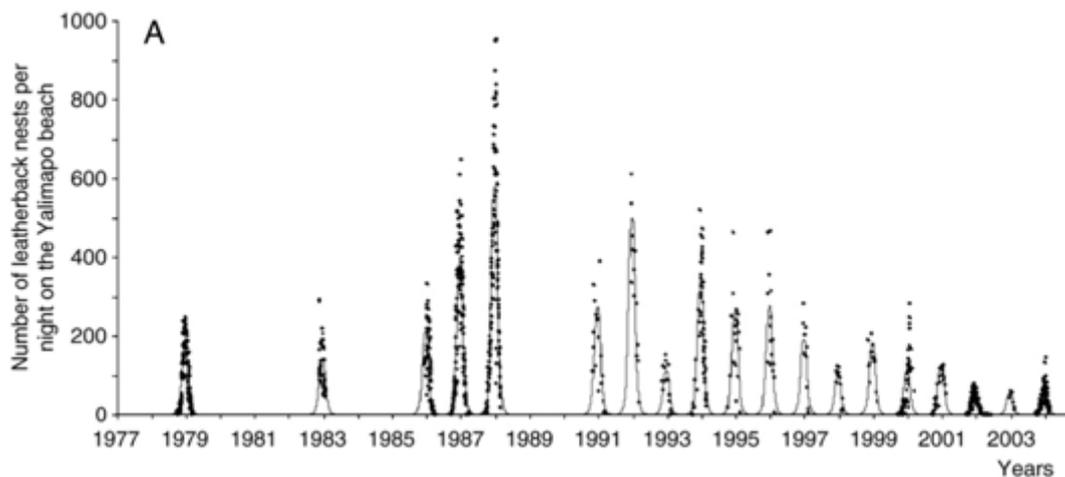
Graphique 3.39. Période de ponte des tortues guyanaises (Girondot, 2010a)



La tortue verte (*Chelonia mydas*) est la plus précoce, avec un nombre de nids observés maximum en mars-avril. Vient ensuite la tortue luth (*Dermochelys coriacea*), centrée sur la fin mai et enfin la tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*) qui pond principalement en juillet-août.

Fossette *et al* (2008) ont modélisé la distribution des pontes de tortue luth sur la plage de Yalimapo (ouest guyanais). Le calage entre le modèle (trait continu) et les effectifs réels (points) donne de très bons résultats (**Graphique 3.40**).

Graphique 3.40. Modélisation du nombre de tortues luths pondant de nuit sur la plage de Yalimapo (Fossette *et al*, 2008)



Ainsi, connaissant quelques comptages et avec le modèle adéquat, il est possible, avec une marge d'erreur, d'estimer la distribution des pontes de l'année.

Sur la base des données obtenues lors de survols aériens en juillet 2009, on peut établir la répartition du nombre total de pontes (ou montées) sur les différentes régions de Guyane française (Girondot, 2010a) et le nombre de femelles correspondantes, et considérant sept pontes en moyenne par femelle.

Tableau 3.20. Nombre de montées et nombre de tortues luths femelles pondeuses en 2009 (Girondot, 2010a)

Région	Nombre de montées		Nombre de femelles	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Cayenne	11 818	15 710	1 688	2 244
Kourou	549	730	78	104
Rizières	2 198	2 922	314	417
Yalimapo	12 918	17 172	1 845	2 453
Total	27 483	36 534	3 925	5 218

On peut noter qu'ici on ne traite pas le Surinam par manque de données. Mais comme on s'intéresse principalement à ce qui se passe à l'est de la Guyane française, ce manque n'apparaît pas problématique.

3.2.1.5.3 - Les déplacements des tortues

L'occupation de l'espace marin par les tortues est mal connue. Les captures d'animaux bagués sont insuffisantes pour connaître leurs déplacements. L'équipement par des balises satellites a permis de faire progresser cette connaissance.

Deux stratégies de déplacements sont distinguées chez les tortues marines femelles :

- en période de ponte,
- après la période de ponte.

3.2.1.5.3.1 - Déplacements pendant la période de ponte

Ferraroli, 2004 rapporte les déplacements de 17 femelles de **tortues luths** suivies sur la période 2001-2002 à proximité de l'embouchure du Maroni.

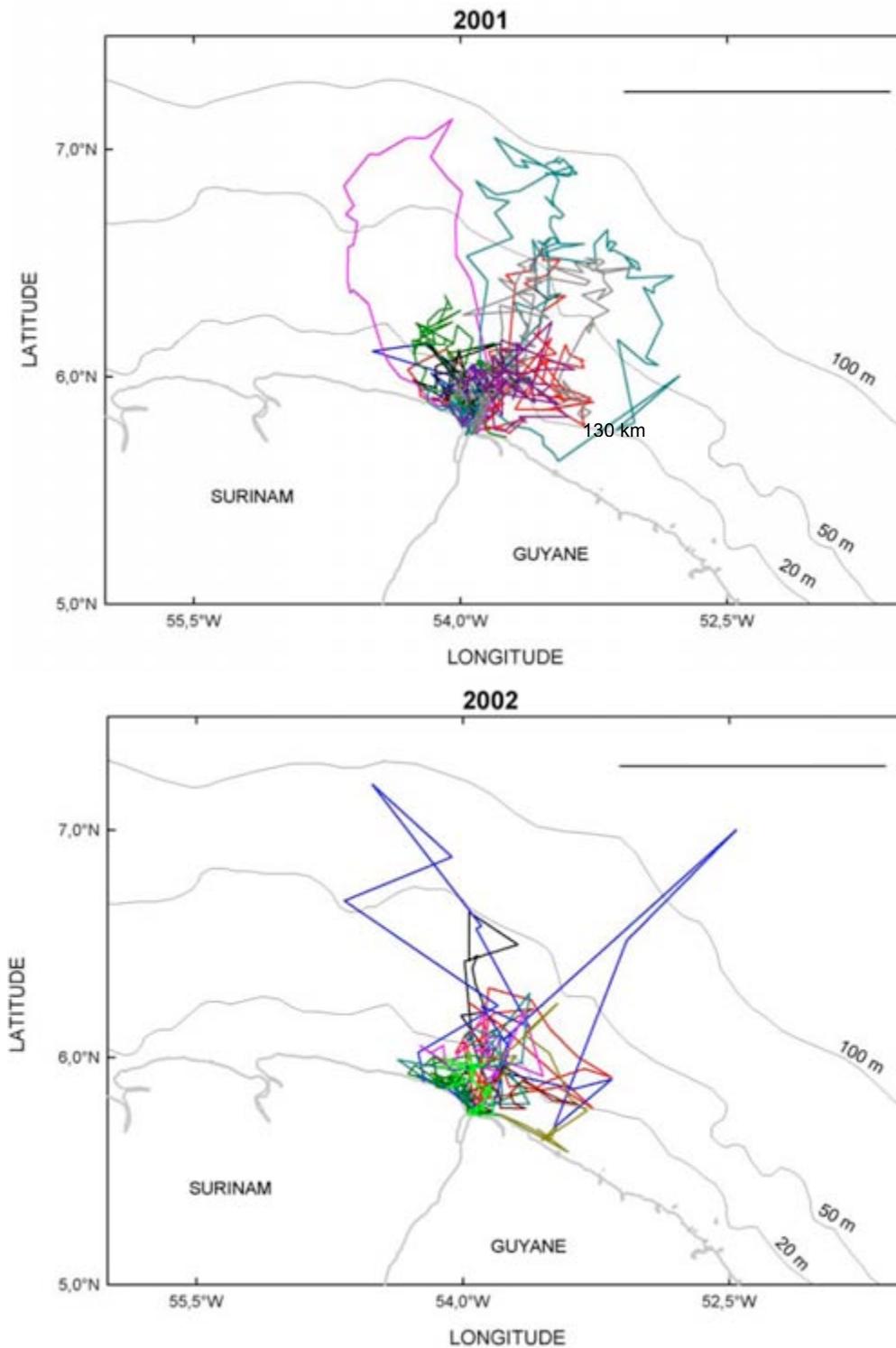
Les déplacements sont représentés sur la **Figure 3.33**.

Pour les deux années de suivi, on remarque que les tortues sont restées dans des profondeurs d'eau inférieures à 100 m (plateau continental), dans un rayon moyen de 100 km par rapport au site de ponte (distance maximale : 200 km). Les résultats montrent que les femelles, pendant la période de ponte, passent 80% de leur temps dans des profondeurs d'eau inférieures à 30 m.

Le temps entre deux venues à terre (montées) pour pondre est voisin de dix jours. En revanche, les distances parcourues sont variables : près de 600 km en 2001 contre 500 km en 2002.

Pour des espèces comme la **tortue verte** ou la **tortue olivâtre**, le suivi par balise s'est révélé peu pertinent durant la période de ponte, du fait du faible éloignement aux sites de ponte et de l'imprécision du positionnement par satellite.

Figure 3.33. Déplacements en mer de tortues luths femelles pendant la période de ponte (Ferraroli, 2004)



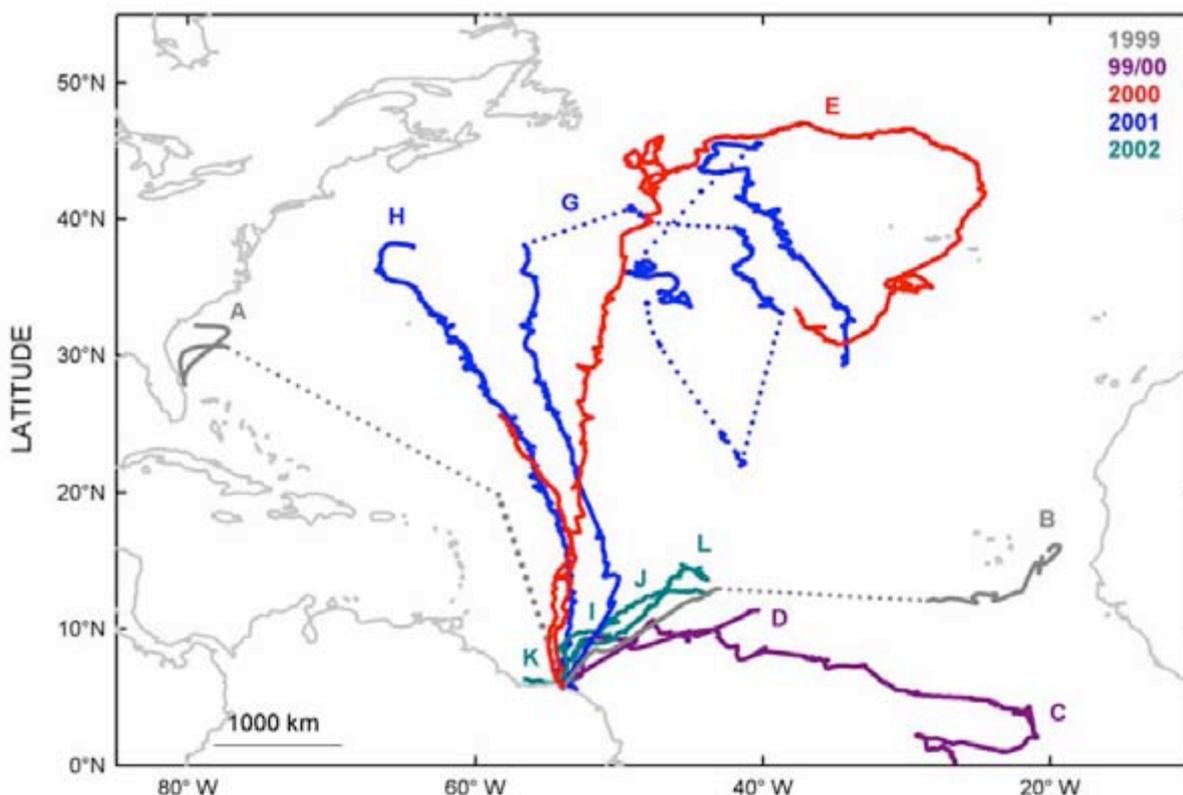
3.2.1.5.3.2 - Déplacements après la période de ponte

➤ Tortues luths

Ferraroli, 2004 montre la trajectoire des tortues luths durant les 10 jours suivant la dernière ponte. 11 des 12 femelles suivies ont pris une trajectoire les menant vers le Nord. Une seule femelle a longé vers l'Ouest les côtes du Surinam. Ces trajectoires sont représentées sur la **Figure 3.34**.

Remarque : les suivis satellite des tortues concernent d'une manière générale les femelles. En effet, l'émetteur est généralement posé durant la ponte. Il n'existe donc pas de données spécifiques sur les déplacements des mâles.

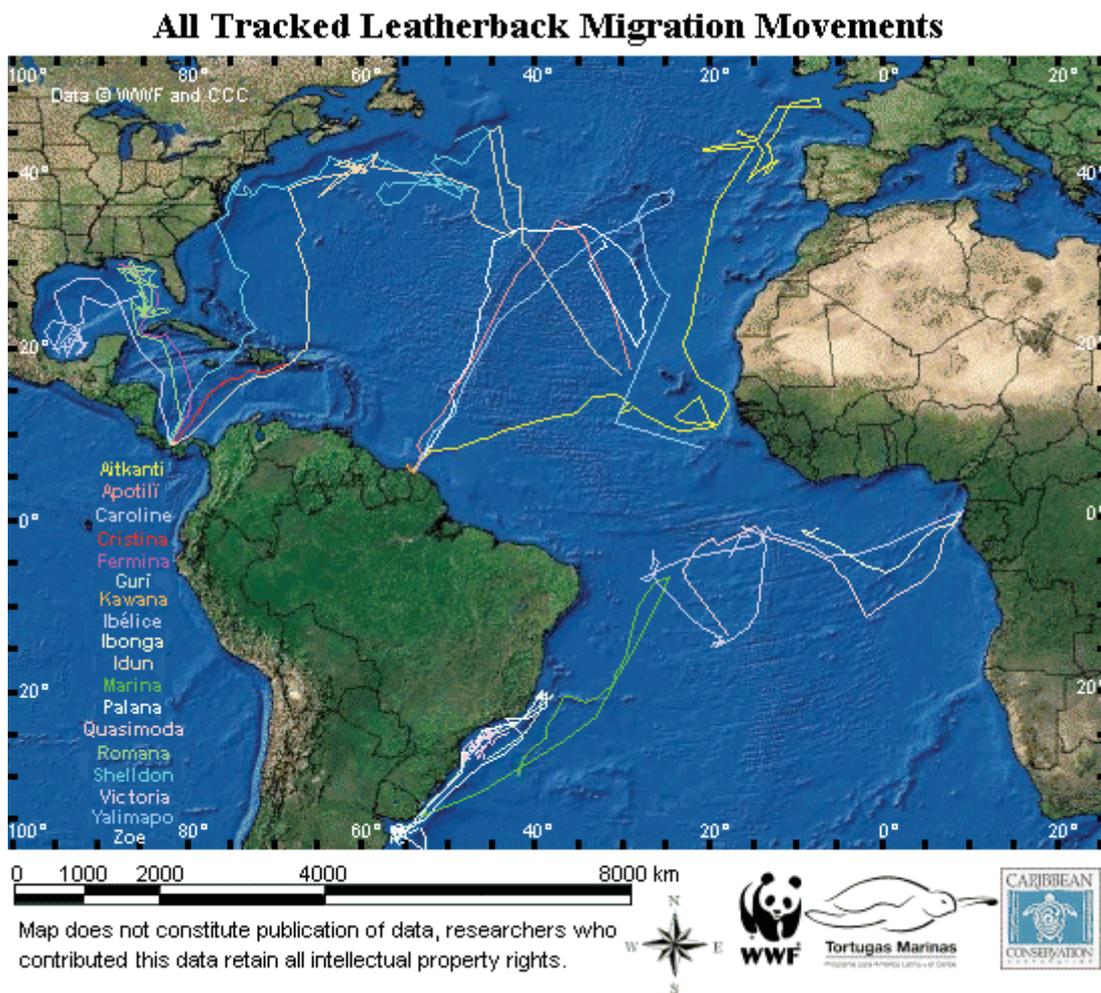
Figure 3.34. Déplacements après la période de ponte de tortues luths de Guyane et du Surinam (Ferraroli, 2004)



Les vitesses de déplacement des tortues, supérieures à celles des courants océaniques, montrent que les tortues ne se laissent pas passivement transporter par les masses d'eau. La dépense d'énergie pour leur déplacement nécessite une recherche de nourriture durant leur trajet (cnidaires).

Un suivi de tortues luths est toujours en cours. La **Figure 3.35**, fournie par le site du WWF, met en évidence les trajectoires de plusieurs tortues luths à partir des sites de ponte guyanais.

Figure 3.35. Trajectoire de tortues luths à partir d'un site de ponte guyanais (WWF, 2008)



➤ Tortues olivâtres

Les observations de Delamare (2005) montrent que les tortues olivâtres sont observées dans les eaux de Guyane tout au long de l'année. Ceci suggère qu'elles exploiteraient des zones d'alimentation restant à définir.

Un suivi télémétrique de huit femelles nidifiant sur le site de Rémire-Montjoly, près de Cayenne, a été mis en place par le Dr Jean-Yves Georges (CNRS/Université Louis Pasteur) (Créocéan, 2006).

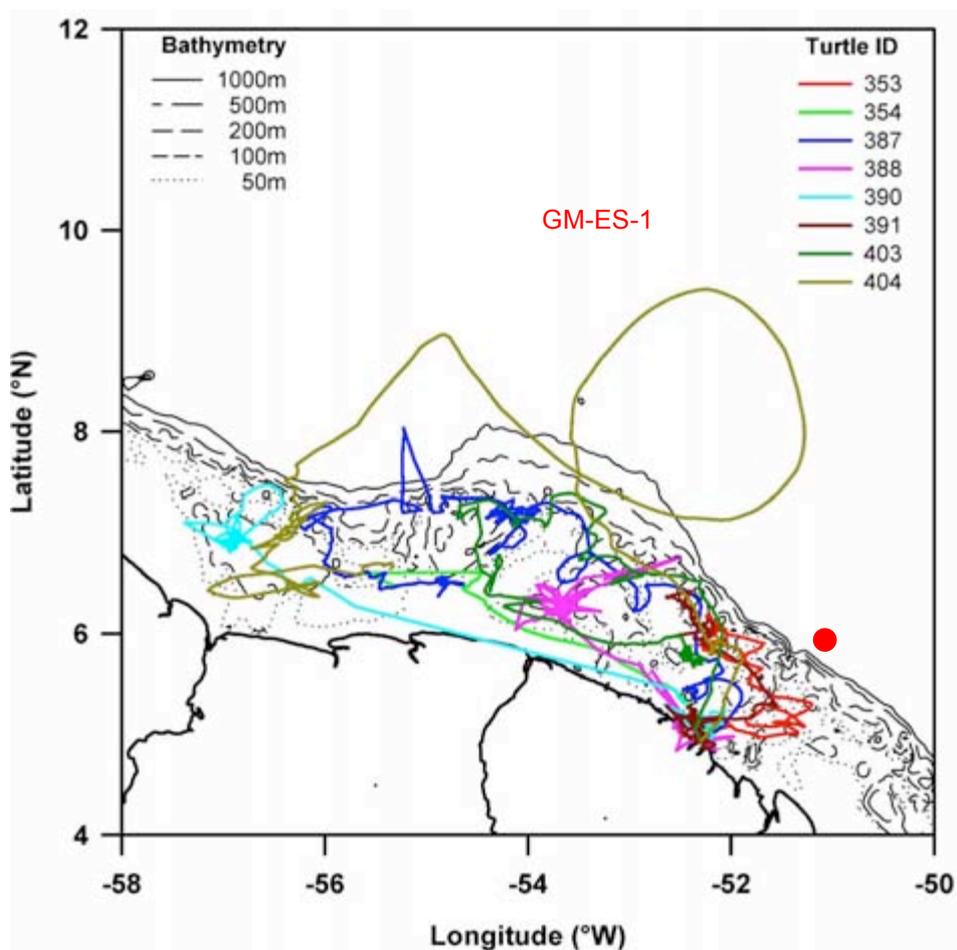
Les balises ARGOS, fixées sur la carapace des tortues lors de la ponte (**Photo 3.3**), ont permis de suivre les tortues durant de nombreuses semaines après la ponte (entre 48 et 82 jours).

Photo 3.3. Tortue olivâtre équipée d'une balise (Photo : J-Y Georges)



Les trajectoires suivies par les tortues sont représentées sur la **Figure 3.36**.

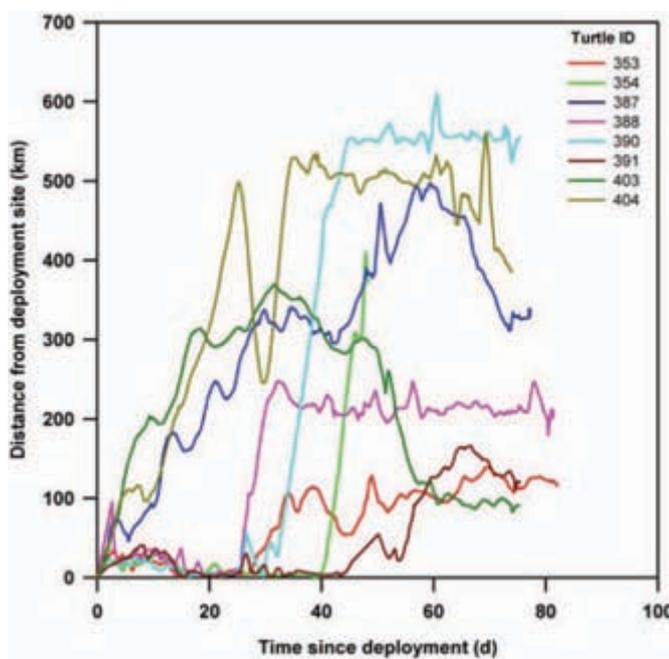
Figure 3.36. Carte de distribution de huit tortues olivâtres équipées de balises ARGOS sur la plage de Rémire-Montjoly, Guyane, en relation avec la bathymétrie (Créocécian, 2006)



Les huit tortues olivâtres de la plage de Rémire-Montjoly, durant ce suivi, ont fréquenté le plateau continental de la Guyane française, du Surinam et du Guyana. On note deux incursions hors du plateau continental (individus # 387 et 404), qui représentent environ 4% du temps total de suivi. La trajectoire de la tortue 404 semble emprunter une boucle de courant associée au phénomène de rétroflexion qui se produit à cette époque. Les deux tortues ont rejoint par la suite des zones prospectées par les autres tortues, sur le plateau continental.

Cinq tortues (#353, 354, 388, 390, 391) sont restées à proximité de Cayenne (51.8 ± 23.7 km) pendant les 31.0 (± 5.0) jours suivant la pose de la balise, alors que les trois autres (#387, 403, 404) ont immédiatement quitté le site (voir **Graphique 3.41**).

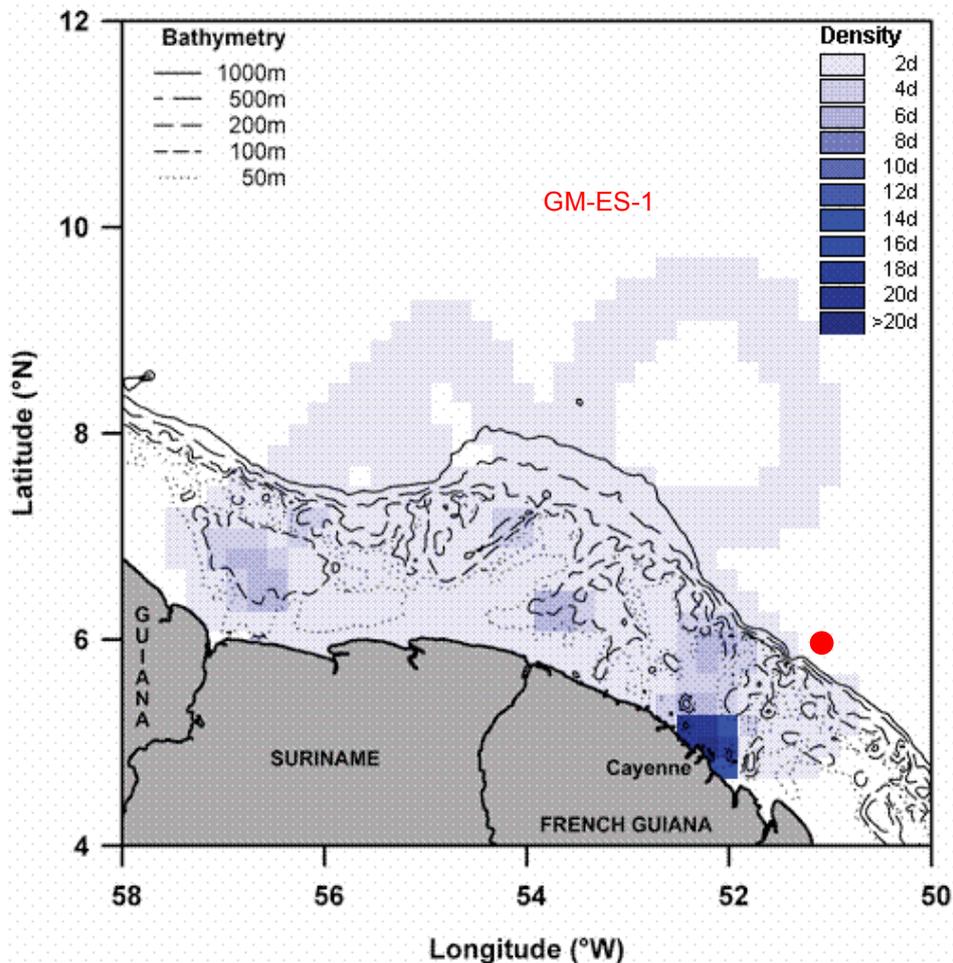
**Graphique 3.41. Eloignement du site de ponte en fonction du temps
(Créocéan, 2006)**



L'analyse fine des trajectoires montre qu'à proximité de Cayenne, les tortues suivies par balises ARGOS se déplacent de manière erratique, comme l'indique le faible indice de rectitude (<0.8 selon Gaspar *et al*, 2006). Par la suite, les déplacements vers l'ouest en direction du Surinam et du Guyana ont tendance à être plus rectilignes, sauf à proximité des embouchures des fleuves Cayenne, Maroni et Corentyne (à la frontière entre le Surinam et le Guyana) et en bordure du plateau continental (~100 m de profondeur).

Les tronçons ayant un faible indice de rectitude ont souvent été interprétés comme étant des périodes de fourragement. Ceci suggérerait que les tortues olivâtres suivies par satellite fourragent aux embouchures des fleuves Cayenne, Maroni et Corentyne et en bordure du talus du plateau continental. Cette suggestion est supportée par le fait que les tortues olivâtres suivies par balises ARGOS passent préférentiellement plus de temps (~70% du temps total de suivi en mer) aux embouchures de ces fleuves que sur le reste du plateau des Guyanes (**Figure 3.37**).

Figure 3.37. Représentation topographique du temps (en jour) passé par unité de surface (0.2° x 0.2°) sur le plateau des Guyanes par huit tortues olivâtres équipées de balises ARGOS sur la plage de Rémire-Montjoly, Guyane, en relation avec la bathymétrie (Créocéan, 2006)



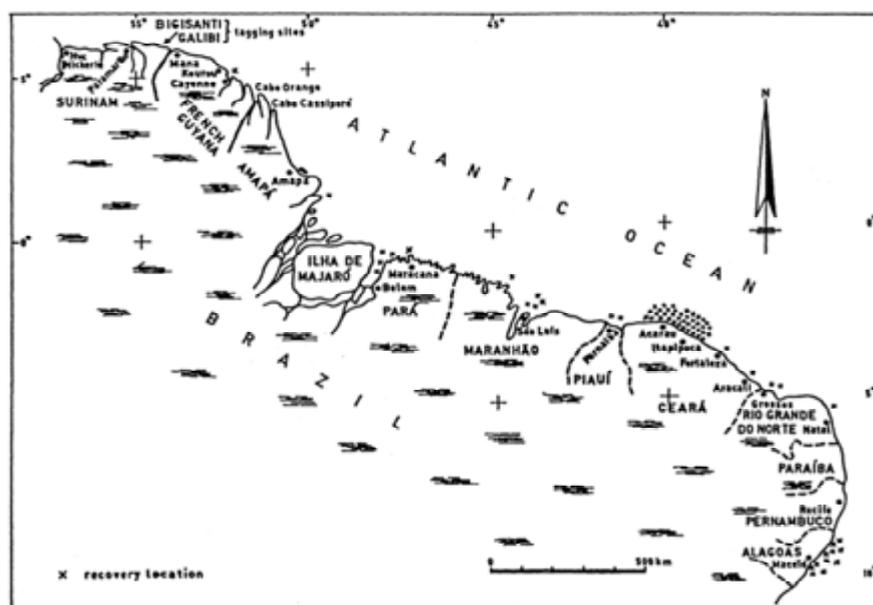
Toutefois, l'identification exacte des zones de fourragement doit prendre en compte l'influence de la dynamique océanique sur les déplacements observés (Gaspar *et al*, 2006, Girard *et al*, 2006). L'identification des zones de fourragement peut être tentée à partir de l'analyse du comportement de plongée obtenu à partir des enregistrements de pression transmis par les balises utilisées dans cette étude.

L'analyse préliminaire des variations de l'effort de plongée et de l'occurrence des plongées atteignant au moins 80% de la hauteur d'eau (où les tortues olivâtres sont supposées fourrager, Bjorndal 1997) montre qu'il n'y a pas de relation systématique entre le comportement de plongée et la rectitude du trajet.

➤ Tortues vertes

Pour la tortue verte, des tortues marquées à l'Est du Surinam ont été recapturées essentiellement au Brésil (états du Ceará et d'Alagoas).

Figure 3.38. Localisation des recaptures de tortues vertes marquées à l'Est du Surinam (Schulz, 1975)

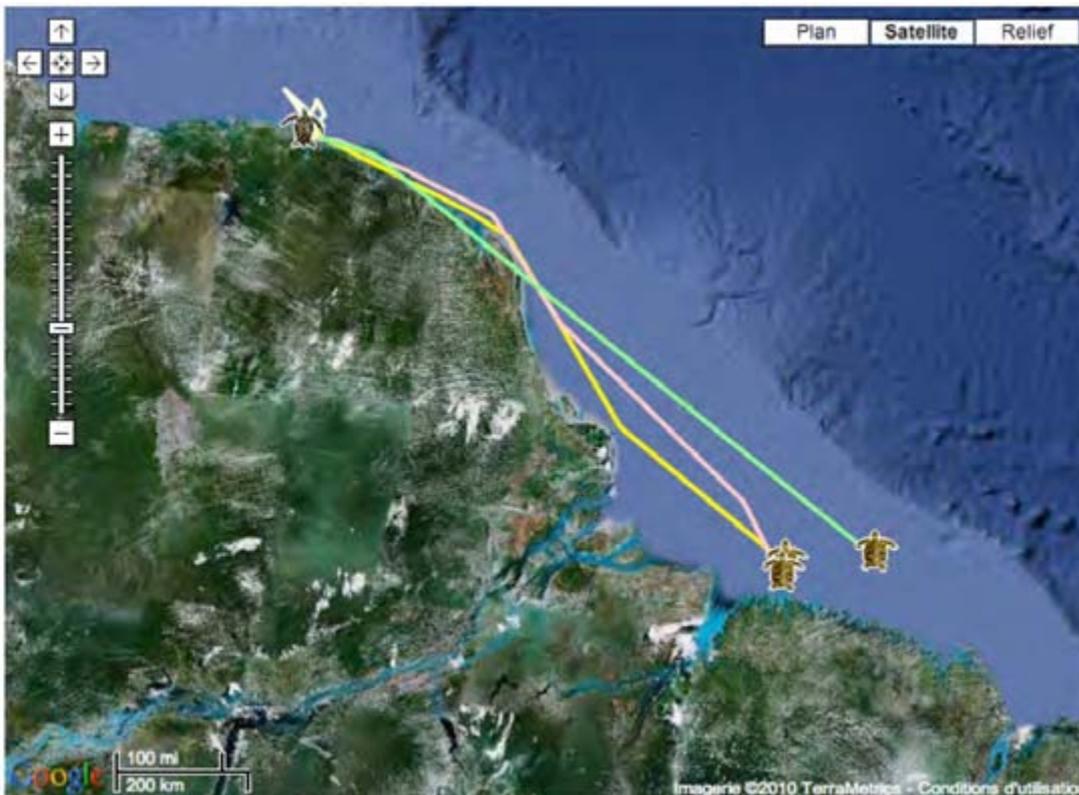


Ces travaux (Schulz, 1975) montrent clairement des déplacements qui concernent le domaine côtier guyanais. Une seule recapture a été notée en Guyane française.

De nombreuses tortues vertes ont été équipées de balises satellites de par le monde (plus de 20 programmes). Le comportement des tortues vertes lors de grands déplacements est bien illustré par la femelle Stimapa, équipée à Bonaire (au large du Venezuela). A la fin de la saison de ponte, elle suit la côte mais en se déplaçant à distance de celle-ci (jusqu'à 300 km). Ce comportement corrobore quelques observations au large de la Guyane, où des tortues vertes ont été identifiées à plus de 200 km de la côte.

De nouvelles données viennent conforter ces suppositions, grâce à trois tortues vertes équipées de transmetteurs satellites au Surinam. Ces trois animaux ont quitté la région Surinam/Guyane pour se diriger vers le Brésil en suivant la côte (**Figure 3.39**).

Figure 3.39. Trajet de trois tortues vertes du Surinam au Brésil (STC & WWF, in Girondot 2010a)



3.2.1.5.4 - Présence des tortues sur le site de GM-ES-1

La présence des tortues sur le site de GM-ES-1 peut être évaluée à l'aide de différents outils, que ce soit des survols, des suivis par satellite ou à l'aide de modèles de dispersion en mer des tortues.

3.2.1.5.4.1 - Survol du site de GM-ES-1

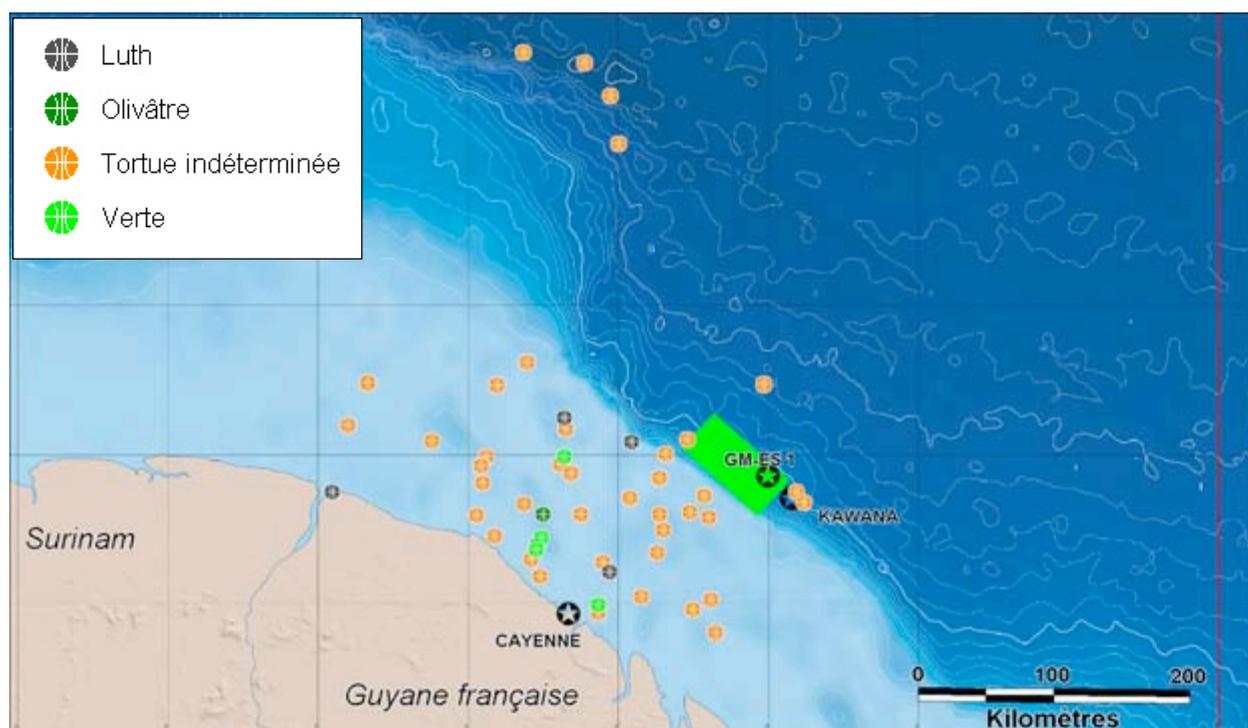
Des survols du site de Kawana, situé à une vingtaine de kilomètres au sud-est de GM-ES-1 ont été réalisés entre avril et juillet 2006 afin d'observer la présence de tortues (et de tout autre organisme vivant visible) sur le site. Ces survols ont couvert une zone de 200 km², centrée sur la zone concernée par le projet de forage d'exploration.

Sur les six survols effectués en 2006 sur le site de Kawana (200 km² à chaque fois), un groupe de deux tortues et une tortue isolée ont été observées. Ce sont probablement des tortues vertes.

CRMM, 2009, a couvert l'ensemble du domaine maritime au large de la Guyane. Trente-et-une des trente-six tortues observées l'ont été sur le plateau continental. Les plus proches de GM-ES-1 sont situées à environ quatre-vingts kilomètres.

D'autres survols ont été réalisés depuis sur la zone de projet, depuis fin septembre 2009. Pour plus de trente vols ayant eu lieu jusqu'en mai 2010, une seule tortue a été vue sur la zone du projet.

Figure 3.40. Localisation des tortues observées au large de la Guyane française (CRMM, 2009, Girondot & Ponge, 2006, Girondot & Russo, 2009, Girondot, 2010)



Ces faibles présences observées ne sauraient être la conséquence d'une technique peu adaptée. Les données des survols CRMM et Girondot montrent que de nombreux vertébrés de petite taille (exocets et sternes entre autres) sont visibles et souvent identifiables. En revanche, le fait que les tortues plongent pour se nourrir les soustrait temporairement aux observations depuis un avion.

3.2.1.5.4.2 - Suivis satellite

Les suivis satellites présentés au paragraphe précédent (chapitre 3.2.1.5.3) permettent également d'évaluer la présence de tortues sur le site de GM-ES-1.

Les suivi des tortues luths de l'ouest guyanais mettent en évidence des déplacements globalement perpendiculaires au littoral, qui ne concernent pas la zone de GM-ES-1.

Le suivi des tortues olivâtres de Cayenne (Créocéan, 2006) n'a pas montré de présence de cette espèce sur le site de GM-ES-1. Elles sont cantonnées sur le plateau continental, hormis un individu qui s'est aventuré en mer, probablement en lien avec une boucle de courant marin.

3.2.1.5.4.3 - Modèle de dispersion

Le comportement de chacune des trois principales espèces de tortues marines rencontrées en Guyane a été modélisé à partir des informations disponibles : sites de ponte, effectifs de femelles venant pondre à terre, suivis télémétriques, recaptures d'individus bagués.

Un modèle de dispersion des tortues au large de la Guyane a été créé par le Professeur Marc Girondot en 2006 ; il a été revu en 2010, au vu de nouvelles données :

- une réévaluation du nombre de femelles de tortues luths,
- une revue exhaustive des suivis télémétriques des tortues vertes de par le monde,
- le suivi satellite des tortues olivâtres de la plage de Rémire-Montjoly,
- le déplacement significatif de pontes de tortues luths vers les plages de Cayenne.

L'expertise est fournie en **Annexe 3**. Les principaux résultats sont repris dans cette section.

Tortue luth

Alors que la localisation des tortues à proximité des sites de pontes est relativement bien cernée, il n'en est pas de même pour les zones au large de la Guyane. Un modèle de dispersion des tortues luths vers le large est formulé pour établir la densité de tortues marines risquant d'être rencontrée en haute mer.

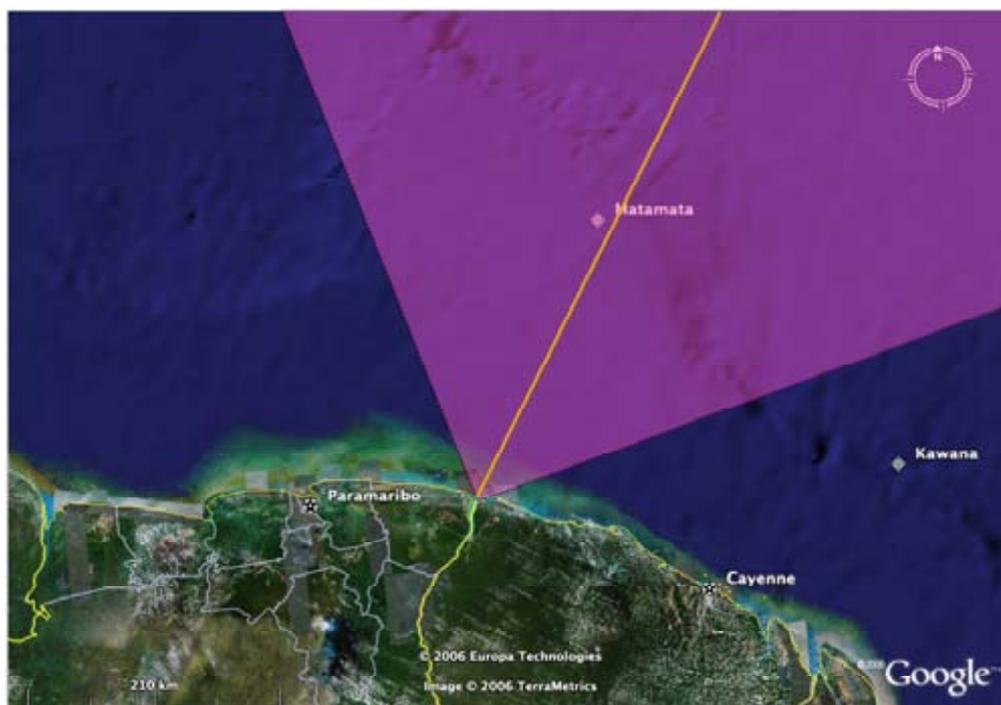
Les paramètres d'entrée de ce modèle sont tirés de la bibliographie :

- les lieux de ponte et les effectifs des femelles venant à terre,
- les périodes de ponte,
- les résultats des suivis par satellite des tortues luths : dispersion en mer, vitesse et direction de déplacement principalement.

Seuls les déplacements avant et après ponte sont traités. En effet, les déplacements pendant la période de ponte indiquent que les femelles restent à proximité du rivage, nettement hors de la zone du projet.

Lorsqu'elles quittent leur lieu de ponte, le déplacement des tortues s'inscrit dans un cône dont la pointe est la plage de ponte et défini d'après les résultats des suivis par satellite (voir **Figure 3.34**). Une forte dilution des effectifs s'ensuit.

Figure 3.41. Exemple du cône de dispersion des tortues luths de la plage de Yalimapo (Girondot, 2010a)



Ce principe est étendu à tous les sites de ponte compris entre l'est du Surinam et Cayenne.

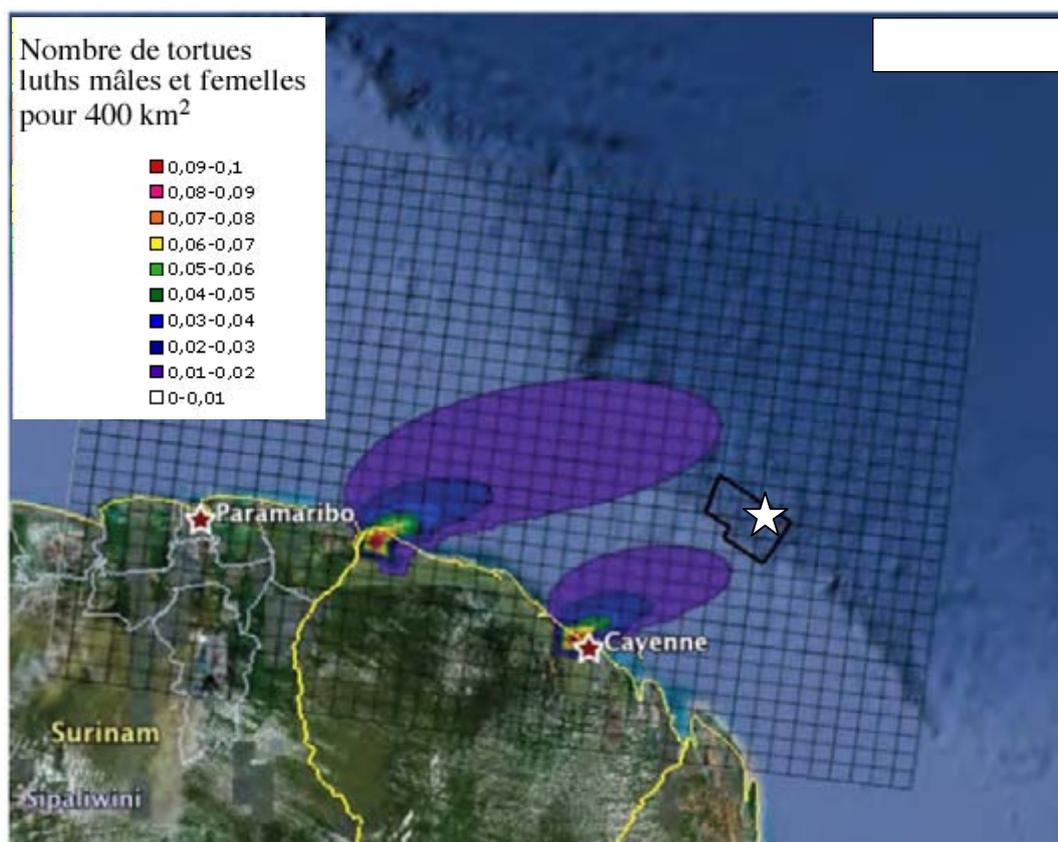
Figure 3.42. Extension du principe aux sites de pontes gyanais (Girondot, 2010a)

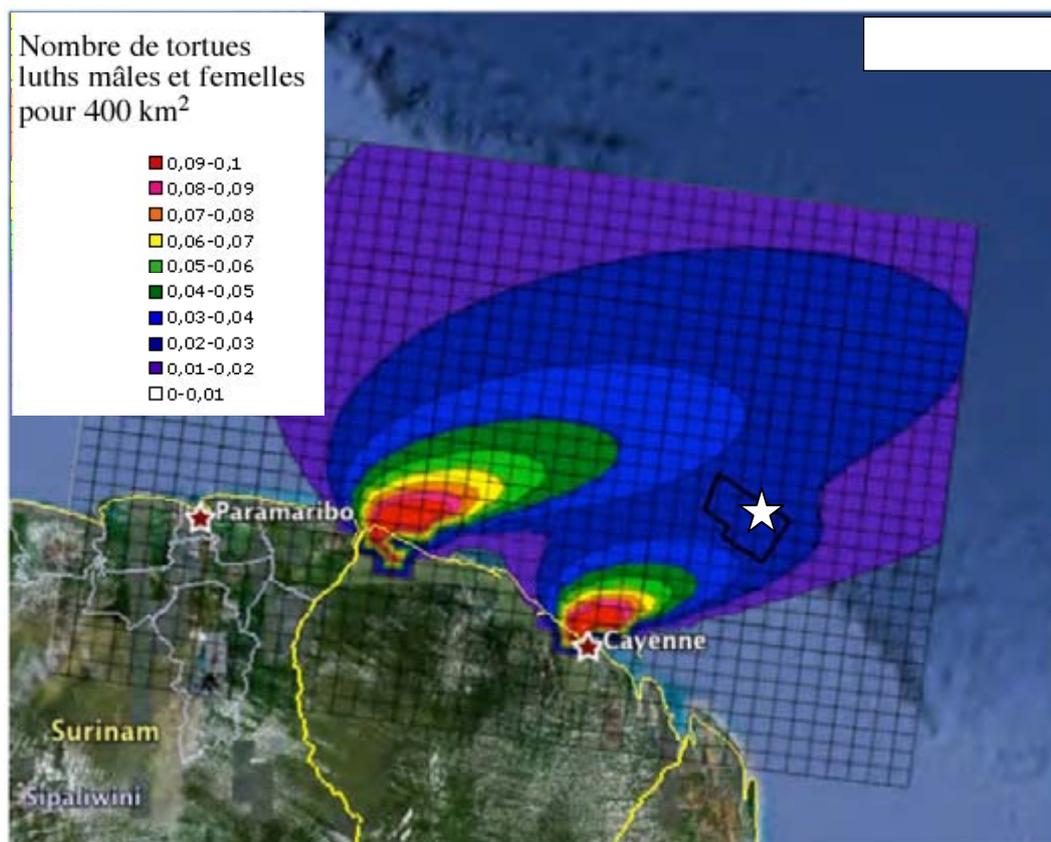
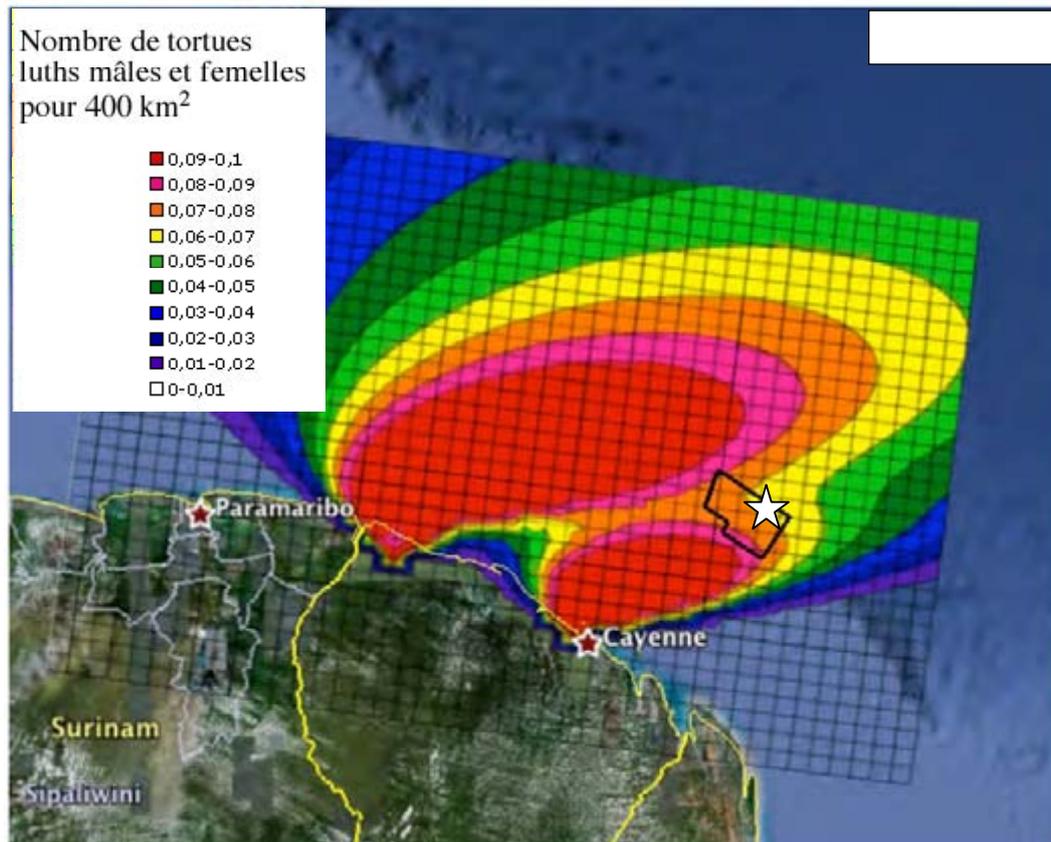


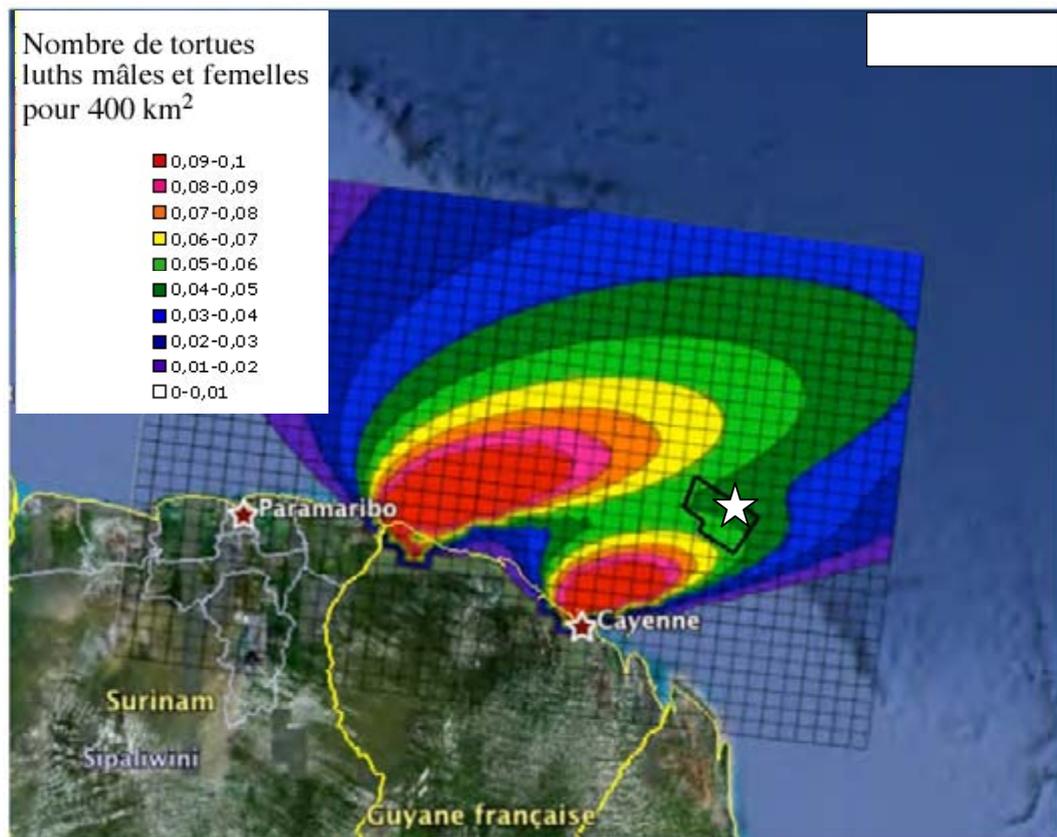
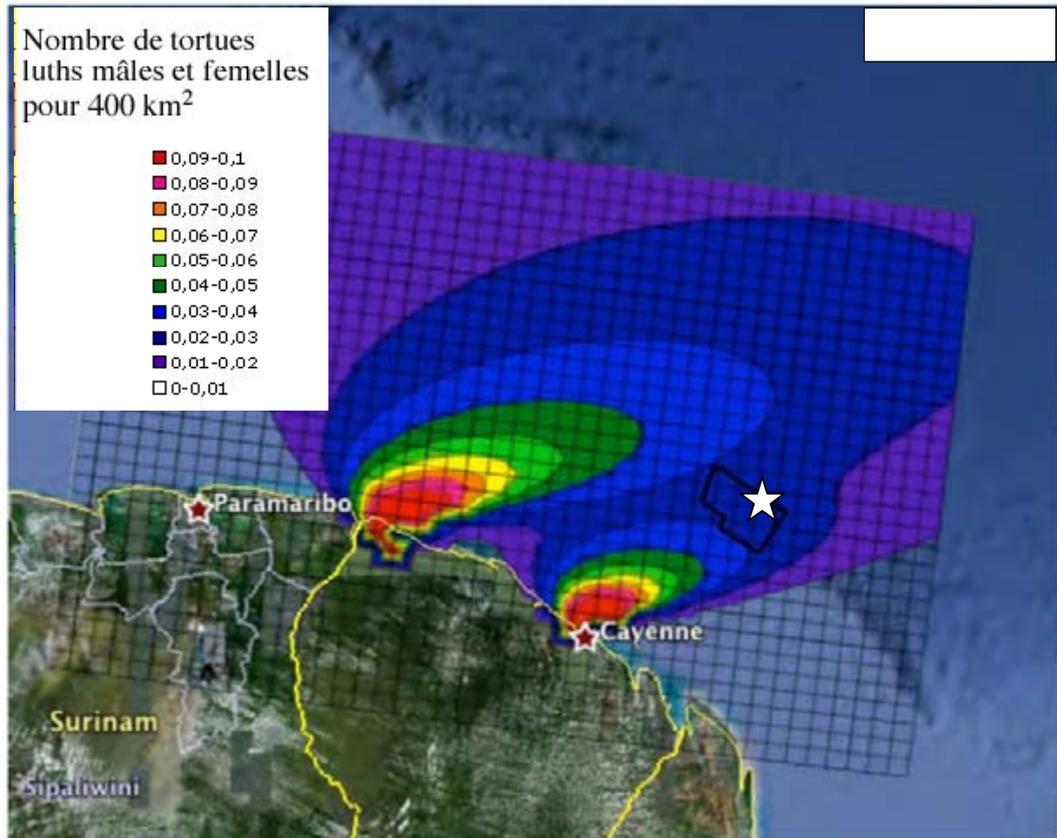
Les résultats du modèle de dispersion pour les cinq premiers mois de l'année donnent l'occurrence de présence journalière de tortues sur des surfaces de 400 km² (20 x 20 km). La **Figure 3.43** représente les résultats obtenus pour la période prévue du forage d'exploration (entre janvier et mai). **L'emplacement du forage d'exploration est représenté par l'étoile blanche.**

Les densités sont très faibles pour les cinq premiers mois de l'année, avec un maximum pour le 15 février proche de 0,07 tortue luth pour 400 km².

Figure 3.43. Densité en mer des tortues luths durant la période potentielle du forage d'exploration (Girondot, 2010a)

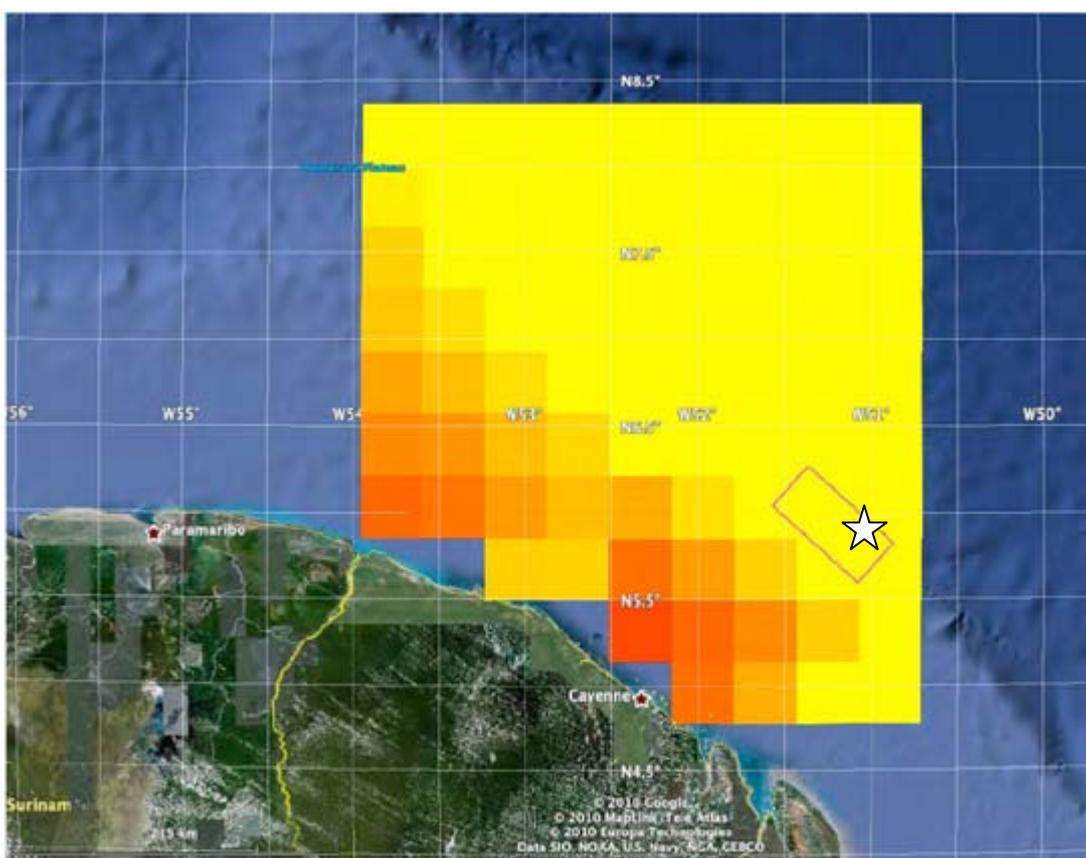






Une autre méthode a été utilisée pour simuler le comportement en mer des tortues luths : un modèle individu centré. Ce modèle plus complexe propose pour la tortue luth un comportement hétérogène (non homogène). Le modèle simule le comportement réel des tortues femelles en période de ponte, tel qu'appréhendé par différentes techniques, dont le suivi par satellite. Les résultats du modèle incorporant 2000 tortues luths femelles se déplaçant dans les eaux guyanaises sont fournis en **Figure 3.44**. Le site de forage est localisé par l'étoile blanche.

Figure 3.44. Répartition en mer au mois de mai de tortues luths femelles par modèle individu centré (Girondot, 2010a)



La couleur jaune correspond à moins d'un animal par secteur de 40 kmx40 km, tandis que le rouge (au nord de Cayenne) correspond à 300 individus. L'essentiel des tortues luths est localisé près des côtes.

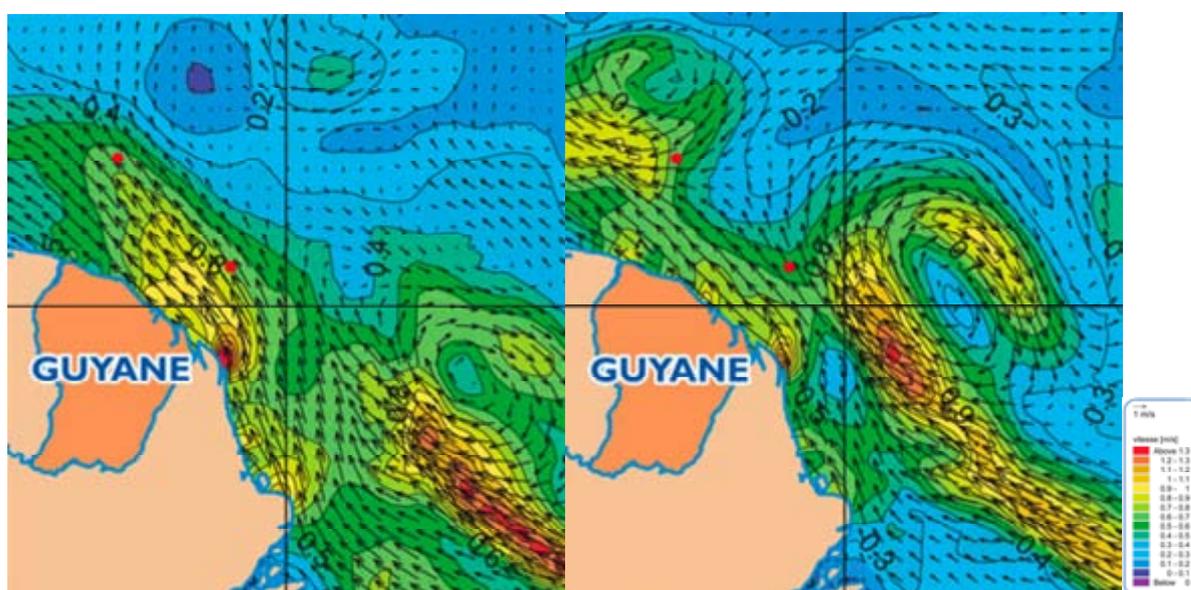
On a globalement un bon accord entre les deux méthodes, avec toutefois une densité moins importante pour cette seconde méthode au niveau de l'estuaire du Maroni, et un moindre étalement sur le plateau continental. Les résultats apparaissent similaires pour le site GM-ES-1.

Tortue verte

La valeur du nombre moyen de pontes pour les tortues vertes en Guyane française n'est pas connue. Nous utiliserons une péréquation de celle de la tortue luth en pondérant par la longueur de la saison de ponte ; nous arrivons à cinq pontes pour la tortue verte ce qui est cohérent avec les données publiées par ailleurs pour l'espèce (Musick & Lutz, 1997).

Les données bibliographiques (Schulz, 1975) montrent que les tortues vertes, après leur départ de Guyane, vont rejoindre les herbiers au large du Brésil. Compte tenu des courants marins contraires et soutenus sur le plateau continental (voir **Figure 3.45**), les tortues vont effectuer l'essentiel de leur migration au niveau du talus continental et un peu au-delà. Le retour en Guyane en février-mars a été schématisé de la même manière.

Figure 3.45. Courants au large de la Guyane en mai et février (Créocéan, 2006)

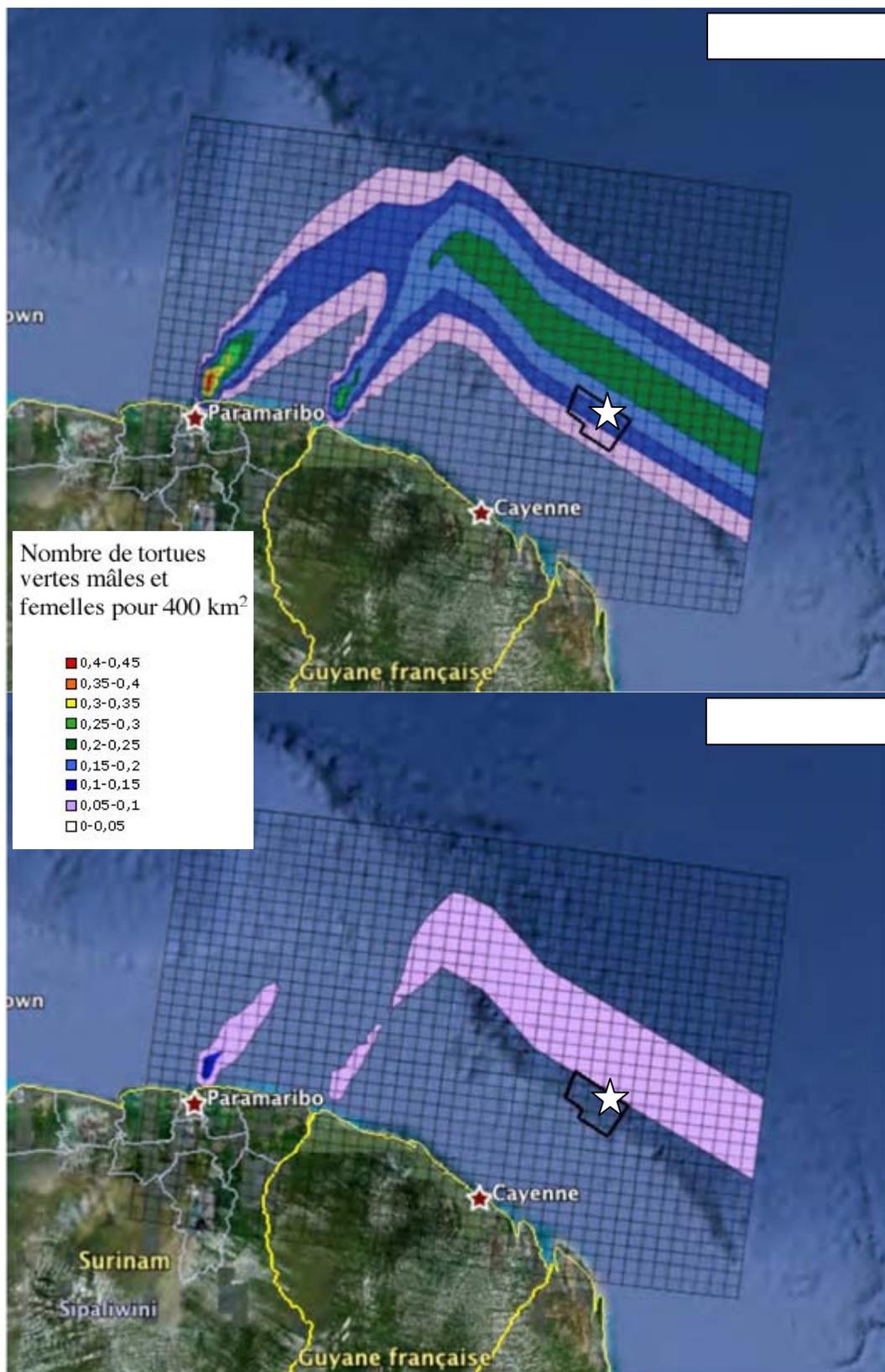


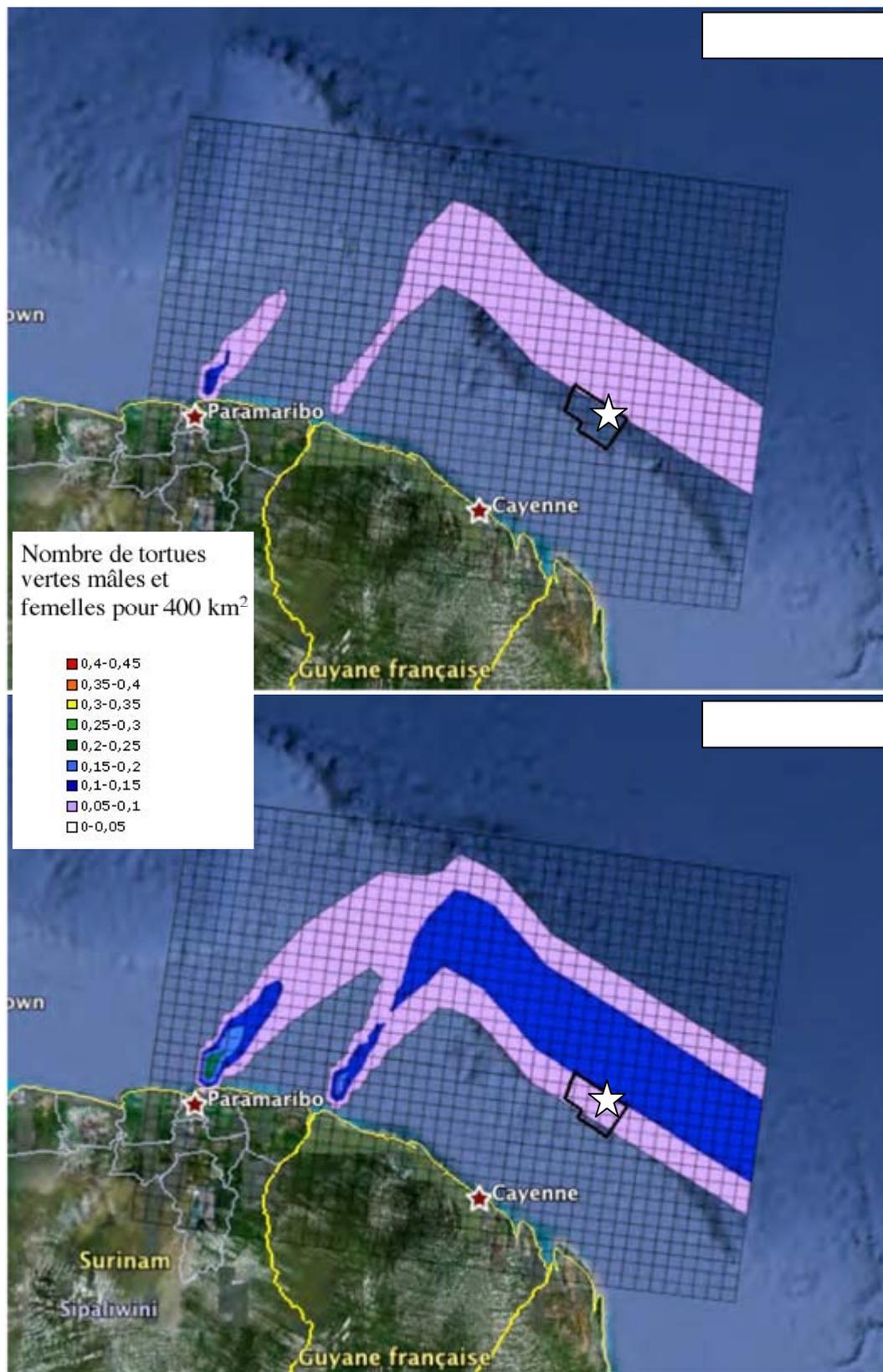
Courants en mai 2005

Courants en février 2005

Les densités qui découlent de ce modèle sont fournies en **Annexe 3**. La **Figure 3.46** présente les densités au large de la Guyane pour la période durant laquelle doit se dérouler le forage d'exploration (février à mai). Janvier n'est pas illustré, car les tortues vertes n'ont pas encore commencé à arriver. **La zone du projet est indiquée par une étoile blanche.**

Figure 3.46. Densité en mer des tortues vertes durant la période potentielle du forage d'exploration (Girondot, 2010a)





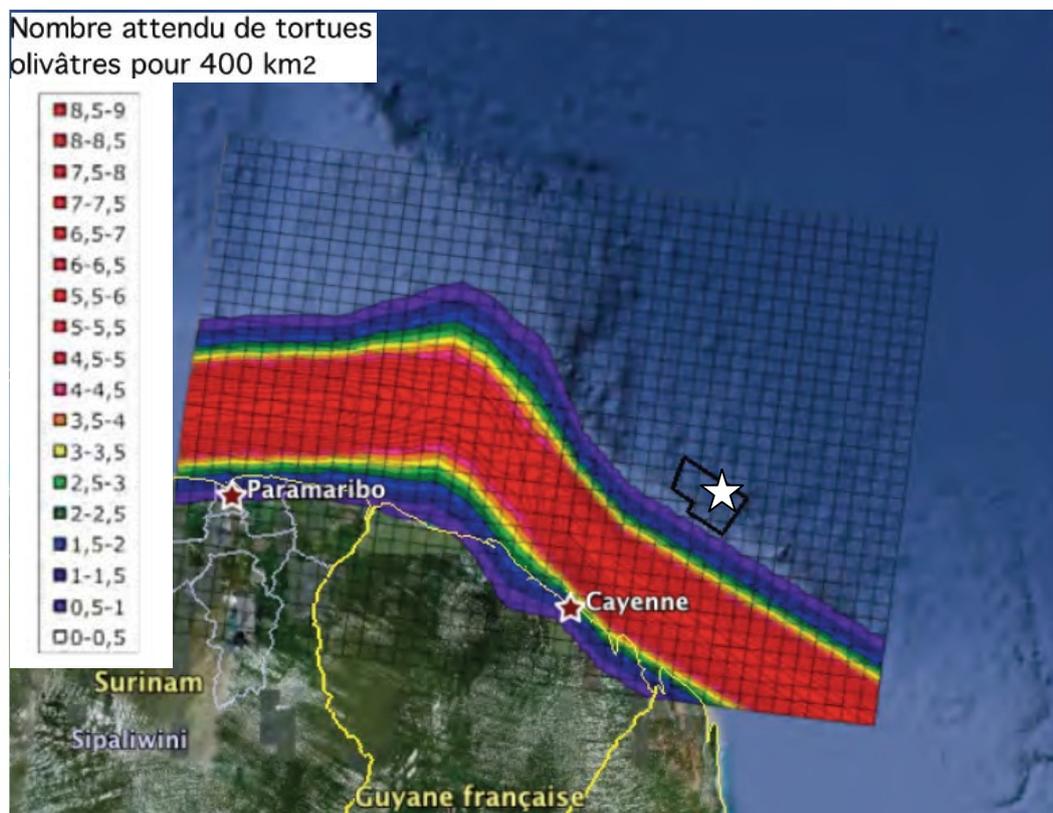
Pour la période janvier à mai, c'est en février que les densités sont les plus élevées (0,15 tortue verte/ 400 km²), bien que ces chiffres apparaissent très faibles.

Tortue olivâtre

La valeur du nombre moyen de pontes pour les tortues olivâtres en Guyane française n'est pas connue. En utilisant une péréquation de celle de la tortue luth et en pondérant par la longueur de la saison de ponte, on aboutit à 3 pontes pour l'olivâtre ce qui est cohérent avec les données publiées dans le monde pour cette espèce (Musick & Lutz, 1997).

La distribution des femelles se situe au niveau du plateau continental et se répartit de la péninsule du Paria au Venezuela jusqu'à l'embouchure de l'Amazone soit environ un linéaire de 1 500 km de côte. Guéguen (2000) indique que la tortue olivâtre pourrait être présente au large de la Guyane durant toute l'année. Cette hypothèse n'a pas été démentie par le suivi satellite opéré sur huit tortues olivâtres femelles de Rémire-Montjoly (Créocéan, 2006). La distribution instantanée des tortues olivâtres est donc modélisée comme régulière le long de ces 1 500 km de côtes, avec des animaux localisés au niveau du plateau continental et s'aventurant rarement au-delà ; cette distribution est identique à tout moment de l'année (pas de saisonnalité). **L'emplacement du site est matérialisé par la croix blanche.**

Figure 3.47. Densité en mer des tortues olivâtres (Girondot, 2010a)



La densité sur le site est faible, comprise entre 0,0 et 0,5 tortue olivâtre/400 km².

Synthèse sur la présence des tortues pendant la période prévue des travaux

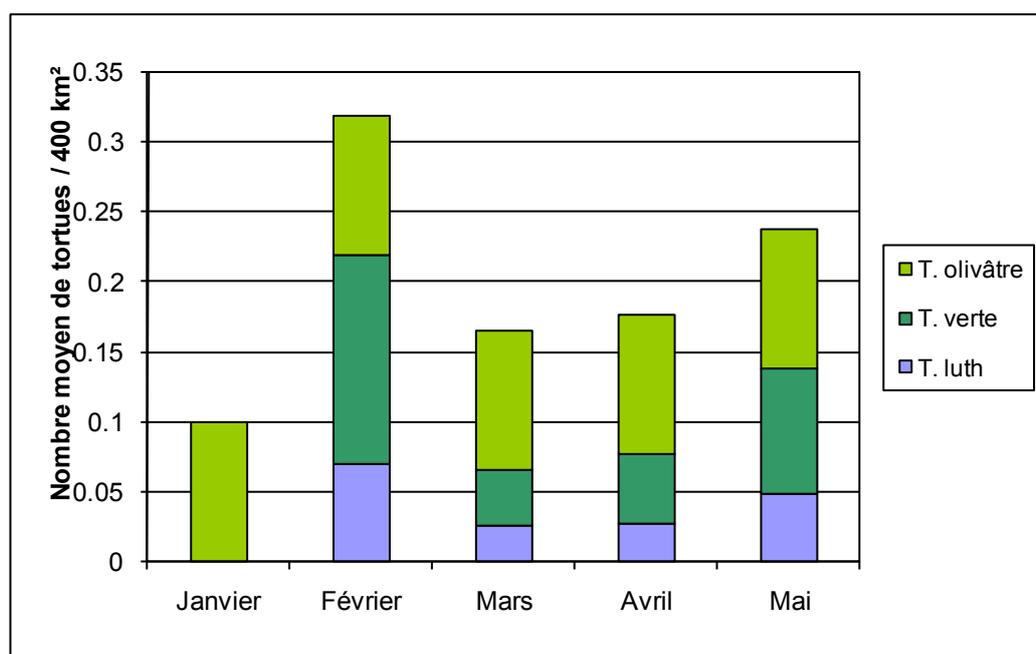
La densité de chaque espèce varie au cours de la période janvier-mai durant laquelle doit se dérouler le forage d'exploration. Elle est également variable compte tenu de la superficie concernée par le projet (cf. **Tableau 3.21**).

Tableau 3.21. Variation de la densité en tortues marines à GM-ES-1 durant la période prévue pour le forage d'exploration (d'après Girondot, 2010a)

Date	Densité en tortue luth (ind./400 km ²)	Densité en tortue verte (ind./400 km ²)	Densité en tortue olivâtre (ind./400 km ²)
15 janvier	< 0,010	< 0,01	0,1
15 février	0,070	0,15	0,1
15 mars	0,025	0,04	0,1
15 avril	0,027	0,05	0,1
15 mai	0,048	0,09	0,1

Les valeurs moyennes de densité par espèce et par mois sont représentées dans le **Graphique 3.42**.

Graphique 3.42. Densité moyenne des 3 espèces de tortues marines durant la période prévue pour le forage d'exploration (d'après Girondot, 2010a)



La répartition relative des espèces au cours de la période prévue pour le forage est variable. Sur les trois espèces, la tortue luth est la moins représentée.

La seconde conclusion tient au faible ou très faible nombre d'individus : on se situe à moins d'une tortue (toutes espèces confondues) pour 400 km², alors même que la période retenue inclut des phases de migration vers et depuis les plages de ponte du littoral guyanais.

3.2.1.5.4.4 - Conclusion sur la présence de tortues en mer

En conclusion, ces trois outils (survol, suivis télémétriques et modélisation) montrent :

- la faible à très faible présence de tortues à proximité du site de GM-ES-1,
- que les femelles des deux espèces de tortues (luth et olivâtre) équipées de balises n'ont pas été repérées à proximité du site,
- des densités légèrement variables, qui concluent à une densité très faible pour la période durant laquelle devrait avoir lieu le forage (janvier à mai).

3.2.1.6 - Avifaune marine et littorale

La Guyane est un territoire très riche en oiseaux, puisque les inventaires indiquent au moins 700 espèces présentes en Guyane à un moment de leur cycle de vie.

Une partie de l'avifaune fréquente le littoral ou le large, que ce soit toute l'année ou lors de migrations.

3.2.1.6.1 - Routes migratoires

Les principaux couloirs de migration passant par la Guyane sont figurés sur la **Figure 3.48**.

Figure 3.48. Routes migratoires de l'avifaune passant par la Guyane (GEPOG).

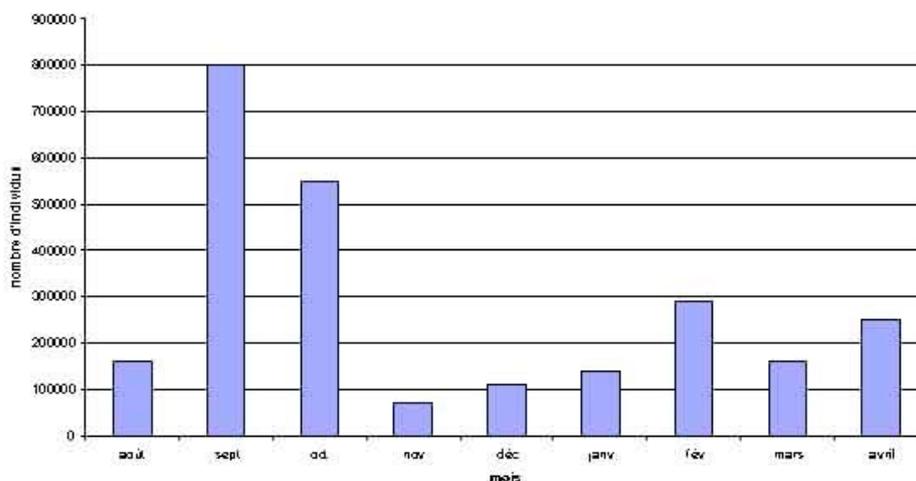


Ces routes migratoires sont empruntées par les oiseaux de l'hémisphère boréal qui vont passer l'hiver dans des régions au climat plus favorable (zone équatoriale ou tropicale sud).

On note parmi les espèces migratrices de nombreux passereaux, des Anatidés, des limicoles, quelques rapaces et des oiseaux marins.

Des observations réalisées par survol aérien ont permis d'évaluer la quantité d'oiseaux limicoles présents sur le littoral guyanais entre août 1995 et avril 1996. Les résultats des comptages effectués sont représentés sur le **Graphique 3.43**.

Graphique 3.43. Comptages d'oiseaux limicoles sur le littoral guyanais (GEPOG)



On observe un pic de présence en septembre et dans une moindre mesure en octobre. Ce pic correspond à la période postnuptiale. Le pic de présence correspondant à la période pré-nuptiale est plus étalé dans le temps et pourrait s'effectuer en deux vagues (février et avril d'après les comptages).

Ces comptages mettent en évidence en moyenne une centaine de milliers de limicoles sur le littoral guyanais.

3.2.1.6.2 - Données avifaunistiques au large de la Guyane

L'approche de l'avifaune du domaine pélagique guyanais est effectuée à la fois sur la base de la bibliographie et des observations de terrain, qui se généralisent.

A ce titre, on peut signaler le travail effectué dans le cadre de la mission Exocet. Cette campagne axée sur les cétacés de la Zone Economique Exclusive guyanaise, a permis de très nombreuses observations d'oiseaux du plateau, du talus et du domaine profond.

On doit citer également les données issues des survols et d'observations depuis les navires opérés par Tullow Oil (et sa filiale Hardman) dans le cadre de campagnes géophysiques en 2005, 2006, 2007, 2009 et 2010. Ces données couvrent en partie le plateau, le talus

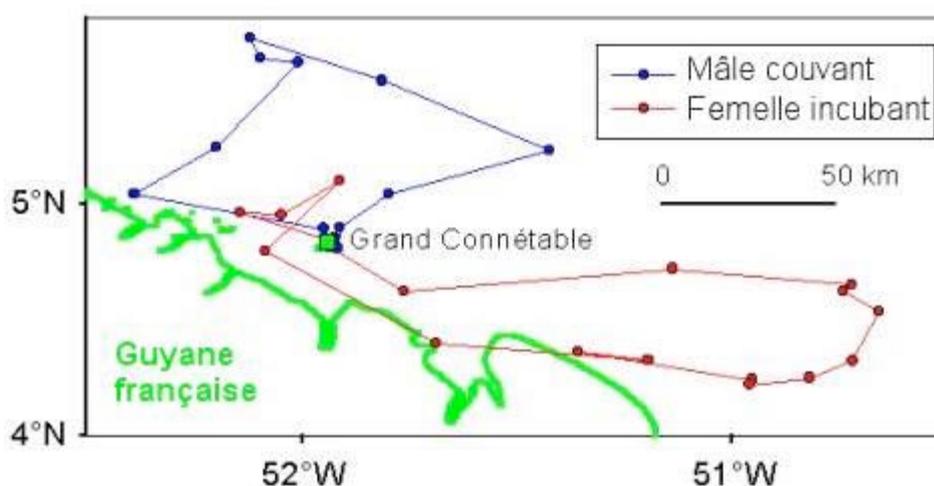
continental et le domaine profond. Lors d'une mission concernant la biodiversité du benthos du plateau continental guyanais, des observations d'avifaune ont été faites par Créocéan en 2009.

Il convient enfin de mentionner une campagne réalisée par le GEPOG en décembre 2008 (citée par Chevalier, 2010), incluant deux jours au-delà du plateau continental (les 13 et 14). Dix observations correspondant à 15 individus ont été reportées à 220-240 km au large de Kourou.

La **bibliographie** (Avibase, GEPOG) permet d'approcher la liste complète des espèces présentes au large de la Guyane. Les espèces potentiellement présentes dans la zone du projet sont des espèces pélagiques, mais aussi quelques espèces côtières.

Une étude menée par le Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CEBC) avait pour objectif de comprendre comment les frégates superbes adultes exploitaient les eaux tropicales, **en général relativement pauvres**, pour trouver leur nourriture et celle nécessaire au poussin. Des balises, installées sur des frégates superbes de l'île du Grand Connétable, ont mis en évidence des déplacements vers le large de ces oiseaux côtiers (cf. **Figure 3.49**). Ces résultats justifient de considérer certains oiseaux côtiers comme potentiellement présents en domaine pélagique guyanais.

Figure 3.49. Déplacements de frégates superbes de l'île du Grand Connétable (CEBC)



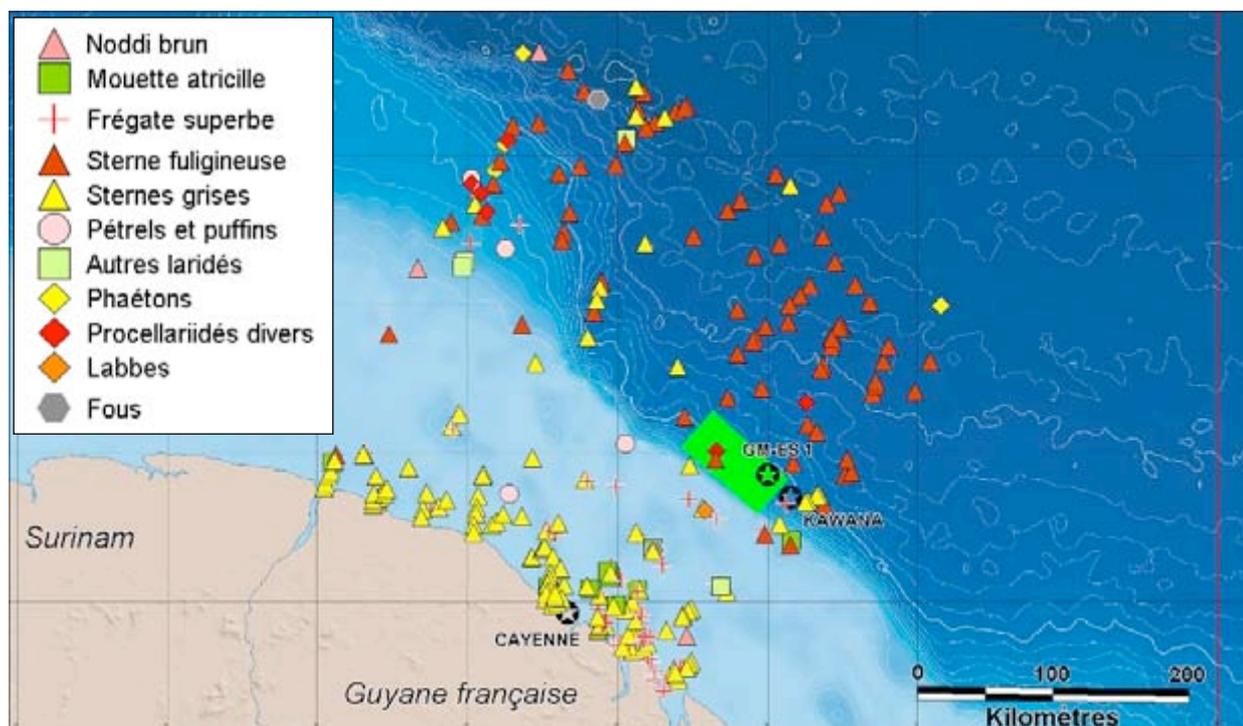
Des individus de la même espèce également équipés de balises ont été suivis durant les mouvements migratoires post-reproducteurs. Les oiseaux se sont déplacés le long des côtes de Guyane jusqu'aux îles de Trinité et Tobago. L'exploitation du domaine pélagique serait donc saisonnière pour cette espèce.

Des observations en mer rapportent également la présence à plus de 80 km des côtes d'une jeune frégate superbe et de sternes, profitant de l'embarcation pour se reposer (Ponge & Girondot, 2006). Notons également d'une jeune frégate superbe a été aperçue au large, à plus de 140 km des côtes au NNE du grand Connétable (Ponge & Girondot, 2006). Des mentions plus au large ont été signalées (Ponge, 2007, CRMM, 2009) à plus de 200 km au large du nord-ouest guyanais.

Quant à la présence de migrateurs sur la zone d'étude, elle devrait être limitée. En effet, les migrateurs nord-américains volent au-dessus des Petites Antilles et atteignent les rivages sud-américains au niveau du Venezuela. On doit noter cependant une mention d'un faucon crécerelle femelle qui est resté se reposer quelques heures sur un navire de géophysique en 2007 sur la zone de Matamata (Ponge, 2008), à 200 km des côtes.

Les observations d'oiseaux marins depuis 2005, au large de la Guyane sont illustrées sur la **Figure 3.50**.

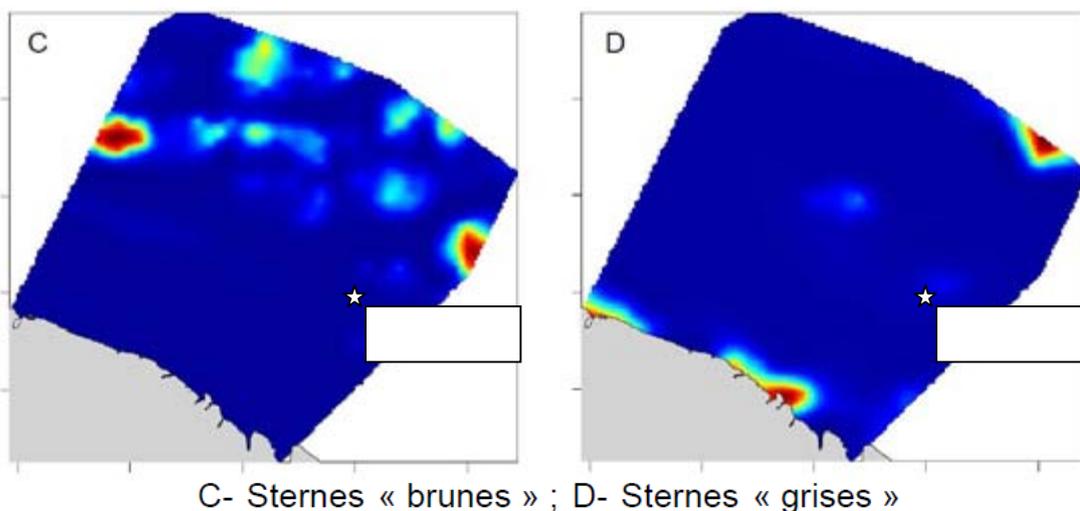
Figure 3.50. Avifaune marine observée au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, GEPOG, 2008, Ponge & Girondot, 2006, Ponge 2008)



On voit que la zone du large est principalement exploitée par les oiseaux pélagiques (sterne fuligineuse, Procellariidés), mais on note cependant la présence de quelques espèces plus littorales, comme les sternes « grises » et la frégate superbe.

Le CRMM a réalisé une modélisation de la répartition en mer des sternes brunes et des sternes grises, sur la base des résultats des survols réalisés en 2008 (**Figure 3.51**).

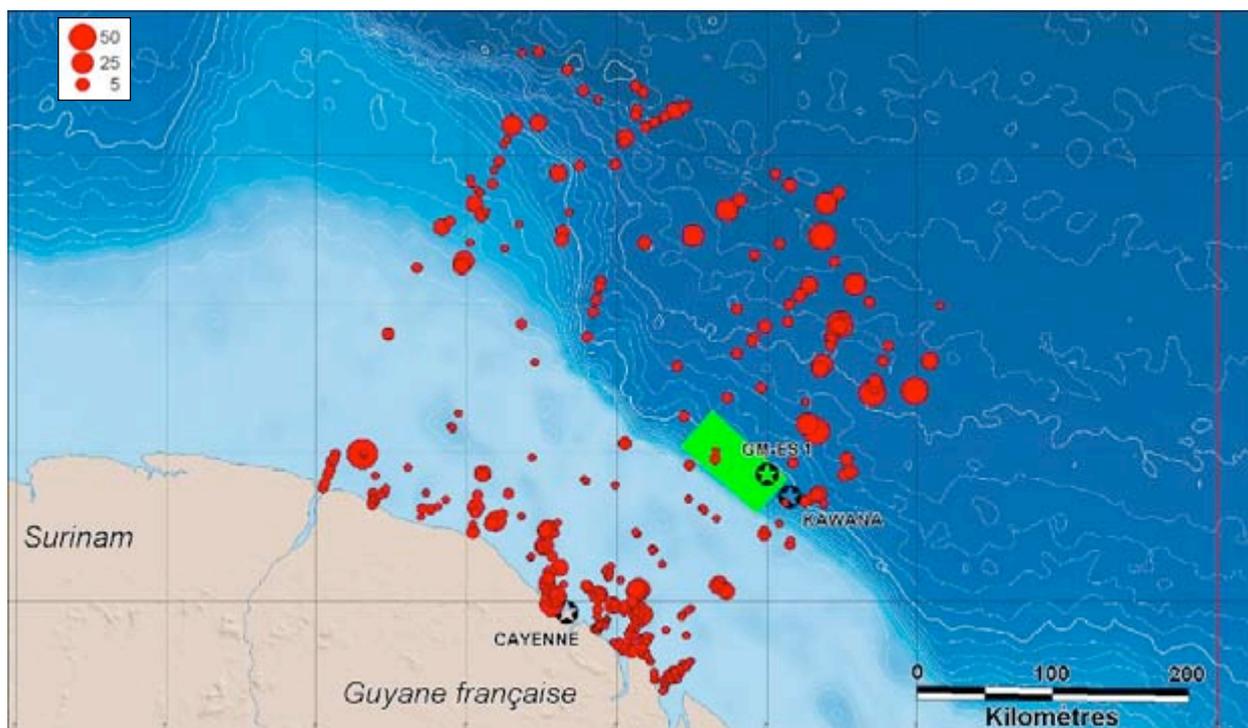
GM-ES-1 GM-ES-1
Figure 3.51. Répartition en mer des sternes brunes et grises (CRMM, 2009)



Le modèle indique aucune sterne brune et très peu de sternes grises pour GM-ES-1.

Les effectifs correspondant aux observations sont reportés en **Figure 3.52**.

Figure 3.52. Effectifs d'oiseaux observés au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, GEPOG, 2008, Ponge & Girondot, 2006, Ponge 2008)



Les données, acquises de manière non homogènes, semblent montrer quatre domaines distincts depuis le littoral vers le large :

- Une bande côtière (fonds inférieurs à trente mètres), avec de nombreux groupes d'oiseaux comportant souvent jusqu'à vingt individus,
- Le reste du plateau continental, avec très peu d'observations et des groupes à effectifs très faibles (moins de 5 individus),
- Le talus (100 à 2 000 m de hauteur d'eau), où les observations de groupes (de 1 à 12 individus) semblent plus fréquentes,
- Le domaine profond (au-delà de 2 000 m), avec des groupes relativement plus fréquents, et dont les effectifs varient entre 1 et 50 oiseaux.

La zone du projet semble héberger des groupes de petite taille (1 à 12 individus).

3.2.1.6.3 - Données acquises sur zone durant la campagne sismique de 2009

Un effort de prospection très important a été fourni lors de la campagne de sismique qui s'est déroulée en fin d'année 2009 et au début 2010. Le forage GM-ES-1 se situe dans la zone prospectée, proche de son coin nord-est (cf. **Figure 3.52**).

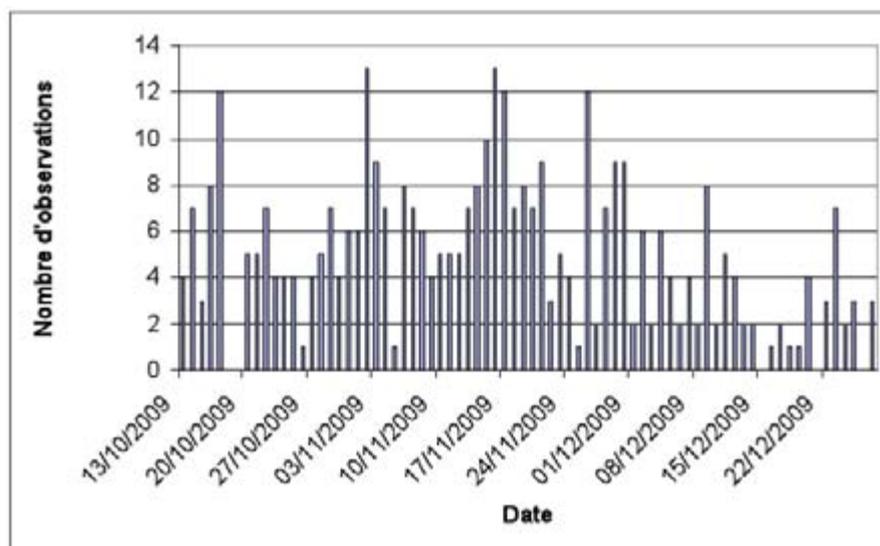
Les oiseaux présents sur la zone ont été décrits par des observateurs embarqués sur le navire de sismique Geo Caribbean (Chevalier, 2010, voir **Annexe 4**). La prospection était menée depuis une plate-forme située à plus de 20 m au-dessus de la mer, avec une visibilité de 360°, souvent de 6h à 18h30 chaque jour.

Compte tenu de l'ampleur de l'effort de prospection depuis le navire de sismique par rapport aux autres sources de données, il a été choisi de ne pas représenter les résultats en **Figures 3.50 et 3.52**. En effet, cela aurait créé une distorsion artificielle et aurait abouti à une surévaluation de l'intérêt avifaunistique de la zone qui a par ailleurs été couverte par les survols réalisés par le CRMM. Les résultats de cette prospection vont cependant être discutés dans ce paragraphe.

Observations

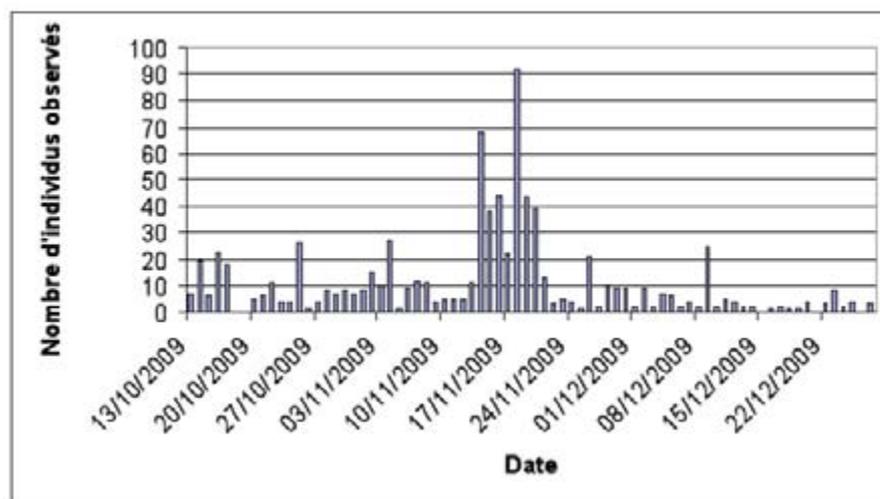
Du 13 octobre au 28 décembre 2009, 367 observations d'oiseaux, représentant plus de 763 individus, ont été réalisées. Cela correspond en moyenne à près de 6 observations et 13 oiseaux par jour. La taille moyenne des groupes est voisine de 2,1 oiseaux.

Graphique 3.44. Répartition du nombre d'observation d'oiseaux par jour lors de la campagne sismique de 2009 (Chevalier, 2010)



Dans le détail, on remarque que le nombre d'observations diminue à partir du 23 novembre 2009, date à laquelle les conditions de mer sur site se sont dégradées.

Graphique 3.45. Répartition du nombre d'oiseaux par jour lors de la campagne sismique de 2009 (Chevalier, 2010)

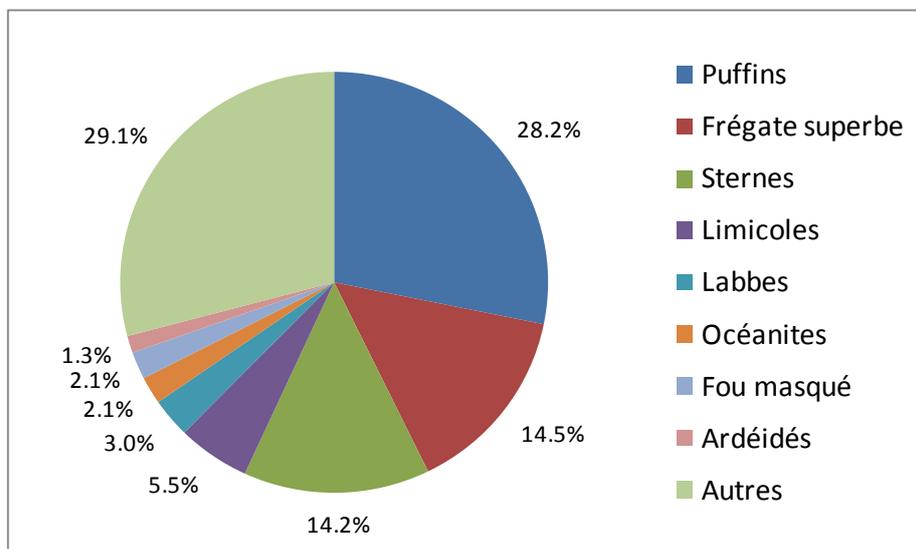


Le nombre d'oiseaux vus chaque jour apparaît assez hétérogène. En effet, du 14 octobre au 13 novembre, ce sont près de 10 oiseaux observés chaque jour, tandis que du 14 au 20 novembre, les relevés montrent en moyenne près de 50 individus chaque jour. Ce nombre diminue significativement par la suite, avec six oiseaux observés quotidiennement. J. Chevalier y voit peut-être l'influence du changement météorologique survenu le 18 novembre, jour à partir duquel les vents se sont renforcés sur le site.

Espèces et groupes d'espèces présents

L'identification des oiseaux fait apparaître 8 grands groupes, décrits en ordre décroissant des effectifs (**Graphique 3.46**).

Graphique 3.46. Répartition des oiseaux identifiés lors de la campagne sismique de 2009 (d'après Chevalier, 2010)



Les **puffins** constituent le groupe le plus représenté, avec 215 individus. Ce groupe d'oiseaux a été vu au cours de 52 journées sur les 59 qu'ont duré les observations. Des puffins de petite taille (dont le puffin des Anglais) et de grande taille (dont le puffin cendré) ont été identifiés, avec une légère prédominance pour les espèces de grande taille. Ces dernières ont surtout été observées lorsque les conditions météorologiques se sont dégradées, c'est-à-dire aux alentours de la mi-novembre.

Photo 3.4. Puffins présents sur la zone de GM-ES-1 (source: Chevalier)



Puffin des Anglais (J. Chevalier)



Puffin cendré (J. Chevalier)

La **frégate élégante**, oiseau côtier capable de longs déplacements pour trouver sa nourriture, est le deuxième groupe le plus observé, avec 111 individus. Elle a été vue en moyenne près d'un jour sur deux durant la présence des observateurs, avec une prédominance lorsque les conditions météorologiques étaient favorables (avant le 23 novembre).

Photo 3.5. Frégates superbes présentes sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier et Teixeira)



Frégate superbe mâle (J. Chevalier)



Frégate superbe femelle (X. Teixeira)

Les **sternes** ont représentées 108 individus. Les observateurs ont parfois pu identifier des sternes grises (16 individus) surtout côtières, et des sternes fuligineuses/ bridées (46 individus), plutôt océaniques. Comme pour les frégates superbes, l'essentiel des observations a eu lieu avant le 23 novembre. Trois groupes de plus de dix individus ont été notés.

Photo 3.6. Sternes présentes sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier et Teixeira)



Sterne à dos gris (J. Chevalier)



Sterne à dos noir (fuligineuse probable) (X. Teixeira)

Vingt-trois **labbes** ont été observés, appartenant au moins à trois espèces : grand labbe, labbe de McCormick et labbe pomarin. Il s'agissait principalement d'individus isolés (un seul groupe de deux individus). Le nombre d'observations est relativement constant, avec cependant un peu moins de signalements après le 3 décembre.

Photo 3.7. Labbe présent sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier)



Labbe de McCormick probable (J. Chevalier)

Des **limicoles**, oiseaux fréquentant le littoral, ont été observés au-delà du plateau continental, volant vers le sud-est. Les 42 individus observés appartiennent au moins à 7 espèces. Les signalements sont regroupés en quatre vagues :

- La principale, du 14 au 17 octobre, avec 27 individus (64% du total),
- Du 28 octobre au 3 novembre,
- Du 9 au 15 novembre,
- Le 23 novembre.

Cette présence est manifestement en lien avec les mouvements migratoires de ces espèces (cf. **Graphique 3.43**).

Photo 3.8. Limicoles présents sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier)



Pluvier argenté (J. Chevalier)



Bécasseau sanderling (J. Chevalier)

Des **océanites**, petits oiseaux pélagiques, des deux espèces présentes au large de la Guyane ont été identifiés lors du suivi, pour un total de 16 individus. Il s'est agi à chaque fois d'oiseaux isolés, vus à partir du 23 novembre.

Photo 3.9. Océanite présent sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier)



Océanite de Wilson (probable) (J. Chevalier)

La présence de **fous masqués** a été mise en évidence lors de la campagne sismique. Cette espèce pélagique n'avait jamais été décrite en Guyane française jusqu'à lors. Sur les 16 individus observés, tous isolément, 11 étaient des immatures. Les observations se sont réparties du 3 novembre au 14 décembre de façon assez homogène.

Photo 3.10. Fou masqué présent sur la zone de GM-ES-1 (Source: Chevalier)



Fou masqué adulte bagué (J. Chevalier)

Les **ardéidés**, échassiers littoraux, constituent le dernier groupe identifié par Chevalier. Les dix individus observés appartiennent à trois espèces : aigrette garzette, aigrette neigeuse et héron garde-bœufs.

Photo 3.11. Aigrettes présentes sur la zone de GM-ES-1 (Source: Vines)



Aigrette garzette (J. Vines)



Aigrettes neigeuses (J. Vines)

Les autres individus regroupent à la fois des oiseaux dont l'espèce n'a pu être déterminée et des espèces en très petit nombre. Parmi celles-ci, on peut noter :

- Un phaéton, oiseau pélagique,
- Trois goélands et/ou mouettes et deux noddis bruns, oiseaux plutôt côtiers,
- Trois passereaux, un anatidé et un faucon pèlerin, oiseaux terrestres.

Conclusion des observations sur la zone de GM-ES-1

Une zone de 2 500 km² a été prospectée à des fins de sismique pétrolière sur la période septembre 2009 à février 2010, avec des interruptions dues à des avaries techniques. Le forage GM-ES-1 se trouve dans cette zone, près de son extrémité nord-est. Seuls les résultats de 2009 ont pu être analysés.

Chaque jour a donné lieu à au moins une observation. On relève sur la période du 13 octobre au 28 décembre **en moyenne 13 oiseaux par jour** (entre 1 et 92). La taille moyenne des groupes est voisine de 2,1 oiseaux, avec une majorité d'individus seuls et un maximum de trente individus pour un groupe de sternes le 20 novembre.

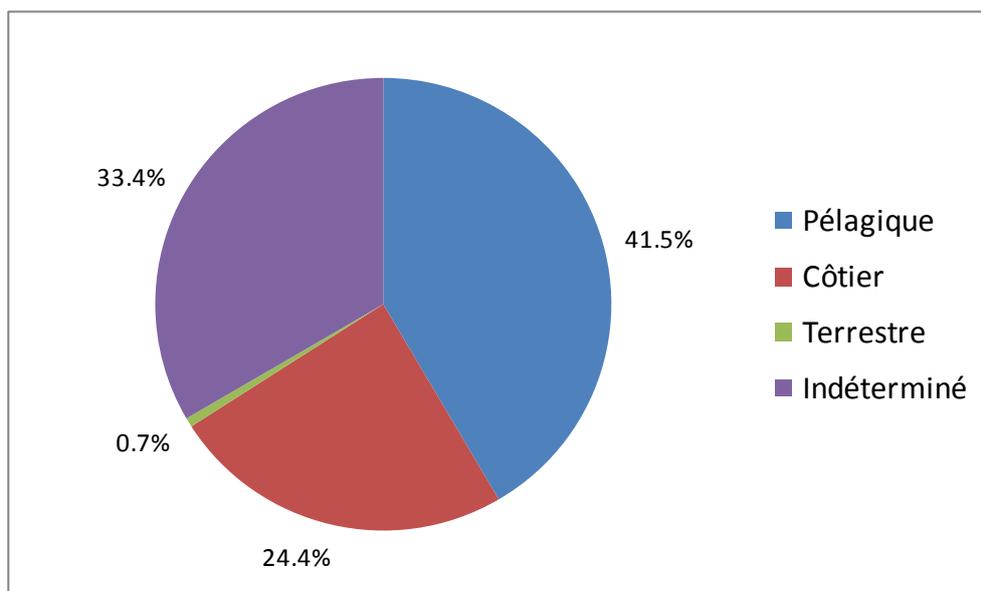
Tableau 3.22. Taille moyenne des groupes ou espèces d'oiseaux identifiés dans la zone de GM-ES-1 (d'après Chevalier, 2010)

Groupe ou espèce	Observations	Nombre d'individus	Taille moyenne des groupes
Puffins	132	215	1,6
Frégate superbe	69	111	1,6
Sternes	31	108	3,5
Limicoles	22	42	1,9
Labbes	22	23	1,0
Océanites	16	16	1,0
Fou masqué	16	16	1,0
Ardéidés	7	10	1,4
Autres	52	222	4,3

La taille des groupes est globalement en accord avec les données de CRMM, 2009 pour la zone de la campagne sismique et les alentours de Kawana.

La liste des espèces identifiées lors de la campagne sismique de septembre à décembre 2009 comporte 24 taxons certains ou probables. On retrouve dans cette liste les espèces décrites par le CRMM (septembre – octobre 2008) et Ponge (novembre – décembre 2005). **Ces 24 taxons sont des espèces pélagiques bien évidemment, mais aussi côtières et terrestres.** Par ailleurs, la présence de migrateurs est prouvée, alors que les routes habituellement décrites passent plus à l'ouest, au niveau de l'arc antillais.

Graphique 3.47. Répartition des oiseaux par grand type d'habitat (d'après Chevalier, 2010)



On remarque par ailleurs que lorsque les conditions météorologiques et d'état de mer se dégradent, les espèces plus côtières tendent à disparaître de la zone de GM-ES-1, au profit des oiseaux pélagiques. Sur une période de quatre mois, on met ainsi en évidence des modifications significatives de l'avifaune (espèces présentes et effectifs), en lien avec des phénomènes océanographiques et météorologiques, mais aussi avec des passages migratoires.

3.2.1.6.4 - Oiseaux susceptibles de fréquenter le domaine pélagique guyanais

Liste des espèces

Une liste d'oiseaux peut être établie à partir des considérations présentées ci-dessus et sur la base :

- des listes des espèces présentes en Guyane, pour les espèces côtières et dans quelques îles de petite taille, pour les oiseaux pélagiques (Barbade, Tobago, Atol dos Rocas, Fernando de Noronha, St-Pierre et St-Paul),
- du caractère marin et/ou ichtyophage de chaque espèce.

Cette liste a été séparée en deux afin de tenir compte du comportement dominant de chaque espèce : côtier ou pélagique. Le niveau de menace sur l'espèce est exprimé par le statut UICN 2010. Tous les oiseaux marins sont protégés en Guyane.

Tableau 3.23. Oiseaux côtiers potentiellement présents dans le domaine pélagique guyanais (Avibase, 2010, UICN, 2010)

Famille	Espèce	Nom scientifique	Statut Liste Rouge UICN 2010 ¹²
Pelecanidae	Pélican brun	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Préoccupation mineure
Fregatidae	Frégate superbe	<i>Fregata magnificens</i>	Préoccupation mineure
Pandionidae	Balbuzard pêcheur	<i>Pandion haliaetus</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Goéland à bec cerclé	<i>Larus delawarensis</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Goéland brun	<i>Larus fuscus</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Goéland d'Amérique	<i>Larus smithsonianus</i>	Non évalué
Laridae	Goéland dominicain	<i>Larus dominicanus</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Goéland marin	<i>Larus marinus</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Mouette atricille	<i>Larus atricilla</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Mouette de Franklin	<i>Larus pipixcan</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Mouette pygmée	<i>Larus minutus</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Mouette rieuse	<i>Larus ridibundus</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Noddi brun	<i>Anous stolidus</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Noddi noir	<i>Anous minutus</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Petite Sterne	<i>Sterna antillarum</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne à gros bec	<i>Phaetusa simplex</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne arctique	<i>Sterna paradisaea</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne argentée	<i>Sterna supercilialis</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne caspienne	<i>Sterna caspia</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne caugek	<i>Sterna sandvicensis</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne de Cayenne	<i>Sterna eurygnatha</i>	Non évalué
Sternidae	Sterne de Dougall	<i>Sterna dougallii</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne élégante	<i>Sterna elegans</i>	Quasi menacé
Sternidae	Sterne hansel	<i>Sterna nilotica</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne pierregarin	<i>Sterna hirundo</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne royale	<i>Sterna maxima</i>	Préoccupation mineure

¹² Le statut UICN peut s'apparenter à un statut juridique de l'espèce, qui peut être différent de son statut de conservation. Il existe des exemples d'espèces à très grande aire de répartition, présentant une taille de population importante et en augmentation, et qui ont pourtant un statut UICN « menacé »

Tableau 3.24. Oiseaux pélagiques potentiellement présents dans le domaine pélagique guyanais (Avibase, 2010, UICN, 2010)

Famille	Espèce	Nom scientifique	Statut Liste Rouge UICN 2010 (cf. note 12)
Diomedeiidae	Albatros à nez jaune	<i>Thalassarche chlororhynchos</i>	Menacé d'extinction
Procellariidae	Petit Puffin	<i>Puffinus assimilis</i>	Préoccupation mineure
Procellariidae	Pétrel de Bulwer	<i>Bulweria bulwerii</i>	Préoccupation mineure
Procellariidae	Puffin cendré	<i>Calonectris diomedea</i>	Préoccupation mineure
Procellariidae	Puffin d'Audubon	<i>Puffinus lherminieri</i>	Préoccupation mineure
Procellariidae	Puffin des Anglais	<i>Puffinus puffinus</i>	Préoccupation mineure
Procellariidae	Puffin majeur	<i>Puffinus gravis</i>	Préoccupation mineure
Hydrobatidae	Océanite à ventre noir	<i>Fregetta tropica</i>	Préoccupation mineure
Hydrobatidae	Océanite cul-blanc	<i>Oceanodroma leucorhoa</i>	Préoccupation mineure
Hydrobatidae	Océanite de Wilson	<i>Oceanites oceanicus</i>	Préoccupation mineure
Phaethontidae	Phaéton à bec jaune	<i>Phaethon lepturus</i>	Préoccupation mineure
Phaethontidae	Phaéton à bec rouge	<i>Phaethon aethereus</i>	Préoccupation mineure
Sulidae	Fou à pieds rouges	<i>Sula sula</i>	Préoccupation mineure
Sulidae	Fou brun	<i>Sula leucogaster</i>	Préoccupation mineure
Sulidae	Fou masqué	<i>Sula dactylatra</i>	Préoccupation mineure
Stercorariidae	Grand Labbe	<i>Stercorarius skua</i>	Préoccupation mineure
Stercorariidae	Labbe de McCormick	<i>Stercorarius maccormicki</i>	Préoccupation mineure
Stercorariidae	Labbe parasite	<i>Stercorarius parasiticus</i>	Préoccupation mineure
Stercorariidae	Labbe pomarin	<i>Stercorarius pomarinus</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Mouette de Sabine	<i>Xema sabini</i>	Préoccupation mineure
Laridae	Mouette tridactyle	<i>Rissa tridactyla</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Gygis blanche	<i>Gygis alba</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne bridée	<i>Sterna anaethetus</i>	Préoccupation mineure
Sternidae	Sterne fuligineuse	<i>Sterna fuscata</i>	Préoccupation mineure

Ces tableaux mettent en évidence la présence potentielle au large de la Guyane de deux espèces menacées au niveau mondial :

- la **sterne élégante** apparaît quasi menacée du fait d'une prédation sur les œufs. A noter également les dérangements sur les aires de nidification, la dégradation de leur habitat déjà peu étendu, et les changements climatiques qui ont réduit le nombre de colonies (BirdLife International, 2010),
- l'**albatros à bec jaune** est menacé d'extinction, du fait de la pêche à la palangre dans l'hémisphère sud, à l'instar de la plupart des albatros. De très nombreux individus sont attirés par les appâts des palangres et se font prendre par les hameçons. Cette mortalité a pour conséquence une chute des effectifs de cet oiseau qui ne pond qu'un œuf par an. Cet albatros compte entre 55 000 et 83 200 individus au niveau mondial. Ses colonies reproductrices se trouvent sur l'île de Gough et dans l'archipel de Tristan da Cunha, dans l'Atlantique sud. Son aire de répartition s'étend à l'ensemble de l'Atlantique sud (BirdLife International, 2010). Il est parfois rencontré hors de cette aire de répartition, jusqu'en Amérique du Nord et en Norvège : ce sont surtout des individus non reproducteurs. Il est noté rare ou accidentel en Guyane (Avibase, 2010).

Photo 3.12. Albatros à bec jaune (Photo Gerra & Somazzi)



Saisonnalité de la présence

Les données nouvellement acquises sur la zone du forage GM-ES-1 peuvent permettre d'esquisser une répartition tout au long de l'année entre les espèces pélagiques, les espèces côtières et les espèces migratrices. En effet, les observations sur quatre mois (septembre à décembre 2009) ont bien montré l'influence du vent et de l'état de la mer sur les espèces présentes et le nombre d'individus, de même que le phénomène de migration.

- Phénomènes qui influencent la présence d'oiseaux sur le site

Les conditions de **houle** (cf. **Tableau 3.1**) ont pour effet de favoriser au niveau du site soit les espèces pélagiques (houle supérieure à 2 m), soit les espèces plutôt côtières (houle faible). Le nombre d'oiseaux est plus faible par forte houle que lorsque la mer est plate.

La direction du **vent** apparaît comme un facteur pouvant influencer le type d'espèces d'oiseaux. En effet, les vents ont soufflé du sud-est (vent de terre) jusqu'au début octobre, ce qui est favorable à la présence d'oiseaux côtiers, puis ont tourné à l'est et au nord-est à la mi-novembre, date à laquelle les grands puffins, oiseaux pélagiques, ont commencé à fréquenter le site. La direction des vents pour chaque mois sera tirée de l'étude FUGRO GEOS Ltd, 2005.

Quant aux **mouvements migratoires**, les dates s'appuieront sur les données du GEPOG sur les limicoles (cf. **Graphique 3.43**).

La teneur en **nutriments dans l'eau de mer** pourrait également entrer en ligne de compte. En effet, les eaux du large sont globalement pauvres en nutriments (cf. **§ 3.1.4.5**), donc peu propices à la mise en place d'une chaîne alimentaire dont les oiseaux seraient parmi les prédateurs. Cependant, les survols récents (Girondot, comm. pers.) ont montré la présence d'eaux turbides (en provenance de l'Amazone) et probablement riches en nutriments au niveau du site de mai/juin à novembre, avec de nombreux prédateurs dont les cétacés. Ceci corrobore les résultats concernant la saisonnalité des teneurs en chlorophylle-a au niveau du site (cf. **Figures 3.20 et 3.21**).

- Intégration des résultats des survols mis en œuvre depuis septembre 2009

Une source d'information très importante sur la saisonnalité de la présence des oiseaux est liée aux survols qui ont eu lieu en septembre, octobre et décembre 2009, ainsi qu'en février, mars avril et mai 2010. La zone couverte correspond à une bande de 40 km de large (du rebord du plateau continental jusqu'à des fonds de 2 600 m) pour une longueur de plus de 140 km. Un exemple de trajet suivi en 2010 est donné en **Figure 3.53**.

Figure 3.53. Zone prospectée lors des survols en 2010 (Girondot, 2010c)



Les observations avaient pour rôle principal la détection des tortues et cétacés, mais la présence d'oiseaux et leur nombre ont été soigneusement consignés par les observateurs embarqués. Ceux-ci n'étant pas des ornithologues, aucune identification d'espèce ni même de famille n'a pu être réalisée. C'est donc l'aspect numérique relatif des observations qui va être utilisé pour la saisonnalité de la présence des oiseaux à proximité de GM-ES-1. Seules les données sur la zone au-delà du plateau continental seront valorisées ici.

Tableau 3.25. Nombre d'individus et taille moyenne des groupes d'oiseaux issus des survols menés au-delà du plateau continental entre septembre 2009 et mai 2010 (d'après Girondot & Russo, 2009a, b, c et Girondot, 2010c, d, e, f)

Mois	Superficie prospectée au-delà du plateau	Nombre de groupes	Nombre total d'oiseaux	Nombre d'oiseaux pour 400 km ²	Taille moyenne des groupes
Septembre	3432 km ²	2	2	0,2	1,0
Octobre	3654 km ²	6	24	2,6	4,0
Novembre	-	-	-	-	-
Décembre	3463 km ²	6	>9	>1,0	>1,5
Janvier	-	-	-	-	-
Février	2401 km ²	5	24	4,0	4,8
Mars	5800 km ²	15	18	1,2	1,2
Avril	2116 km ²	14	18	3,4	1,3
Mai	1419 km ²	18	41	11,6	2,3

Les résultats des survols au-delà du plateau continental, montrent, en termes d'avifaune, des différences :

- Le nombre de groupes, faible de septembre à février, augmente sensiblement à partir de mars,
- Le nombre d'oiseaux observés et la densité sont plus fluctuants, et voient leur maximum en mai,
- La taille moyenne des groupes au-delà du plateau continental est faible, entre 1,0 et 4,8 individus.

Pour les mois d'octobre et décembre, on peut tenter de comparer les résultats issus des observations depuis le Geo Caribbean pour les jours où ont eu lieu les survols. Les observations à partir du navire ont permis de détecter entre 3 et 6 fois plus de groupes qu'à partir de l'avion et 1,5 à 3 fois plus d'individus. Le temps d'observation à bord du navire étant 3,7 fois plus long que le temps de survol de la zone, le navire a permis proportionnellement de voir un peu plus de groupes et un peu moins d'individus que l'avion. Les différences n'apparaissent pas significatives, et on ne met pas en évidence un effet d'attraction notable du navire sur les oiseaux.

On peut également faire le lien avec les résultats du CRMM pour la période 28 septembre-12 octobre 2008. Sur la zone équivalente à celle survolée depuis septembre 2009, CRMM a identifié 7 groupes d'oiseaux pour un total de 27 individus en prospectant environ 1500 km². On voit que la taille moyenne des groupes est équivalente (3,9 pour CRMM et entre 1 et 4 pour Girondot & Russo). Pour septembre et octobre 2009, Girondot & Russo ont prospecté au total un peu plus de 7000 km² (soit près de 5 fois plus que le CRMM), et mis en évidence 8 groupes et 26 oiseaux. On peut donc remarquer que, proportionnellement, près de 5 fois plus d'oiseaux ont été détectés en septembre-octobre 2008 par rapport à 2009.

- Esquisse de la présence saisonnière des oiseaux au niveau du forage GM-ES-1

La hauteur de houle, la direction du vent mais aussi la teneur moyenne en chlorophylle (cf. **Graphique 3.34**), indice de la présence d'une chaîne alimentaire sur laquelle les oiseaux marins exercent une prédation sont utilisés pour proposer une esquisse de la présence saisonnière des oiseaux sur la zone du projet (voir **Tableau 3.26**).

Tableau 3.26. Esquisse de la présence des grands groupes d'oiseaux au cours de l'année sur GM-ES-1

Mois	Houle moyenne sur site	Direction moyenne du vent sur site	Teneur moyenne en chlorophylle dans les eaux de surface	Oiseaux pélagiques sur site	Oiseaux côtiers sur site	Oiseaux migrateurs sur site
Janvier	2,3	NE	< 0,5 mg/m ³			
Février	2,4	NE	< 0,5 mg/m ³			
Mars	2,2	NE	< 0,5 mg/m ³			
Avril	2,1	ENE	0,5 à 1,5 mg/m ³			
Mai	1,9	ENE	1,5 à 2,5 mg/m ³			
Juin	1,6	E	> 2,5 mg/m ³			
Juillet	1,3	E	> 2,5 mg/m ³			
Août	1,2	ESE	> 2,5 mg/m ³			
Septembre	1,3	ESE	1,5 à 2,5 mg/m ³			
Octobre	1,4	ESE	0,5 à 1,5 mg/m ³			
Novembre	1,8	E	0,5 à 1,5 mg/m ³			
Décembre	2,2	ENE	0,5 à 1,5 mg/m ³			

Absence	Présence très faible	Présence faible	Présence moyenne

Les oiseaux pélagiques auraient ainsi une présence moyenne sur le site de novembre à mars (période de vent d'est, ENE ou NE) et une présence faible d'avril à octobre.

Les oiseaux côtiers seraient surtout présents lorsque la houle moyenne est inférieure à 2 m, ce qui correspond à des vents provenant de l'est ou du SE et à des eaux ayant des teneurs faibles à moyennes en nutriments.

Les migrateurs seraient présents de février à avril et en septembre et octobre.

Cette esquisse, appliquée à la période de **janvier à mai**, durant laquelle les opérations de forage pourront avoir lieu, prévoit :

- Un nombre moyen d'observations (groupes) pour 400 km² voisin de 2 par jour en janvier et février, essentiellement des oiseaux pélagiques, et un nombre moyen d'individus de l'ordre de 5 à 10 oiseaux par jour pour 400 km²,
- Une moyenne de 5 groupes d'oiseaux et 6 individus par jour pour 400 km² en mars et avril, avec surtout des oiseaux pélagiques et éventuellement quelques migrateurs,
- Pour mai, un nombre identique de groupes (5 à 6) mais deux fois plus d'individus (12 par jour pour 400 km²).

Conclusion

La zone d'étude peut accueillir potentiellement jusqu'à une cinquantaine d'espèces différentes au cours de l'année, auquel il faudrait ajouter des espèces migratrices, même si actuellement un peu plus de 20 ont été réellement identifiées. Seules deux espèces potentiellement présentes dans la zone du projet sont menacées au niveau mondial : la sterne élégante et l'albatros à bec jaune.

On observe une succession des espèces au cours de l'année, en fonction des conditions océano-météorologiques. Pour la période de janvier à mai, durant laquelle s'effectueront les opérations de forage, les nombres d'oiseaux attendus sont très faibles à faibles.

3.2.1.7 - Cétacés

3.2.1.7.1 - Bibliographie

Selon Carpenter, 2002, 29 espèces de cétacés sont potentiellement présentes dans les eaux guyanaises (Tableau 3.27).

Tableau 3.27. Cétacés potentiellement présents dans les eaux guyanaises et leur statut UICN (Carpenter, 2002, UICN, 2010)

Espèce	Nom scientifique	Statut Liste Rouge UICN 2010 (cf. note 12)
Petit rorqual	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Préoccupation mineure
Rorqual de Rudolphi	<i>Balaenoptera borealis</i>	Menacé d'extinction
Rorqual de Bryde	<i>Balaenoptera edeni</i>	Manque de données
Rorqual bleu	<i>Balaenoptera musculus</i>	Menacé d'extinction
Rorqual commun	<i>Balaenoptera physalus</i>	Menacé d'extinction
Baleine à bosse	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Préoccupation mineure
Cachalot	<i>Physeter macrocephalus</i>	Vulnérable
Cachalot pygmée	<i>Kogia breviceps</i>	Manque de données
Cachalot nain	<i>Kogia sima</i>	Manque de données
Mésoplodon de Blainville	<i>Mesoplodon densirostris</i>	Manque de données
Mésoplodon de Gervais	<i>Mesoplodon europaeus</i>	Manque de données
Ziphius	<i>Ziphius cavirostris</i>	Préoccupation mineure
Dauphin commun à bec large	<i>Delphinus capensis</i>	Manque de données
Dauphin commun à petit bec	<i>Delphinus delphis</i>	Préoccupation mineure
Orque pygmée	<i>Feresa attenuata</i>	Manque de données
Globicéphale tropical	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Manque de données
Dauphin de Risso	<i>Grampus griseus</i>	Préoccupation mineure
Dauphin de Fraser	<i>Lagenodelphis hosei</i>	Préoccupation mineure
Orque	<i>Orcinus orca</i>	Manque de données
Péponocéphale	<i>Peponocephala electra</i>	Préoccupation mineure
Faux orque	<i>Pseudorca crassidens</i>	Manque de données
Sotalie	<i>Sotalia fluviatilis</i>	Manque de données
Dauphin tacheté	<i>Stenella attenuata</i>	Préoccupation mineure
Dauphin de Clymène	<i>Stenella clymene</i>	Manque de données
Dauphin bleu et blanc	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Préoccupation mineure
Dauphin tacheté de l'Atlantique	<i>Stenella frontalis</i>	Manque de données
Dauphin longirostre	<i>Stenella longirostris</i>	Manque de données
Sténo	<i>Steno bredanensis</i>	Préoccupation mineure
Grand dauphin	<i>Tursiops truncatus</i>	Préoccupation mineure

Parmi ces 29 espèces, le **sotalie** (ou dauphin de Guyane) est observé tout le long des côtes et les petits estuaires guyanais (Bouillet, 2002). C'est une espèce diurne vivant en petits groupes dans les eaux saumâtres ou douces où il se nourrit de poissons et de crevettes. C'est un animal craintif, parfois observé en mer près des îles du Salut ou de Cayenne, mais qui est malheureusement victime des filets dérivants présents le long du littoral guyanais.



© Wurtz-Artescienza

L'utilisation de l'espace marin par les cétacés est très variable, depuis les fleuves jusqu'au domaine profond. La répartition spatiale (des fleuves vers le large) des différentes espèces de cétacés a été schématisée (cf. Schéma 3.1).

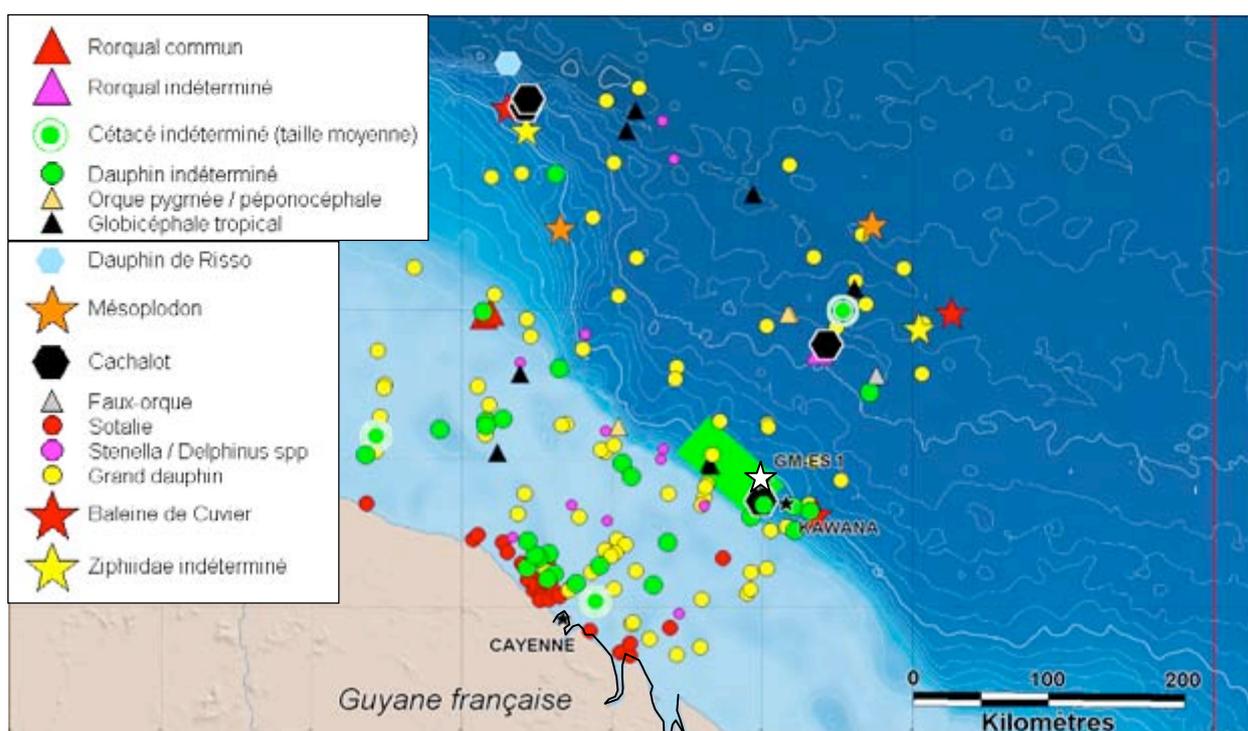
Schéma 3.1. Domaines de répartition des cétacés marins en Guyane (Créocéan, 2006)

<i>Balaenoptera borealis</i>	<i>Balaenoptera musculus</i> (hiver)
<i>Orcinus orca</i>	<i>Physeter macrocephalus</i>
<i>Balaenoptera physalus</i> (hiver)	<i>Mesoplodon europeaus</i>
<i>Feresa attenuata</i>	<i>Stenella attenuata</i>
<i>Kogia spp.</i>	<i>Stenella coeruleoalba</i>
<i>Stenella longirostris</i>	<i>Balaenoptera edeni</i>
<i>Stenella clymene</i>	<i>Peponocephala electra</i>
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	<i>Ziphius cavirostris</i>
	<i>Mesoplodon densirostris</i>
<i>Lagenodelphis hosei</i>	<i>Steno bredanensis</i>
<i>Stenella longirostris</i>	<i>Tursipos truncatus</i>
<i>Stenella frontalis</i>	<i>Stenella attenuata</i>
<i>Delphinus capensis</i>	<i>Sotalia fluviatilis</i>
	<i>Sotalia fluviatilis</i>

3.2.1.7.2 - Observations en mer entre 2005 et 2008

Les observations en mer réalisées depuis 2005 ont permis de mieux qualifier la présence de cétacés au large de la Guyane. Les contributions majeures sont celles du CRMM dans la cadre du programme Exocet, et celles de Girondot à l'occasion des nombreux suivis bateau et avion réalisés pour Tullow Oil et sa filiale Hardman Petroleum. Les observations sont reportées en **Figure 3.54**, sauf les données issues des campagnes mises en œuvre depuis septembre 2009, qui seront traitées et cartographiées séparément.

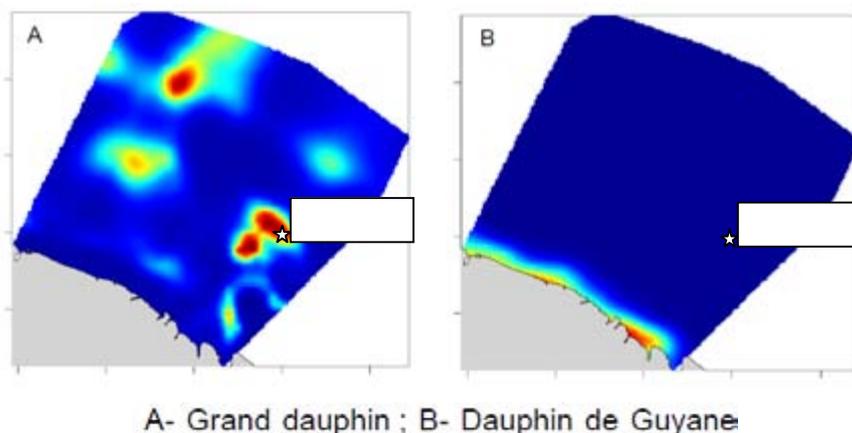
Figure 3.54. Espèces de cétacés observées au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, Girondot & Ponge, 2006, Ponge & Girondot, 2006)



Les espèces de grande taille n'ont été aperçues qu'au-delà du plateau continental. En revanche, les Delphinidés sont présents partout au large de la Guyane. La présence d'espèces emblématiques, comme le rorqual commun et le cachalot, est confirmée.

Le CRMM a réalisé une modélisation de la répartition en mer des grands dauphins et des sotalies (dauphins de Guyane), sur la base des résultats des survols réalisés en 2008 (**Figure 3.55**).

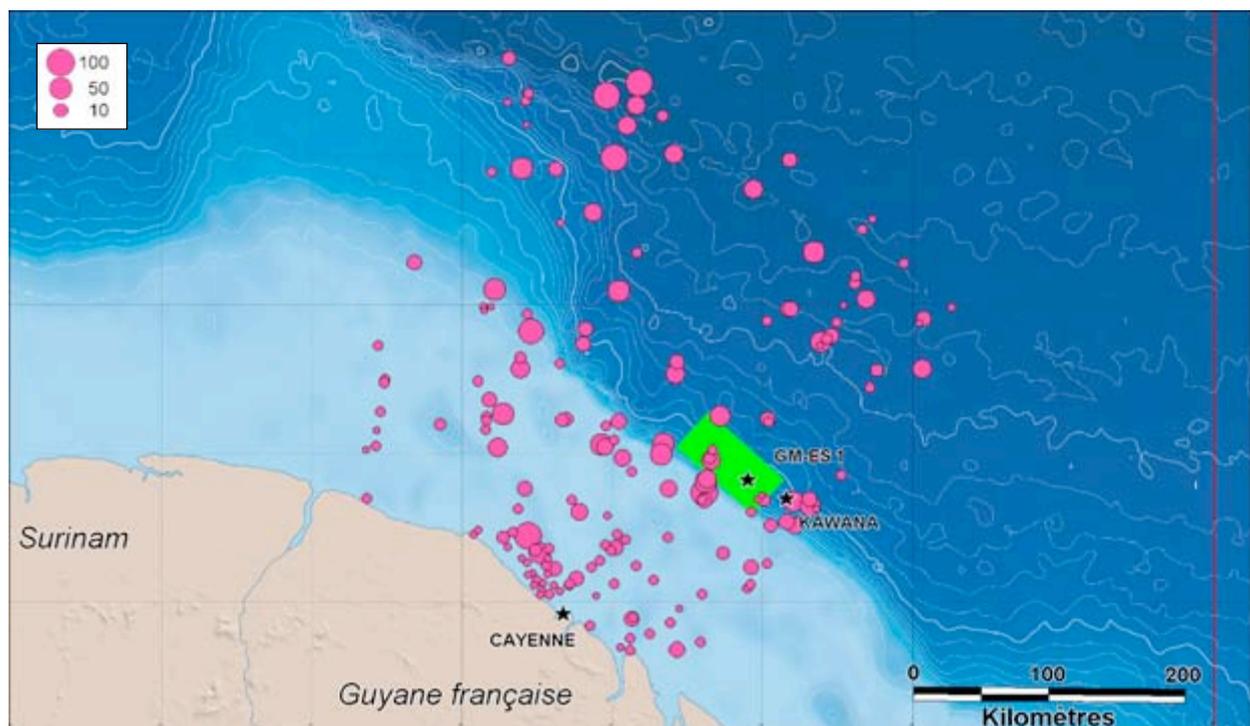
GM-FS-1 GM-ES-1
Figure 3.55. Répartition en mer de deux espèces de dauphins (CRMM, 2009)



La modélisation indique une présence de grands dauphins et une absence de sotalie dans la zone de GM-ES-1. La distribution du grand dauphin fait apparaître des taches qu'on ne retrouve pas dans la **Figure 3.56**. Ceci est sans doute lié à un lissage de faible amplitude de données d'observation peu nombreuses.

Pour ce qui est de la taille des groupes de cétacés, les effectifs observés sont repris en **Figure 3.56**.

Figure 3.56. Effectifs de cétacés observés au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, Girondot & Ponge, 2006, Ponge & Girondot, 2006)



Jusqu'à des hauteurs d'eau de trente mètres, le plateau continental est fréquenté par de nombreux groupes de petite taille, de 1 à 30 individus. De 30 à 100 m de hauteur d'eau, les groupes voient leurs effectifs augmenter, avec des comptages régulièrement supérieurs à 30 unités. Au-delà, pour le talus et le domaine profond, la densité globale des groupes diminue, avec des effectifs variant de 1 à 100 individus.

D'après le rapport du CRMM, « *la distribution des cétacés est relativement homogène sur toute la zone et les taux d'occurrence y sont relativement élevés. A titre comparatif, les taux d'occurrence pour les petits Delphinidés sont 7 à 8 fois supérieurs à ceux observés aux Antilles* ».

3.2.1.7.3 - Données acquises sur zone à partir du navire de sismique Geo Caribbean (2009-2010)

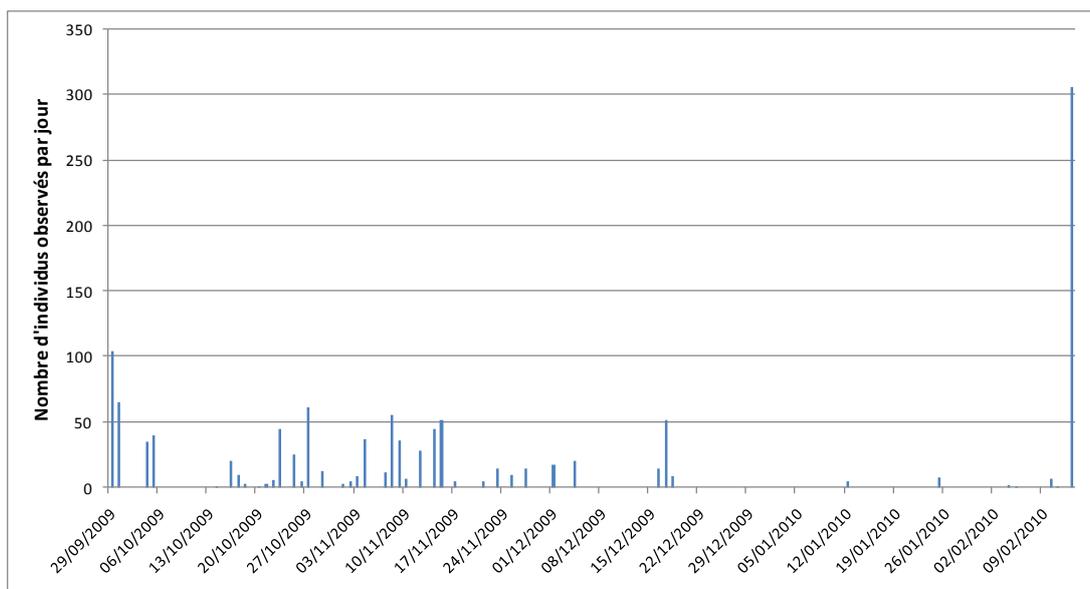
Lors de la campagne sismique qui s'est déroulée de septembre 2009 à février 2010, des observateurs étaient à bord du navire sismique Geo Caribbean. Depuis une plate-forme située à plus de 20 m au-dessus de la mer, avec une visibilité de 360°, toute présence de cétacé a été notée chaque jour, souvent de 6h à 18h30.

Compte tenu de l'ampleur de l'effort de prospection qui découle de ces observations, et afin de ne pas surévaluer l'intérêt de la zone vis-à-vis des espaces maritimes environnants, les données acquises n'ont pas été reportées sur la cartographie générale (**Figures 3.54 et 3.56**). Les observations réalisées de septembre 2009 à février 2010 vont cependant être analysées dans ce paragraphe.

Observations

Du 29 septembre 2009 au 13 février 2010, hormis quelques interruptions dues à des problèmes techniques (dont la plus longue a duré du 22 décembre 2009 au 4 janvier 2010), des cétacés ont été repéré **depuis le navire Geo Caribbean** durant 47 des 119 jours de la campagne sismique, totalisant 1 220 individus. Cela représente une moyenne de 10 cétacés par jour sur l'ensemble de la période, et de 26 individus pour les journées où au moins un cétacé a été aperçu (avec un maximum de 306 le 13 février 2010).

Graphique 3.48. Répartition des cétacés identifiés lors de la campagne sismique de 2009-2010 (d'après Girondot, 2010b)



On voit donc que des cétacés ont été aperçus 39,5% des jours. On remarque également que très peu d'observations ont eu lieu après le 18 novembre, jour où le vent a atteint pour la première fois une force de 5 Beaufort, avec changement de direction (vents provenant du NE). On ne peut pas *a priori* incriminer la méthodologie utilisée pour expliquer la diminution des observations, car, durant la même période, de nombreux oiseaux ont été repérés.

Espèces et groupes d'espèces présents

Girondot, 2010b distingue 15 groupes ou espèces de cétacés :

- Les Delphinidés indéterminés et le grand dauphin
- *Stenella longirostris*
- *Stenella attenuata*
- *Stenella clymene*
- *Stenella coeruleoalba*
- Le péponocéphale
- Le dauphin de Risso
- Le faux-orque
- L'orque
- Le globicéphale tropical
- Les globicéphales indéterminés
- La baleine de Cuvier
- Le cachalot
- Le rorqual commun
- La baleine à bosse

Les données antérieures (cf. **Figure 3.54**) faisaient état, à proximité de Kawana et de GM-ES-1, de cachalot, de faux-orque, de baleine de Cuvier, de dauphins indéterminés, de grands dauphins, de *Stenella* et de globicéphale tropical. Les autres espèces identifiées dans Girondot 2010b sont signalées également dans les données de la période 2005-2009 sauf l'**orque** (première mention avérée au large de la Guyane) et la **baleine à bosse**. On peut donc souligner la cohérence avec les données antérieures à proximité de GM-ES-1 et Kawana, acquises à peu près à la même saison (novembre-décembre 2005 et septembre-octobre 2008).

Les effectifs mensuels de chaque taxon (espèce ou groupe d'espèces) sont reportés dans le **Tableau 3.28**.

Tableau 3.28. Effectifs mensuels des cétacés identifiés lors de la campagne sismique de 2009-2010 (d'après Girondot, 2010b)

Taxon	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Total
Delphinidés	0	78	81	2	8	13	182
<i>Stenella longirostris</i>	0	132	10	49	0	300	491
<i>Stenella attenuata</i>	100	0	110	25	0	0	235
<i>Stenella clymene</i>	50	0	0	0	0	0	50
<i>Stenella coeruleoalba</i>	0	25	0	0	0	0	25
Faux-orque	19	3	9	0	0	0	31
Dauphin de Risso	0	17	10	0	0	0	27
Péponocéphale	0	0	50	20	0	0	70
Orque	0	0	5	0	0	0	5
Globicéphale tropical	0	10	46	18	0	0	74
Globicéphale indéterminé	0	0	5	0	0	0	5
Baleine de Cuvier	0	0	9	0	0	0	9
Cachalot	0	0	5	0	5	1	11
Rorqual commun	0	0	0	0	0	3	3
Baleine à bosse	0	2	0	0	0	0	2
Total	169	267	340	114	13	317	1220

Absence	<10	10 à 49	50 et plus

NB : septembre est tronqué dans la mesure où les observations sur zone ont débuté le 29.

NB : les 300 longirostres de février formaient un seul groupe.

Les effectifs sont significativement plus élevés de septembre à novembre, et semblent reprendre en février (mais attention, le total élevé est dû à un groupe de *Stenella*).

Novembre et octobre sont les deux mois où la diversité en cétacés est la plus élevée, avec respectivement 11 et 7 taxons. A l'opposé, on ne dénombre que deux taxons en janvier.

Parmi les espèces présentes, celles dont le statut UICN est le plus élevé sont le rorqual commun et le cachalot. Ces espèces sont décrites en novembre, janvier et février à proximité du site de forage.

Le rorqual commun est un cétacé des régions froides qui descend se nourrir et se reproduire en hiver dans les eaux subtropicales. Il regagne les eaux polaires pour y passer l'été. Le rorqual commun de l'hémisphère nord devrait donc être absent du site de forage de mars à septembre.

Les cachalots mâles ont un comportement assez similaire à celui du rorqual commun, tandis que les femelles et les jeunes pourraient rester dans les eaux tropicales, subtropicales et tempérées toute l'année.

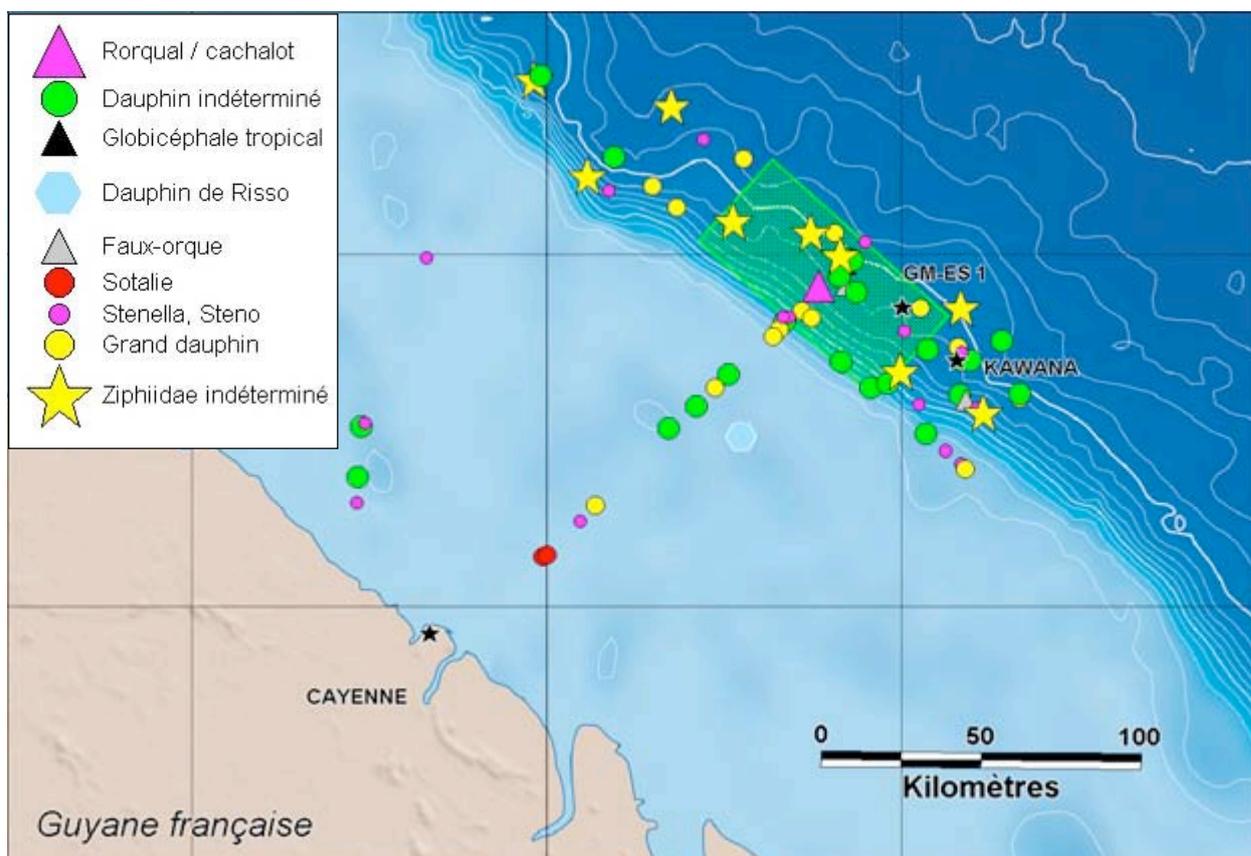
3.2.1.7.4 - Données issues des survols de septembre 2009 à mai 2010

Les survols effectués par l'équipe de Marc Girondot (Girondot & Russo, 2009a, b, c et Girondot 2010, c, d, e, f) entre septembre 2009 et mai 2010 ont pu être analysés. Leur but était double :

- Inventorier les vertébrés marins (poissons, tortues, oiseaux, cétacés) présents sur zone avant, pendant et après la campagne sismique de 2009,
- Déterminer, par analyse des résultats des survols, si la sismique a eu une influence perceptible sur la répartition des cétacés, du fait des sources acoustiques notamment,
- Déterminer la saisonnalité de la présence des cétacés dans des zones dont la hauteur d'eau est comparable à celle du projet de forage.

C'est l'identification des cétacés lors de ces survols qui va être ici analysée. Il a été choisi de ne pas reporter sur la **Figure 3.54** les résultats des survols 2009-2010. En effet, l'effort de prospection significativement plus élevé sur la zone du projet aurait exagéré l'intérêt de cette zone par rapport au reste du domaine maritime guyanais. La **Figure 3.57** regroupe l'ensemble des observations de cétacés durant les survols menés depuis septembre 2009.

**Figure 3.57. Cétacés observés grâce aux survols depuis septembre 2009
(d'après Girondot & Russo 2009, Girondot, 2010)**



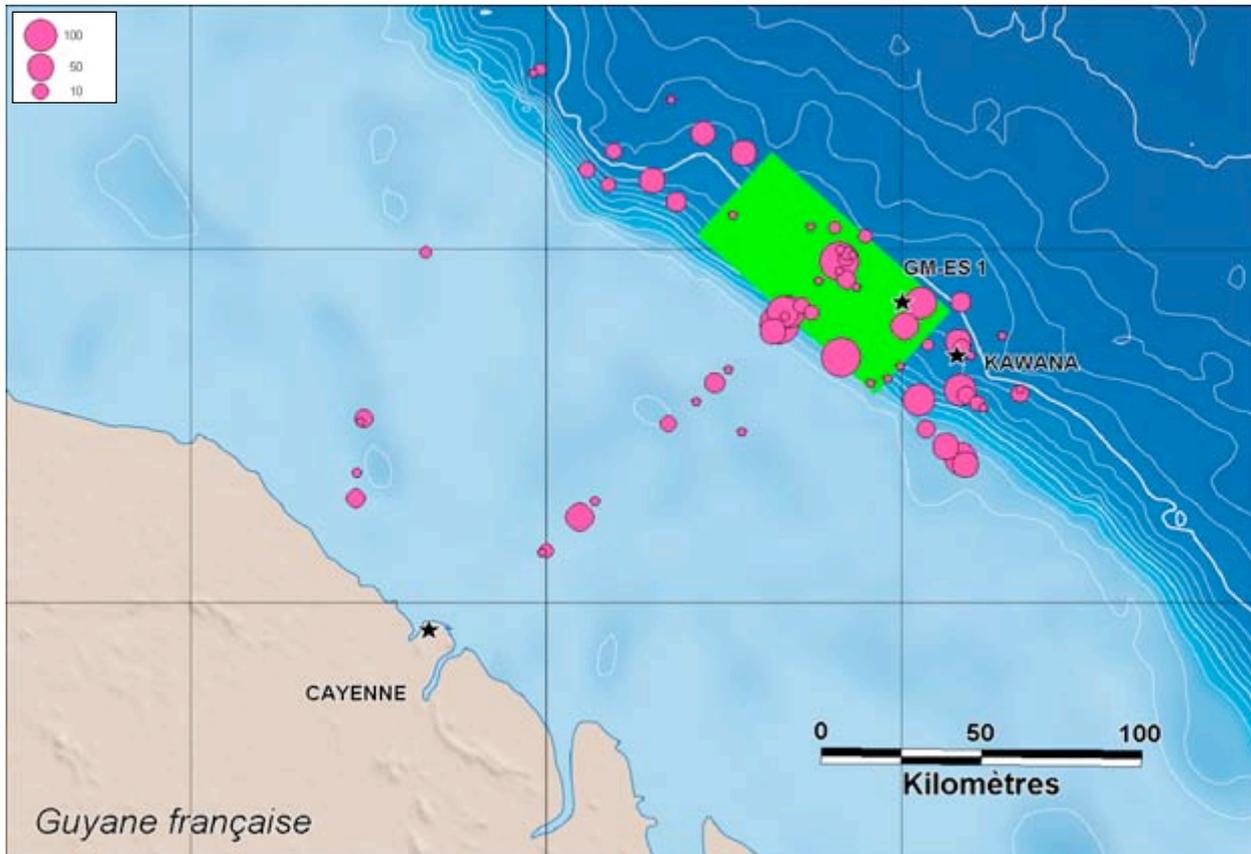
Neuf espèces ou groupes d'espèces ont été identifiés par l'équipe de Marc Girondot :

- Un rorqual ou cachalot,
- De nombreux groupes de dauphins indéterminés,
- Un groupe de globicéphale tropical (à 22 km au nord-ouest de GM-ES-1) dans une zone où de nombreux groupes ont été observés,
- Un possible dauphin de Risso sur le plateau continental,
- Deux groupes de faux-orques,
- Quelques sotalies (dauphins de Guyane) sur le plateau continental,
- Des dauphins *Stenella* et/ou *Steno*,
- Des grands dauphins,
- Des baleines à bec indéterminées (*Ziphius* ou *Mesoplodon*).

On remarque une grande similitude au niveau des espèces entre ces données et celles acquises par le CRMM un an plus tôt à la même période. Comme en 2008, la densité de groupes à l'est de GM-ES-1 est plus importante qu'à l'ouest du site de forage.

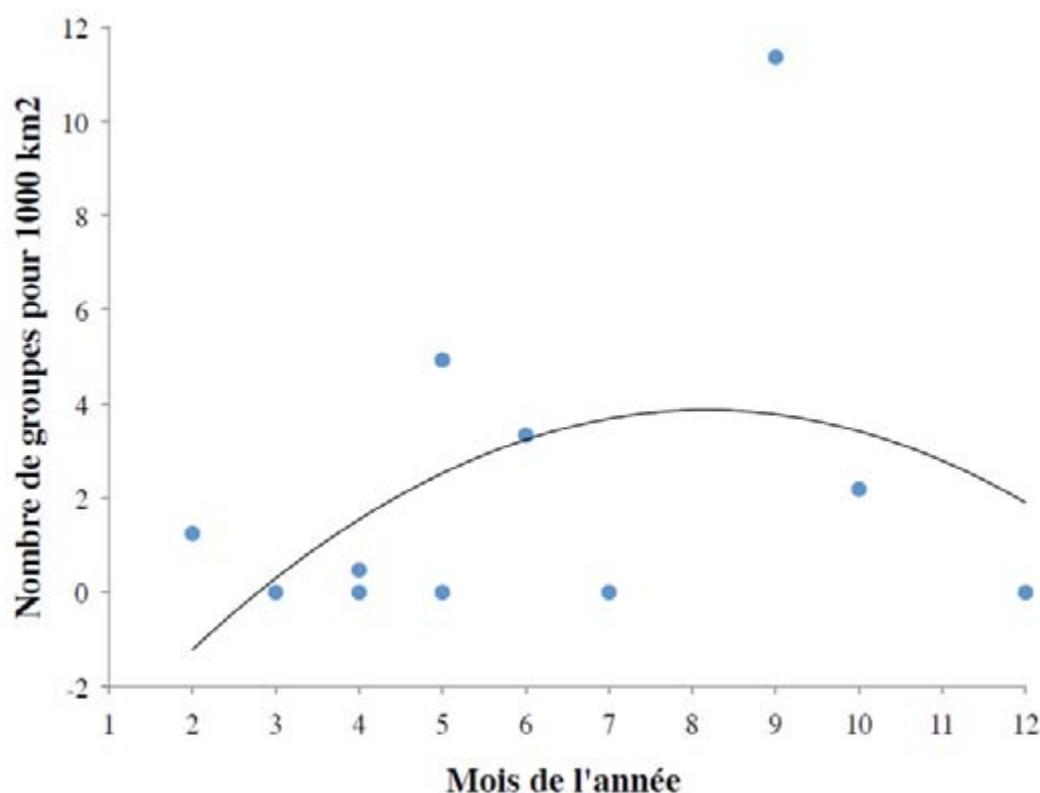
Le nombre d'individus identifiés par survols est fourni en **Figure 3.58**.

Figure 3.58. Effectifs de cétacés observés grâce aux survols depuis septembre 2009 (d'après Girondot & Russo 2009, Girondot, 2010)



Un autre point très intéressant, c'est la répartition des groupes de cétacés sur la zone du projet en fonction du temps. La saisonnalité de la présence des cétacés est bien marquée (**Graphique 3.49**).

Graphique 3.49. Densité des groupes de cétacés au-delà du plateau continental guyanais en fonction du mois de l'année (Girondot, 2010b)



De janvier à avril, on note très peu de groupes de cétacés (moins de 2 groupes pour 1000 km²). Les observations augmentent à partir de mai-juin pour culminer en septembre et retomber à une absence de groupes en décembre. D'après Girondot 2010b, « *l'origine de cette saisonnalité est très certainement à rechercher dans les caractéristiques océanographiques de la zone* », et notamment la présence d'eaux douces en surface, qui sont plus riches en nutriments. Ces eaux plus riches pourraient permettre le développement d'une chaîne alimentaire, dont les espèces qui constituent les proies des cétacés (calmars, poissons,...).

Le **Graphique 3.49** est en plein accord avec les résultats obtenus par les observateurs embarqués à bord du navire de géophysique Geo Caribbean (cf. **Tableau 3.28**).

La densité et la taille moyenne des groupes de cétacés sont reportées dans le **Tableau 3.29**.

Tableau 3.29. Nombre d'individus et taille moyenne des groupes de cétacés au-delà du plateau continental (d'après Girondot & Ponge, 2006, Girondot 2010b, c, d, e, f et Girondot & Russo 2009a, b, c)

Mois	Superficie prospectée au-delà du plateau	Nombre de groupes	Nombre total de cétacés	Nombre de cétacés pour 400 km ²	Taille moyenne des groupes
Septembre	3432 km ²	39	1507	175,6	38,6
Octobre	3654 km ²	8	364	39,8	45,5
Novembre	-	-	-	-	-
Décembre	3463 km ²	0	0	0,0	0,0
Janvier	-	-	-	-	-
Février	2401 km ²	3	31	5,2	10,3
Mars	5800 km ²	0	0	0,0	0,0
Avril	2716 km ²	1	3	0,4	3,0
Mai	2019 km ²	7	47	9,3	6,7
Juin	600 km ²	2	3	2,0	1,5

La densité de cétacés est très variable, avec des très fortes valeurs pour septembre, des valeurs fortes en octobre, puis des chiffres très faibles qui ont tendance à remonter en mai. Quant à la taille moyenne des groupes, elle est relativement élevée en septembre et octobre, puis faible à nulle de décembre à juin.

3.2.1.7.5 - Synthèse pour les cétacés au niveau du site de forage

La bibliographie et les nombreux suivis menés au large de la Guyane depuis fin 2005 permettent de définir une première liste des espèces présentes au-delà du plateau continental guyanais et une esquisse de leur densité au cours de l'année.

Espèces présentes

Une grande richesse en espèces et groupes de cétacés est constatée, avec pas moins de 15 espèces mises en évidence :

- Des espèces de taille proche de celle du dauphin, telles que le grand dauphin, quatre espèces de *Stenella* (*S. longirostris*, *S. attenuata*, *S. clymene* et *S. coeruleoalba*), le péponocéphale, le dauphin de Risso,

- Des espèces de taille moyenne, comme le faux-orque, l'orque, le globicéphale tropical, la baleine de Cuvier, le mésoplodon,
- Des grandes espèces, dont le cachalot, le rorqual commun, la baleine à bosse.

Les tailles de groupes sont très variables, allant d'individus isolés jusqu'à des groupes de 300 individus environ. Vingt-huit espèces de cétacés pourraient être présentes sur la zone d'étude à un moment de l'année (cf. **Tableau 3.27**, moins le sotalie qui est confiné au plateau continental).

Esquisse de la présence saisonnière des cétacés au niveau du forage GM-ES-1

Les données acquises par l'équipe de M. Girondot depuis 2005 (cf. **Tableau 3.29**) permettent d'esquisser la saisonnalité de la présence des cétacés sur la zone du projet (voir **Tableau 3.30**).

Tableau 3.30. Présence qualitative des groupes de cétacés au cours de l'année sur GM-ES-1

Mois	Présence des groupes de cétacés	Qualification
Janvier		Quasi-absence
Février		Quasi-absence
Mars		Quasi-absence
Avril		Quasi-absence
Mai		Faible à moyenne
Juin		Faible à moyenne
Juillet		Faible à moyenne
Août		Faible à moyenne
Septembre		Moyenne
Octobre		Moyenne
Novembre		Moyenne
Décembre		Faible

Densité				
Groupe/1000 km ²	<1	1 à 2	2 à 3	> 3

Les données collectées autour du site de forage tendent à montrer une quasi-absence de cétacés de janvier à avril, une présence faible de mai à août, une présence moyenne à forte sur les mois de septembre à novembre et enfin une présence très faible en décembre. Cette présence relative peut être mise en parallèle avec la saisonnalité de la concentration en chlorophylle-a sur la zone (cf. **Graphique 3.34**). Elle pourrait être en relation avec la disponibilité alimentaire sur le site.

Pour la période durant laquelle le forage pourrait avoir lieu (de janvier à mai 2011), les cétacés devraient être quasiment absents jusqu'en avril et avoir une présence faible à moyenne en mai.

3.2.1.8 - Siréniens

Le lamantin (*Trichechus manatus*) est un mammifère herbivore que l'on rencontre le long des côtes et dans les grands estuaires guyanais. Cette espèce protégée en Guyane est mentionnée sur la **Liste Rouge de l'UICN** comme étant **vulnérable**.

Photo 3.13. Lamantins (Photo Bateman, 1987)



Il fréquente surtout les mangroves estuariennes de la plaine côtière, même s'il est parfois observé le long de rivages rocheux (île de Cayenne, Kourou, Malmanoury). La plaine côtière de Guyane est représentée en **Figure 3.59** (Granville, 1986 *in* Spielberger, 2002).

Figure 3.59. Emprise de la plaine côtière en Guyane (Granville, 1986)



En Guyane française, l'habitat du lamantin est restreint en raison de la largeur réduite de la plaine côtière (par rapport au Guyana, au Surinam et à l'Amapá).

3.2.2 - Caractéristiques de la bande littorale

3.2.2.1 - Végétation littorale

La description de la végétation littorale est faite sur la base du Guide de la flore des bords de mer de Guyane française (Cremers & Hoff, 2003).

Ce guide distingue :

- la végétation halophile¹³ des rivages sableux,
- la végétation des rochers et rocailles littoraux,
- la végétation sur vases et les mangroves côtières.

3.2.2.1.1 - Végétation halophile des rivages sableux

La végétation halophile des rivages sableux est différenciée en plusieurs groupements :

- les groupements herbacés sur sables littoraux : relativement pauvres en espèces (64 dicotylédones, 13 monocotylédones et une fougère). Ces espèces rampantes à pouvoir colonisateur important permettent, par leur croissance très rapide, la fixation rapide des cordons sableux. Elles sont représentées principalement par des légumineuses (Fabacées, Césalpiniacées et Mimosacées), des Amaranthacées, des Euphorbiacées et des Cypéracées,
- les groupements arbustifs et les fourrés : plus riches en espèces (123 dicotylédones, 35 monocotylédones) typiques des milieux littoraux, mais provenant aussi des milieux anthropisés voisins. Ces groupements sont échelonnés, en fonction de la proximité de l'eau et des embruns. Le groupement à *Laguncularia racemosa* (palétuvier gris) est celui qui s'installe au plus près de la mer ; pionnier, il concourt à la fixation du littoral.

¹³ Halophile : qui croît naturellement sur des sols à forte teneur en sels

Photo 3.14. Végétation sur sables littoraux à Montjoly (Créocéen)



3.2.2.1.2 - Végétation des rochers et rocailles littoraux

Les quelques pointements rocheux du littoral (île de Cayenne, embouchure de l'Oyapock et pointe des Roches à Kourou) accueillent une flore très diversifiée (plus de 120 espèces) dans les crevasses. Les familles les mieux représentées sont les Fabacées, les Cypéracées et les Poacées. La présence d'une plante endémique à la Guyane française, *Cornutia pubescens*, et protégée à ce titre, est mentionnée sur l'île de Cayenne.

3.2.2.1.3 - Végétation sur vase

Les plantes pionnières sur les bancs vaseux sont le palétuvier gris (*Laguncularia racemosa*) en mélange avec les spartines *Spartina alterniflora* et *S. brasiliensis*. C'est sous le couvert du palétuvier gris que le palétuvier blanc (*Avicennia germinans*), premier stade de la mangrove, va se développer.

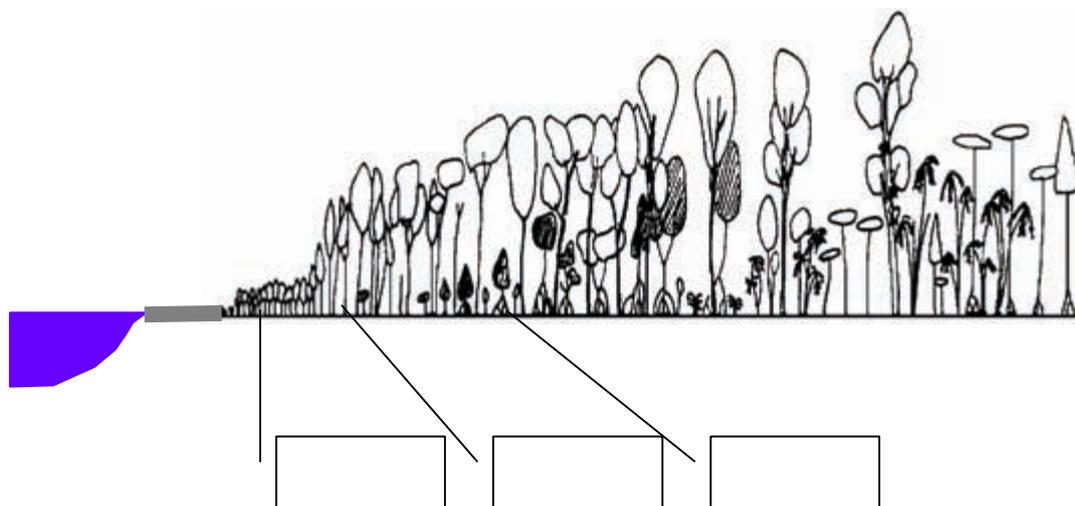
3.2.2.1.4 - Mangrove côtière

La flore des mangroves côtières apparaît assez pauvre. En Guyane, plusieurs types de mangroves sont présents (Fromard *et al*, 1998) :

Mer

- les mangroves pionnières, décrites au paragraphe précédent, qui se développent sur les bancs de vase nue,
- les mangroves jeunes qui se caractérisent par une augmentation de la taille des individus et une diminution de la densité, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* prend le pas sur *Laguncularia racemosa*,
- les mangroves adultes à *A. germinans* qui occupent les plus grandes surfaces en Guyane, souvent en peuplements monospécifiques ; ces mangroves déprissent souvent par exhaussement du terrain,
- les arrière-mangroves, caractérisées par le développement d'espèces de forêt marécageuses (dont les fougères *Acrostichum aureum* et *A. danaeifolium*) au côté des palétuviers.

Schéma 3.2. Etagement de la mangrove (D'après Lescure et Tostain, 1989)



3.2.2.1.5 - Cartographie des milieux de la bande littorale

Polidori *et al*, 1999 ont réalisé une cartographie des milieux du littoral guyanais à partir d'images satellites.

La décomposition en milieux reprend les grandes familles de milieux littoraux présentées ci-dessus et y ajoute des milieux terrestres de l'intérieur (comme la forêt dense).

La restitution retrouvée dans la bibliographie couvre une zone allant de l'embouchure du Sinnamary jusqu'à celle de l'Approuague. Il manque donc la partie ouest Maroni-Manaïracoubo et, à l'Est, la Pointe Béhague et l'estuaire de l'Oyapock (**Figure 3.60**).

Le milieu dominant sur la frange littorale est constitué par la mangrove et les vasières.

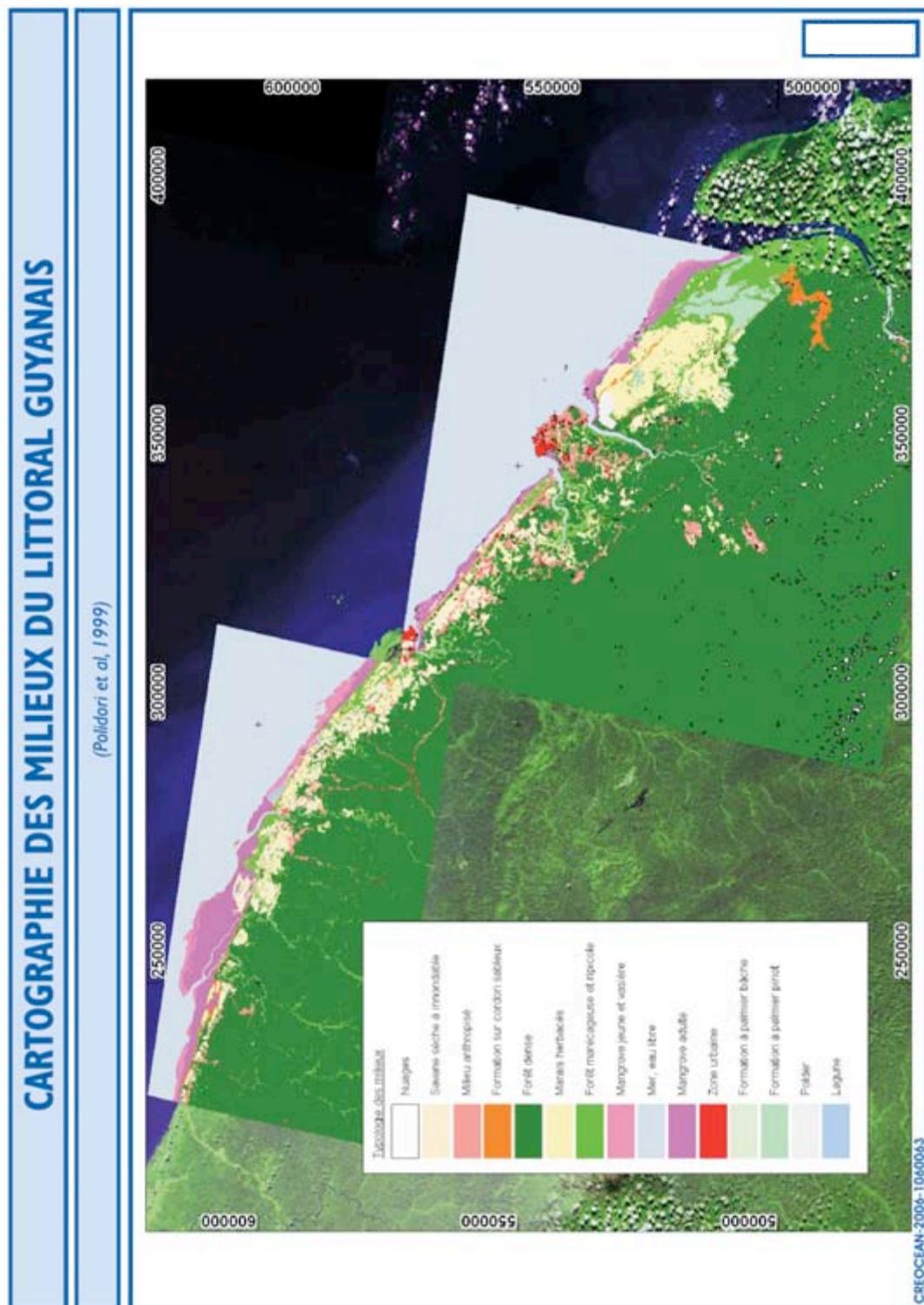
3.2.2.2 - Faune littorale

Les différents milieux de la bande littorale sont d'une richesse inégale : les savanes apparaissent par exemple beaucoup moins riches que les zones de marais. Celles-ci abritent de nombreuses espèces intégralement protégées en Guyane (caïman noir, tortues d'eau douce, échassiers, loutres, etc.).

Photo 3.15. Caïman noir et héron agami du marais de Kaw (Photos : Oiseaux de Guyane)



Figure 3.60. Cartographie des milieux du littoral guyanais (Polidori et al, 1999)



3.2.3 - *Espaces naturels protégés ou inventoriés de la zone d'étude*

3.2.3.1 - **Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Floristique et Faunistique**

Les ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Floristique et Faunistique) correspondent à un inventaire lancé à l'initiative du Ministère chargé de l'Environnement en 1982, avec l'appui du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (MNHN). Il a pour objectif de recenser les zones importantes de patrimoine naturel national, régional ou local.

On distingue :

- les ZNIEFF de type 2 : ce sont de grands ensembles naturels riches et peu modifiés, ou qui offrent des potentialités biologiques importantes. Ils constituent des zones de richesses naturelles plus diffuses et sont moins sensibles que les ZNIEFF de type 1,
- les ZNIEFF de type 1 : ce sont des secteurs de superficie limitée caractérisés par leur intérêt biologique remarquable, et qui constituent le plus souvent des portions de ZNIEFF de type 2.

Une première cartographie a été établie en 1992 sur la base de ces inventaires, ainsi que des listes d'espèces végétales et animales d'intérêt patrimonial.

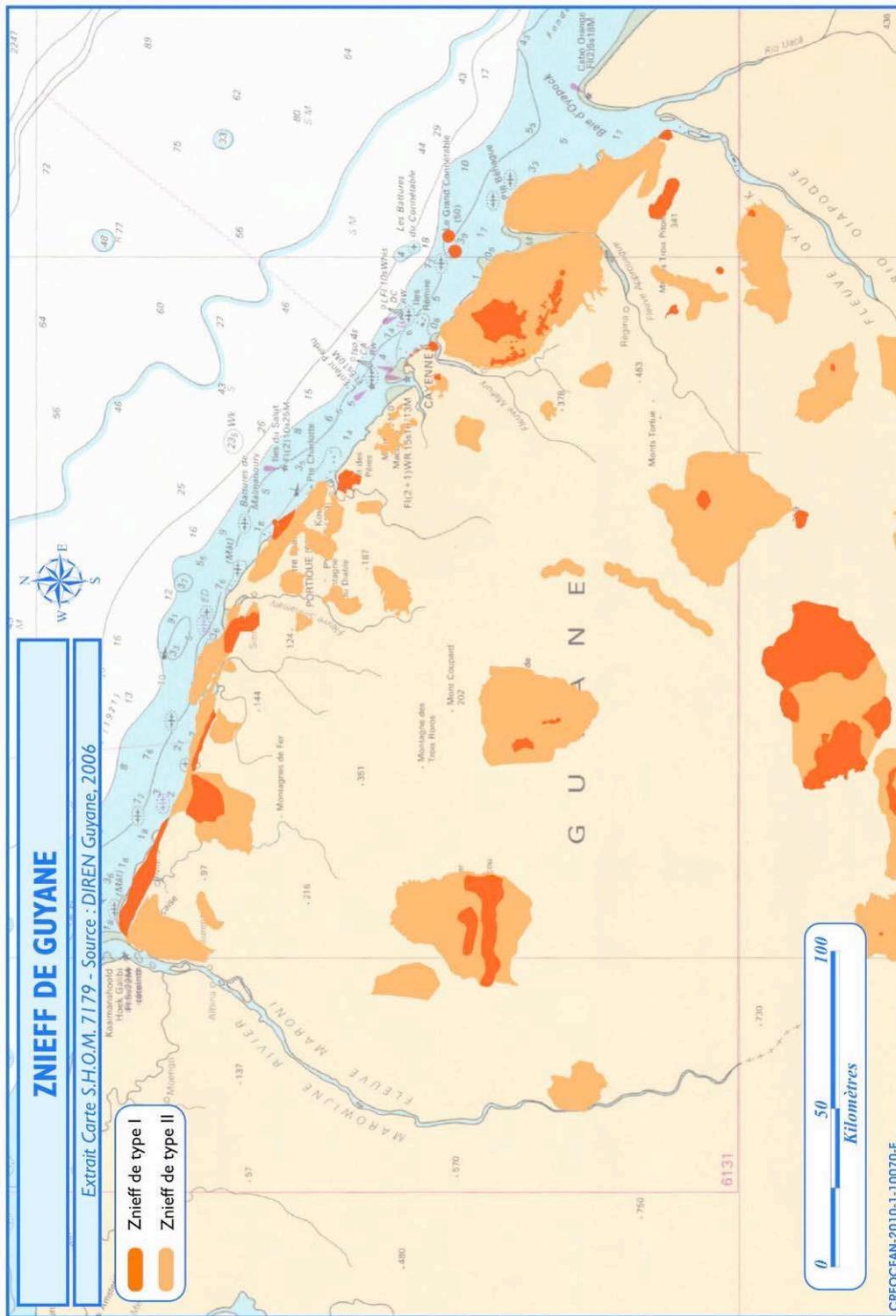
Ces listes comportent 703 espèces de plantes, 35 mammifères, 206 oiseaux, 206 poissons, 39 reptiles et 25 amphibiens. Un habitat patrimonial correspond à un milieu rare soit abritant une ou plusieurs espèces patrimoniales qui lui sont inféodées, soit particulièrement important pour le maintien de l'équilibre global d'un écosystème ; Une liste de 120 habitats patrimoniaux pour l'ensemble de la Guyane a été retenue par le CSRPN.

On compte actuellement 92 ZNIEFF en Guyane, représentant 15 790 km² pour l'ensemble des ZNIEFF de type II et 6 887 km² pour les ZNIEFF de type I.

L'ensemble du littoral est inclus dans un périmètre ZNIEFF, hormis les centres urbains.

Les ZNIEFF du territoire guyanais sont représentées sur la **Figure 3.61**.

Figure 3.61. ZNIEFF de Guyane (DIREN Guyane, 2006)



3.2.3.2 - Zones d'Importance pour la Conservation des Oiseaux

Les **ZICO** (Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux) correspondent à un inventaire réalisé entre 1979 et 1991 par la Ligue pour la Protection des Oiseaux en lien avec les experts ornithologiques régionaux, à l'initiative du Ministère chargé de l'Environnement. Il découle de la mise en œuvre d'une politique communautaire de préservation de la nature : la Directive Oiseaux (Directive n° 79/409/CEE du 6/4/1979).

Bien que l'ensemble du littoral soit riche en avifaune, **aucune désignation de ZICO** n'a été recensée en Guyane.

3.2.3.3 - Sites Ramsar

La convention de Ramsar du 2 février 1971 relative aux zones humides d'importance internationale a été ratifiée par la France le 1er octobre 1986. Chaque partie contractante désigne les zones de son territoire à inscrire et s'engage à favoriser leur conservation. Début décembre 2004, on totalise 1 393 sites dans 142 pays du monde, soit une superficie d'un peu moins de 123 millions d'hectares (Source : IFEN).

Deux sites Ramsar ont été déclarés le 8 décembre 1993 (Source MEDD) :

- la Basse-Mana : le site est composé de cordons littoraux sableux, de marécages d'eau douce ou d'eau saumâtre, d'argiles marines, de vasières, de mangroves côtières à palétuviers blancs et gris et de forêts marécageuses. La richesse de la flore croît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte, inversement à la salinité. La région est connue au niveau international pour ses plages qui sont les lieux de nidification les plus importants au monde pour les tortues luths,
- les marais de Kaw et île du Grand Connétable : Le site des Marais de Kaw abrite plusieurs écosystèmes, des mangroves, des forêts marécageuses à palmiers « pinot » (pinotières), des prairies flottantes et des savanes marécageuses. Deux principaux cours d'eau traversent le marais : la rivière de Kaw et la crique Angélique. Au Nord, la zone inclut les îles du Petit et du Grand-Connétable. L'île du Grand Connétable, d'une superficie de 2,5 ha, est une petite émergence rocheuse où nidifient de nombreux oiseaux de mer. Seul site disponible pour accueillir ces espèces entre l'Orénoque et l'Amazone, l'île est d'un intérêt écologique international considérable.

3.2.3.4 - Réserves naturelles

Le classement en Réserve Naturelle est une autre mesure de protection qui peut s'appliquer aux espaces dont la faune, la flore, le sol ou bien encore les eaux, les fossiles ou gisements minéraux ou même le milieu naturel présentent un intérêt qui justifie sa préservation de toute nouvelle action anthropique susceptible de le dégrader. La réglementation d'une Réserve Naturelle police voire interdit les interventions sur le milieu concerné.

On compte 5 réserves naturelles en Guyane. Les réserves ayant au moins une partie littorale ou maritime sont les suivantes :

- le **Grand Connétable**, réserve créée en 1992 qui comprend deux îlets rocheux et un périmètre marin de 7 852 ha centré sur le Grand Connétable qui assure une zone de tranquillité autour de l'île. Le site accueille la nidification de six espèces d'oiseaux marins : la frégate superbe, la sterne de Cayenne, la sterne fuligineuse, la mouette atricille et le noddî brun,
- l'**Amana**, réserve créée en 1998 sur une superficie de 15 000 hectares. Son objectif essentiel est la protection des tortues marines, dont la tortue luth, qui viennent pondre sur le cordon dunaire. Le site, classé Ramsar, héberge également des mangroves et lagunes en perpétuelle évolution avec l'avancée des bancs de vase qui se déposent sur le littoral,
- les **marais de Kaw-Roura**, réserve créée en 1998 sur une superficie de 94 000 ha. Ils regroupent pour partie la zone Ramsar « Marais de Kaw » et la zone antérieurement protégée par un arrêté de biotope.

3.2.3.5 - Zones protégées à proximité du littoral

3.2.3.5.1 - Arrêtés de biotope

Trois arrêtés de biotope ont été pris à proximité du littoral guyanais. Il s'agit de :

- la forêt sur sables blancs de Mana, protégée depuis 1995, est la seule forêt de ce type encore bien conservée au niveau du Plateau des Guyanes sur cette formation géologique particulière. Elle présente, sur 29 000 ha, une richesse génétique à préserver, en raison de la présence du palmier à huile américain (*Elais oleifera*) et de nombreuses espèces endémiques,

- le Mont Grand Matoury, protégée depuis 1994, présente une forêt primaire sur sols profonds qui permet le développement de très gros arbres. Les espèces rares rencontrées sont un palmier (*Astrocaryum minus*), un batracien (*Atelopus flavescens*) et une rubiacée endémique,
- les monts de Cayenne, protégés depuis 1995. Leur intérêt est paysager, mais aussi au niveau de la biodiversité en domaine périurbain.

3.2.3.5.2 - Conservatoire du Littoral

Le Conservatoire possède plusieurs espaces le long du littoral guyanais, depuis la Pointe Isère à l'Ouest jusqu'à la Montagne d'Argent à l'Est en passant entre autres par les îles du Salut et les rivages de Cayenne.

3.2.3.6 - Parc naturel régional de Guyane

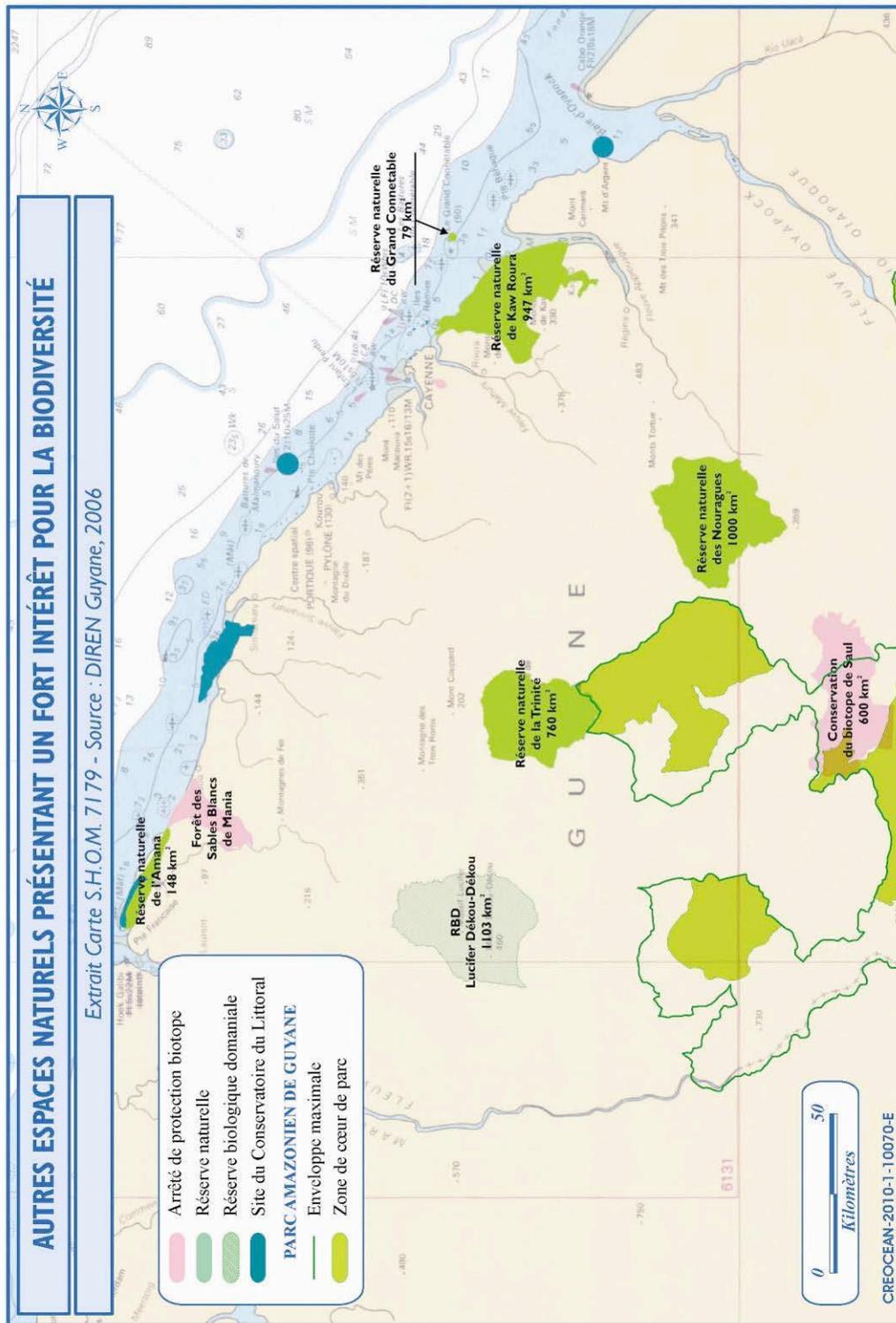
Créé en mars 2001, il comportait 360 000 ha répartis sur quatre communes (Awala-Yalimapo, Mana, Régina et Roura). Il comporte deux pôles géographiquement distincts : une zone autour de la réserve de l'Amana et l'autre autour des marais de Kaw-Roura. Dans cette configuration, il englobait originellement la totalité des deux sites Ramsar guyanais qui abritent une biodiversité exceptionnelle.

Le périmètre du PNR a été modifié depuis et ne porte plus à l'heure actuelle que sur les communes d'Awala-Yalimapo, Mana et Roura.

Le PNR a donc pour défi de participer à l'aménagement harmonieux du territoire tout en assurant la protection des zones humides et des zones forestières incluses dans son périmètre.

L'ensemble de ces périmètres présentant un fort intérêt pour la biodiversité est représenté en **Figure 3.62**.

Figure 3.62. Autres espaces naturels présentant un fort intérêt pour la biodiversité (DIREN Guyane, 2006)



3.2.3.7 - Site d'Intérêt Communautaire (réseau NATURA 2000)

NATURA 2000 est un réseau écologique européen destiné à préserver la biodiversité en assurant le maintien ou le rétablissement dans un état de conservation favorable des habitats naturels et habitats d'espèces de faune et de flore d'intérêt communautaire.

Le réseau NATURA 2000 sera composé de deux types de sites :

- les ZSC (Zones Spéciales de Conservation), ou pSIC (lorsqu'ils ne sont pas encore approuvés) relevant de la directive européenne n°92/43/CEE du 21 mai 1992 relative à la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages, dite Directive "Habitats",
- les ZPS (Zones de Protection Spéciale), relevant de la directive européenne n°79/409/CEE du 6 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages, dite Directive "Oiseaux".

Aucun secteur n'a été aujourd'hui défini en Guyane pour être proposé comme site d'intérêt communautaire (site NATURA 2000). Les critères d'identification des sites (listes d'habitats et d'espèces européens) n'apparaissent pas applicables aux habitats guyanais. A ce titre, aucune proposition de site d'intérêt communautaire n'a été faite en Guyane.

3.2.3.8 - Conventions internationales sur la faune sauvage marine applicable en Guyane française

Les textes de des conventions internationales protégeant la faune marine sont reproduits en **Annexe 6**. Un résumé en est fourni ci-dessous.

3.2.3.8.1 - *La Convention pour la protection et le développement de l'environnement marin dans la région des Caraïbes dite « Convention de Carthagène »*

Elle a autant pour objectif la protection de l'environnement que le développement. Cette convention et ses protocoles sont les signes de l'engagement juridique de ces pays à protéger, développer et gérer leurs ressources marines et côtières aussi bien par des mesures concertées que par des mesures nationales. Ces dernières, du fait de la configuration géographique de la zone des Caraïbes et du droit de la mer issu de la convention de Montego Bay de 1982, sont particulièrement importantes car l'essentiel de

l'environnement marin de la zone fait partie des zones économiques exclusives des pays riverains et est donc placé sous leur juridiction.

Adoption : le 24 mars 1983.

Nombre d'Etats Parties : 21 Etats de la Région sur les 28 concernés, ratifiée par la France le 13 novembre 1985.

Entrée en vigueur : le 11 octobre 1986.

3.2.3.8.2 - *Réserves de la France*

La première vise à éviter que les Parties instituent des interdictions de passage ou des procédures de notification préalable qui seraient contestées par la France et vis-à-vis desquelles l'Organisation maritime internationale serait mise devant le fait accompli. Selon cette réserve, « la France considère que les mesures prises par les Parties contractantes en matière de navigation maritime en application de l'article 5-2-c du protocole doivent être conformes aux règles et aux normes applicables établies par l'organisation internationale compétente visée à l'article 5 de la convention sur la protection et la mise en valeur du milieu marin des Caraïbes ».

La seconde réserve vise à éviter une extension de juridiction non reconnue par le droit de la mer en matière de fouille archéologique. L'article 303 de la Convention des Nations unies sur le droit de la mer ne donne compétence à l'Etat côtier en matière de réglementation sur les objets archéologiques que dans les espaces maritimes correspondant à la mer territoriale et à la zone contiguë (24 milles à partir des lignes de base). Le texte du protocole prévoit une extension de juridiction puisqu'il reconnaît aux parties un pouvoir réglementaire dans ce que l'on appelle la zone économique exclusive, plus large. La France a précisé qu'elle considérait que « l'article 5-2-i comme une application de l'article 303 de la Convention des Nations unies sur le droit de la mer et en particulier que les mesures éventuellement décidées par les Parties contractantes n'auront aucune conséquence sur la propriété des objets archéologiques ».

3.2.3.8.3 - Protocole relatif aux zones et à la vie sauvage spécialement protégées à la Convention pour la protection et la mise en valeur du milieu marin de la région des Caraïbes

Contenu : L'objectif de ce protocole est par la préservation d'écosystèmes complets et non seulement des espèces, de protéger la biodiversité marine de la région à des fins écologiques et économiques pour assurer un développement durable des pays riverains. Le protocole a pour particularité de prendre également en compte les zones terrestres associées y compris les bassins versants.

Adoption : Kingston (Jamaïque), le 18 janvier 1990.

Nombre de ratifications : 9.

Entrée en vigueur : le 18 janvier 2000 (France, le 5 mai 2002).

Commentaires : Les Etats de la région ont adopté à partir de 1991 les annexes sur les espèces requérant une protection. Ces dernières fixent des espèces de flore (annexe I) et de faune (annexe II) côtières et marines dont l'exploitation est interdite, et les espèces de flore et de faune dont les populations doivent être maintenues à un niveau « soutenable ».

3.2.3.8.3.1 - Tortues marines dans la convention

Toutes les tortues marines présentes en Guyane française sont citées en Annexe II de la Convention pour la protection et le développement de l'environnement marin dans la région des Caraïbes dite « Convention de Carthage »

3.2.3.8.3.2 - Cétacés dans la convention

Tous les cétacés sont cités dans l'annexe II de la Convention pour la protection et le développement de l'environnement marin dans la région des Caraïbes dite « Convention de Carthage ».

3.2.3.8.4 - Protocole relatif à la coopération en matière de lutte contre les déversements d'hydrocarbures dans la région des Caraïbes

Contenu : Conscientes que les activités relatives à l'exploration du pétrole, à sa production et à son raffinage, ainsi que son transport par mer, font peser sur la région des Caraïbes la

menace de déversements importants d'hydrocarbures, les parties sont résolues à éviter des dommages au milieu marin, y compris aux zones côtières, de la région des Caraïbes par l'adoption de mesures destinées à prévenir et combattre la pollution due à des déversements d'hydrocarbures.

Adoption : le 24 mars 1983.

Entrée en vigueur : le 13 novembre 1985

Zone d'application

La zone d'application de la Convention pour la protection et le développement de l'environnement marin dans la région des Caraïbes dite « Convention de Carthagène » et des protocoles associés sont définis dans le chapitre 2 de la convention. Il s'agit du milieu marin du golfe du Mexique, de la mer des Caraïbes et des zones de l'océan Atlantique qui lui sont adjacentes, au sud d'une limite constituée par la ligne des 30° de latitude nord et dans un rayon de 200 milles marins à partir des côtes atlantiques des Etats visés à l'article 25 de la présente Convention. On voit que la position de la Guyane française est clairement en dehors de la zone automatique d'application puisqu'elle se situe au niveau « des zones de l'Océan Atlantique qui lui sont adjacentes » (il convient de noter que le Surinam n'est pas signataire de cette convention).

Bien qu'il n'existe aucun texte officiel français qui définisse exactement la zone d'action de cette convention, toutes les discussions au Sénat et à l'assemblée ont clairement associé la Guyane au processus de ratification par la France de ce texte (cf. http://www.assemblee-nationale.fr/rapports/r3538.asp#P242_23644 et <http://www.senat.fr/seances/s200106/s20010619/sc20010619002.html>).

On notera cependant que l'inclusion de la Guyane relève plus d'une position politique pour faire entrer les trois départements français de l'Amérique au sein du groupe des pays Caraïbes que d'une logique biogéographique comme on aurait pu l'attendre.

3.2.3.8.5 - Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS)

Contenu : La convention de Bonn a pour objectif la conservation des espèces migratrices à l'échelle mondiale. La faune sauvage doit faire l'objet d'une attention particulière, en raison de son importance mésologique, écologique, génétique, scientifique, récréative, culturelle, éducative, sociale et économique.

Les parties à la convention reconnaissent l'importance de la protection des espèces migratrices, et affirment la nécessité de porter une attention particulière aux espèces dont l'état de conservation est défavorable.

Afin d'éviter qu'une espèce migratrice ne devienne une espèce menacée, les parties doivent s'efforcer:

- de promouvoir des travaux de recherche sur les espèces migratrices, de coopérer à ces travaux ou de les faire bénéficier de leur soutien;
- d'accorder une protection immédiate aux espèces migratrices figurant à l'annexe I;
- de conclure des accords portant sur la conservation et la gestion des espèces migratrices énumérées à l'annexe II.

Pour protéger les espèces migratrices menacées, les parties à la convention s'efforcent de:

- conserver ou restaurer l'habitat de l'espèce menacée;
- prévenir, éliminer, compenser ou minimiser les effets négatifs des activités ou des obstacles qui gênent la migration de l'espèce;
- prévenir, réduire ou contrôler, lorsque cela est possible et approprié, les facteurs qui menacent ou risquent de menacer davantage ladite espèce.

Les États faisant partie de l'aire de répartition (surfaces terrestres ou aquatiques qu'une espèce migratrice habite, traverse ou survole à un moment de sa migration) interdisent les prélèvements d'animaux d'espèces figurant à l'annexe I, sauf dérogations (prélèvement à des fins scientifiques, projet d'amélioration de l'espèce). Les dérogations doivent être précises quant à leur contenu, limitées dans le temps et l'espace et ne doivent pas se faire au détriment de l'espèce.

La conservation et la gestion des espèces énumérées à l'annexe II peuvent faire l'objet d'accords internationaux.

Adoption : à Bonn le 23 juin 1979, signée par la France 23 juin 1979.

Nombre de ratifications : 84.

Entrée en vigueur : 1er novembre 1983, puis 24 janvier 1986, pour la France 1er juillet 1990.

a) Tortues marines dans la convention

Toutes les tortues marines présentes en Guyane française sont citées à la fois en Annexe I et II de la convention.

b) Cétacés dans la convention

Les cétacés suivants sont cités en Annexe I de la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS) :

Physeter macrocephalus, *Platanista gangetica gangetica*, *Pontoporia blainvillei*, *Balaenoptera borealis*, *Balaenoptera physalus*, *Balaenoptera musculus*, *Megaptera novaeangliae*, *Balaena mysticetus*, *Eubalaena glacialis* (Atlantique Nord), *Eubalaena japonica* (Pacifique Nord), *Eubalaena australis*.

Les cétacés suivants sont cités en Annexe II de la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS) :

Physeter macrocephalus, *Platanista gangetica gangetica*¹, *Pontoporia blainvillei*, *Inia geoffrensis*, *Delphinapterus leucas*, *Monodon monoceros*, *Phocoena phocoena* (les populations de la mer du Nord et de la Baltique, la population de la partie occidentale de l'Atlantique Nord, la population de la mer Noire), *Phocoena spinipinnis*, *Phocoena dioptrica*, *Neophocaena phocaenoides*, *Phocoenoides dalli*, *Sousa chinensis*, *Sousa teuszii*, *Sotalia fluviatilis*, *Lagenorhynchus albirostris* (les populations de la mer du Nord et de la Baltique seulement), *Lagenorhynchus acutus* (les populations de la mer du Nord et de la Baltique seulement), *Lagenorhynchus obscurus*, *Lagenorhynchus australis*, *Grampus griseus* (les populations de la mer du Nord et de la Baltique seulement), *Tursiops aduncus* (les populations de la mer d'Arafura/de Timor), *Tursiops truncatus* (les populations de la mer du Nord et de la Baltique, la population de la partie occidentale de la Méditerranée, la population de la mer Noire), *Stenella attenuata* (la population des régions tropicales du Pacifique oriental, les populations de l'Asie du Sud-est), *Stenella longirostris* (les populations des régions tropicales du Pacifique oriental, les populations de l'Asie du Sud-est), *Stenella coeruleoalba* (la population des régions tropicales du Pacifique oriental, la population de la partie occidentale de la Méditerranée), *Delphinus delphis* (les populations de la mer du Nord et de la Baltique, la population de la partie occidentale de la Méditerranée, la population de la mer Noire, la population des régions tropicales du Pacifique oriental), *Lagenodelphis hosei* (les populations de l'Asie du Sud-est), *Orcaella brevirostris*, *Cephalorhynchus commersonii* (la population d'Amérique du Sud), *Cephalorhynchus eutropia*, *Cephalorhynchus heavisidii*, *Orcinus orca*, *Globicephala melas* (les populations de la mer du Nord et de la Baltique seulement), *Berardius bairdii*, *Hyperoodon ampullatus*, *Balaenoptera bonaerensis*, *Balaenoptera edeni*, *Balaenoptera borealis*, *Balaenoptera physalus*, *Caperea marginata*.

3.2.3.8.6 - Arrêté du 17 juillet 1991 fixant la liste des tortues marines protégées dans le département de la Guyane

Sont interdits dans le département de la Guyane et en tout temps la destruction ou l'enlèvement des œufs et des nids, la mutilation, la destruction, la capture ou l'enlèvement, la naturalisation ou, qu'ils soient vivants ou morts, le transport, le colportage, l'utilisation, la mise en vente, la vente ou l'achat de spécimens des espèces de tortues marines.

3.2.3.8.7 - Synthèse du statut juridique des cétacés susceptibles d'être présents en Guyane française

Les cétacés marins cités en Annexe I de la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS) et potentiellement présents en Guyane française sont : Cachalot (*Physeter macrocephalus*), Rorqual de Rudolphi (*Balaenoptera borealis*), Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) et Rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*).

Les cétacés marins cités en Annexe II de la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS) et potentiellement présents en Guyane française sont : Cachalot (*Physeter macrocephalus*), Dauphin de l'Amazone (*Sotalia fluviatilis*), Rorqual de Bryde (*Balaenoptera edeni*), Rorqual de Rudolphi (*Balaenoptera borealis*), Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) et orque (*Orcinus orca*).

Tous les cétacés potentiellement présents en Guyane française sont automatiquement inclus dans l'annexe II de la Convention pour la protection et le développement de l'environnement marin dans la région des Caraïbes dite « Convention de Carthagène ». Ces espèces sont : Cachalot nain (*Kogia sima*), Cachalot pygmée (*Kogia breviceps*), Dauphin commun à bec large (*Delphinus capensis*), Orque pygmée (*Feresa attenuata*), Globicéphale tropical (*Globicephala macrorhynchus*), Dauphin de Fraser (*Lagenodelphis hosei*), Mésoplodon de Blainville (*Mesoplodon densirostris*), Péponocéphale (*Peponocephala electra*), Dauphin tacheté (*Stenella attenuata*), Dauphin tacheté de l'Atlantique (*Stenella frontalis*), Dauphin longirostre (*Stenella longirostris*), Dauphin bleu et blanc, dauphin rayé (*Stenella coeruleoalba*), Dauphin à dents dures (*Steno bredanensis*), Grand dauphin (*Tursiops truncatus*), orque (*Orcinus orca*), Baleine de Cuvier (*Ziphius cavirostris*), Mésoplodon de Gervais (*Mesoplodon europaeus*), Dauphin de Clymène (*Stenella clymene*), Dauphin de l'Amazone (*Sotalia fluviatilis*), Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), Rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*), Cachalot (*Physeter macrocephalus*), Rorqual de Rudolphi (*Balaenoptera borealis*) et Rorqual de Bryde (*Balaenoptera edeni*).

3.2.3.8.8 - Synthèse du statut juridique des tortues marines présentes en Guyane française

Les tortues marines suivantes sont listées en annexe II de la Convention pour la protection et le développement de l'environnement marin dans la région des Caraïbes dite « Convention de Carthagène » : *Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys kempii*, *Lepidochelys olivacea*, *Dermochelys coriacea*. Toutes les espèces sont incluses dans les annexes I et II de Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS).

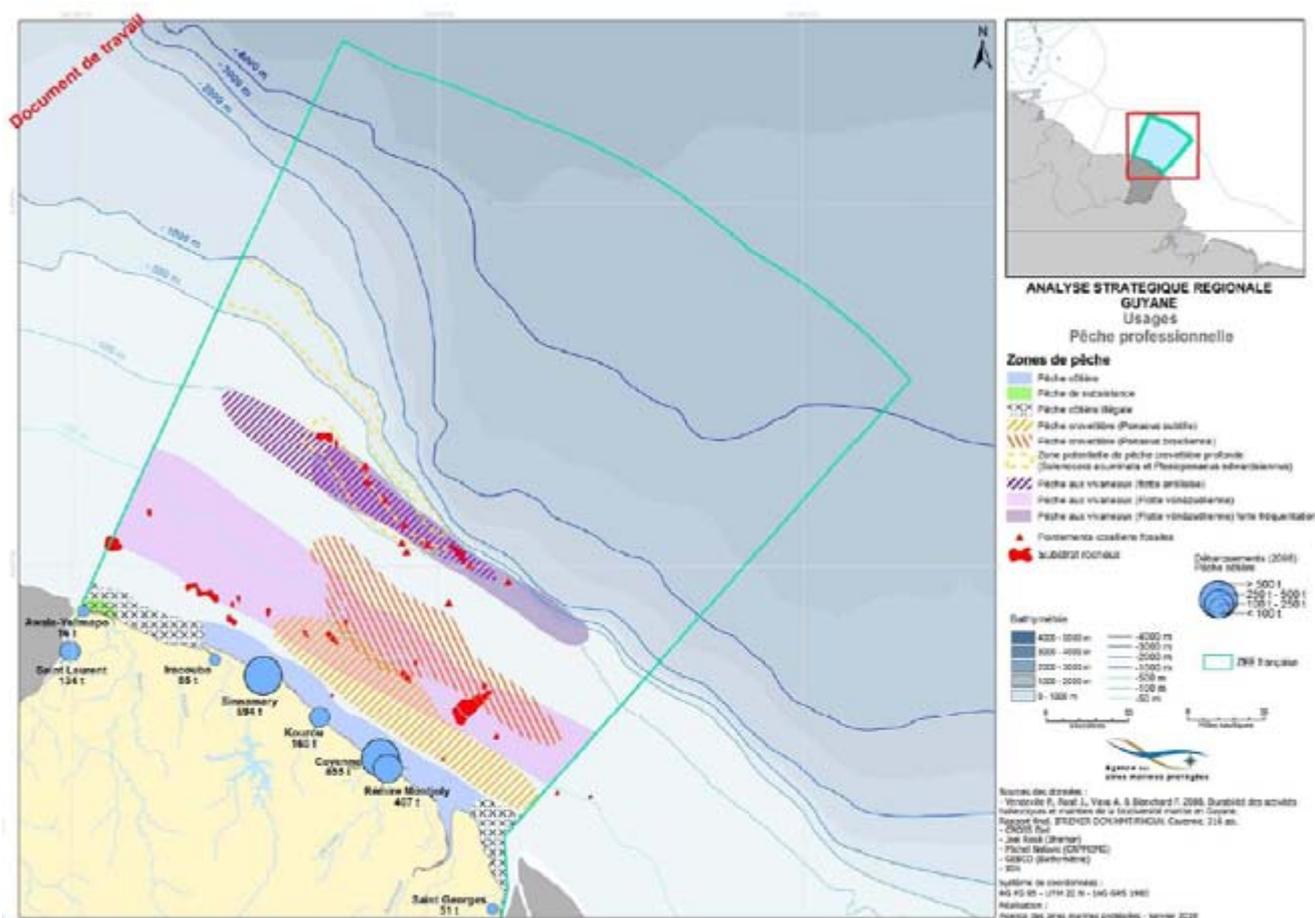
3.3 - Description du contexte humain

3.3.1 - Activités humaines en mer

3.3.1.1 - Pêche en mer professionnelle

La pêche en mer est une activité sectorisée dans le domaine maritime guyanais (Figure 3.63).

Figure 3.63. Zones de pêche professionnelle au large de la Guyane (AAMP, 2010)



3.3.1.1.1 - Pêche à la crevette

La pêche de crevettes pénéides (*Penaeus brasiliensis* et *Penaeus subtilis*) constitue l'essentiel de la production halieutique. Cette pêche industrielle est régulée par un quota annuel de 4 000 tonnes et par une profondeur comprise entre 20 et 80 mètres (AAMP, 2010). Cette pêche est pratiquée par des chalutiers crevettiers à tangon, de type américain. Les pêches pourraient avoir lieu jusqu'à des zones dont les fonds atteignent 1 000 mètres (KOMEX, 2005, AAMP, 2010).

En 2005, la flotte de pêche s'élève à 63 navires dont 15 sont en arrêt suite à une rupture d'activité (l'année précédente, sur les 63 navires autorisés, 47 étaient actifs en moyenne chaque jour de pêche). Un total de 12 550 jours de pêche a été effectué pour un prélèvement annuel sur la ressource de 3 325 t de crevettes.

Sur les 25 dernières années, la pêche à la crevette fluctue autour d'un tonnage de captures moyen. Elle a toutefois subi une crise entre les années 1999 et 2002, avec une baisse des captures qui ne serait pas due à une pression anthropique, mais probablement climatique, bien que l'hypothèse reste à l'étude à ce jour. La hausse des prix des carburants a eu un effet négatif sur les pratiques de pêche : les bateaux sortent moins loin dans le but d'économiser le carburant, au risque de sortir de la zone de pêche autorisée, c'est-à-dire en deçà des 30 m de profondeur. Le résultat est une baisse de la taille moyenne des prises (les crevettes les plus jeunes évoluant plus près des côtes), vendues à un prix plus bas sur le marché.

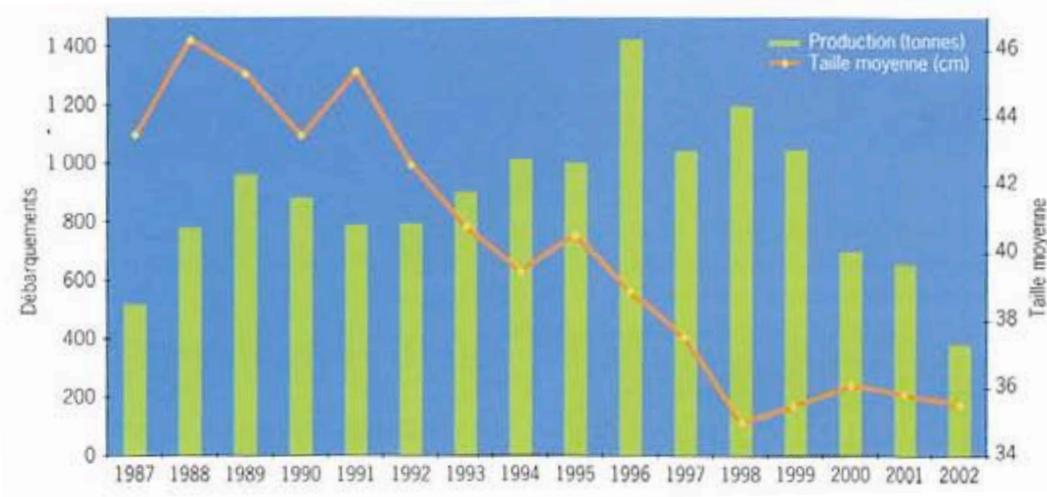
En 2005, 65% de la quantité pêchée (soit 1 917 tonnes) ont été exportés (Source SMVM, 2006).

3.3.1.1.2 - Pêche au vivaneau

Les principales espèces de poissons exploitées sont les Lutjanidés (vivaneau rouge *Lutjanus purpureus* principalement). Ces poissons sont pêchés avec des lignes à main ou des casiers (pêcheurs de Guadeloupe ou de Martinique), ou bien encore à la dérive. On observe deux zones principales de pêche, l'une entre 30 et 80 mètres de hauteur d'eau, et l'autre plus au large, par des fonds compris entre 90 et 1000 mètres (cf. **Figure 3.63**). Cette dernière est la plus prospectée.

En 2005, l'effort de pêche pour le vivaneau s'élève à 46 bateaux pour un total de 4 394 jours de pêche par an et un montant de capture de 1 010 t de poissons. Cette pêche n'est pas, elle, régulée par un quota.

Graphique 3.50. Production et taille moyenne des vivaneaux rouges débarqués en Guyane de 1987 à 2002 (Léopold, 2005)



Sur une vingtaine d'années, l'observation des captures montre une croissance jusqu'en 1996, puis une baisse jusqu'en 2002 et une hausse modérée depuis cette date. Cependant, les tailles moyennes des captures observées lors des débarquements indiquent une tendance à la diminution qui se confirme d'année en année. Il semble donc qu'il y ait une réelle surexploitation de cette ressource, confirmée par Léopold (2005). Elle est en partie due à la pêche illégale dans les eaux françaises (37 navires saisis par la Marine Nationale en 2003) ainsi qu'à l'utilisation de pratiques de pêche permettant un recrutement sur des individus plus petits dans les pays voisins ainsi qu'aux Antilles.

3.3.1.1.3 - La pêche de loisir

La pêche sportive en mer n'est pas très développée en Guyane. Elle concerne une centaine d'adhérents répartis sur Kourou et Cayenne. La zone de pêche est concentrée autour des îles du Salut dans des profondeurs de 20 à 30 m. Aucun suivi de cette activité n'est réalisé.

3.3.1.1.4 - Données sur la zone de projet

Il n'existe aucune étude relative à la pression de pêche sur le site de forage. Toutefois, compte tenu des observations précédentes, les activités de pêche industrielle de crevettes sont potentiellement présentes jusqu'à 1 000 m de hauteur d'eau. L'isobathe 1 000 m est éloignée de plus de 20 km de GM-ES-1. Les autres activités de pêches intéressent des zones de profondeur nettement inférieures et beaucoup plus proches des côtes guyanaises.

3.3.1.2 - Navigation de commerce

La Chambre de Commerce et d'Industrie de Guyane (CCIG) a évalué, en 2004, le trafic portuaire à 128 mouvements de navires internationaux et 67 mouvements de pétroliers. Plus de 555 000 t de marchandises sont débarquées chaque année dont 180 000 t de carburant. Seulement 22 000 t de marchandises embarquent de Guyane.

Le port de Dégrad des Cannes est situé dans l'estuaire du Mahury, dans l'île de Cayenne. Il autorise un accès aux navires dont le tirant d'eau est inférieur à 6 m. Il est relié à la mer par un canal de 18,5 km de long et 80 m de large, qui doit être régulièrement entretenu par des dragages (coût : 1,3 million d'euros en 2003, source SMVM 2006). Le port irrigue la plus grande zone industrielle de Guyane, qui comprend une raffinerie, une centrale électrique et d'autres stockages de produits liquides ou solides.

Le port de Kourou-Pariacabo est lié aux activités du Centre Spatial Guyanais. Son long chenal d'accès nécessite des dragages réguliers. Il peut accueillir des navires allant jusqu'à 130 m de long.

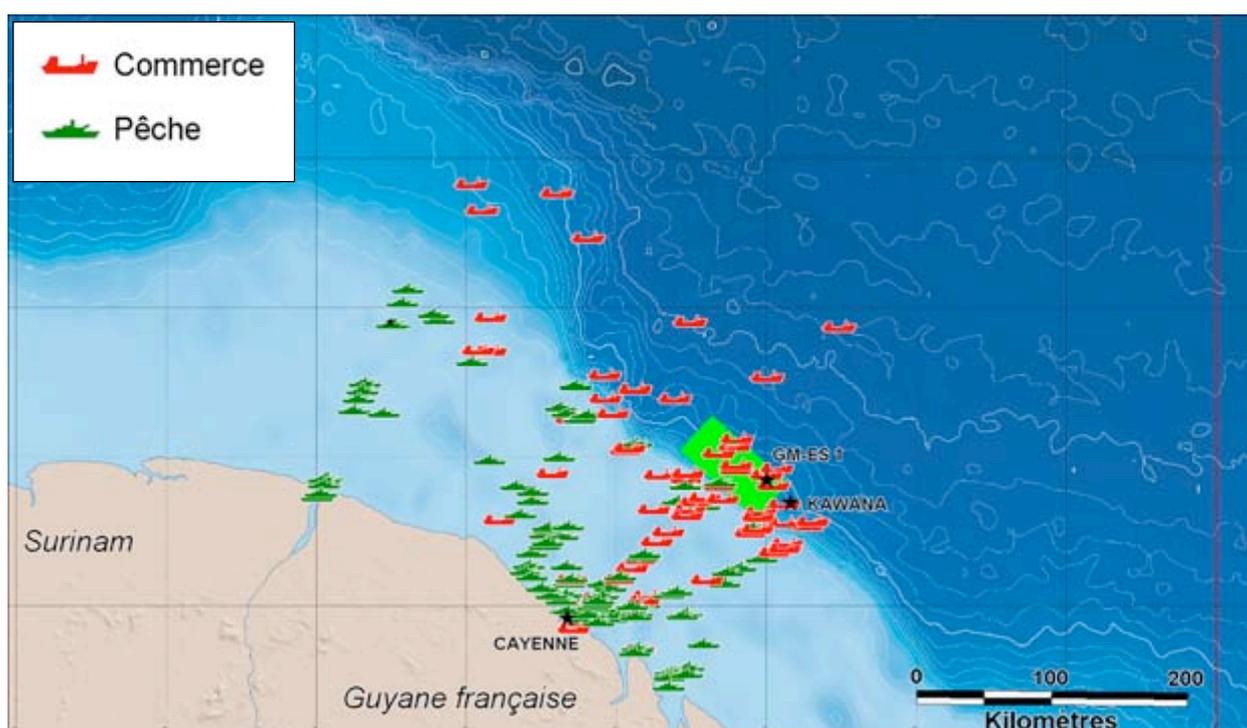
Le port de Cayenne est de moins en moins accessible, du fait d'un envasement. Il accueille quelques petits navires de commerce.

Le port fluvial de Saint-Laurent-du-Maroni est limité à l'approvisionnement en hydrocarbures.

3.3.1.3 - Données issues des survols et observations depuis les navires de reconnaissance

L'effort de prospection développé par Tullow Oil et sa filiale Hardman Petroleum France depuis 2005 permet, avec les données issues de la mission Exocet, d'approcher la répartition spatiale des navires au large de la Guyane (**Figure 3.64**).

Figure 3.64. Position des divers types de navire au large de la Guyane (Créocéan, 2009, CRMM, 2009, Girondot & Ponge, 2006, Girondot & Russo, 2009, Girondot, 2010, Ponge, 2008)



La navigation de commerce est assez présente à proximité du site de forage. Les données actuellement acquises confirment l'absence de navires de pêche au voisinage immédiat du futur site d'exploration, avec l'unité la plus proche à 35 km à l'ouest de GM-ES-1.

3.3.2 - Activités humaines sur le littoral

3.3.2.1 - Population et habitat

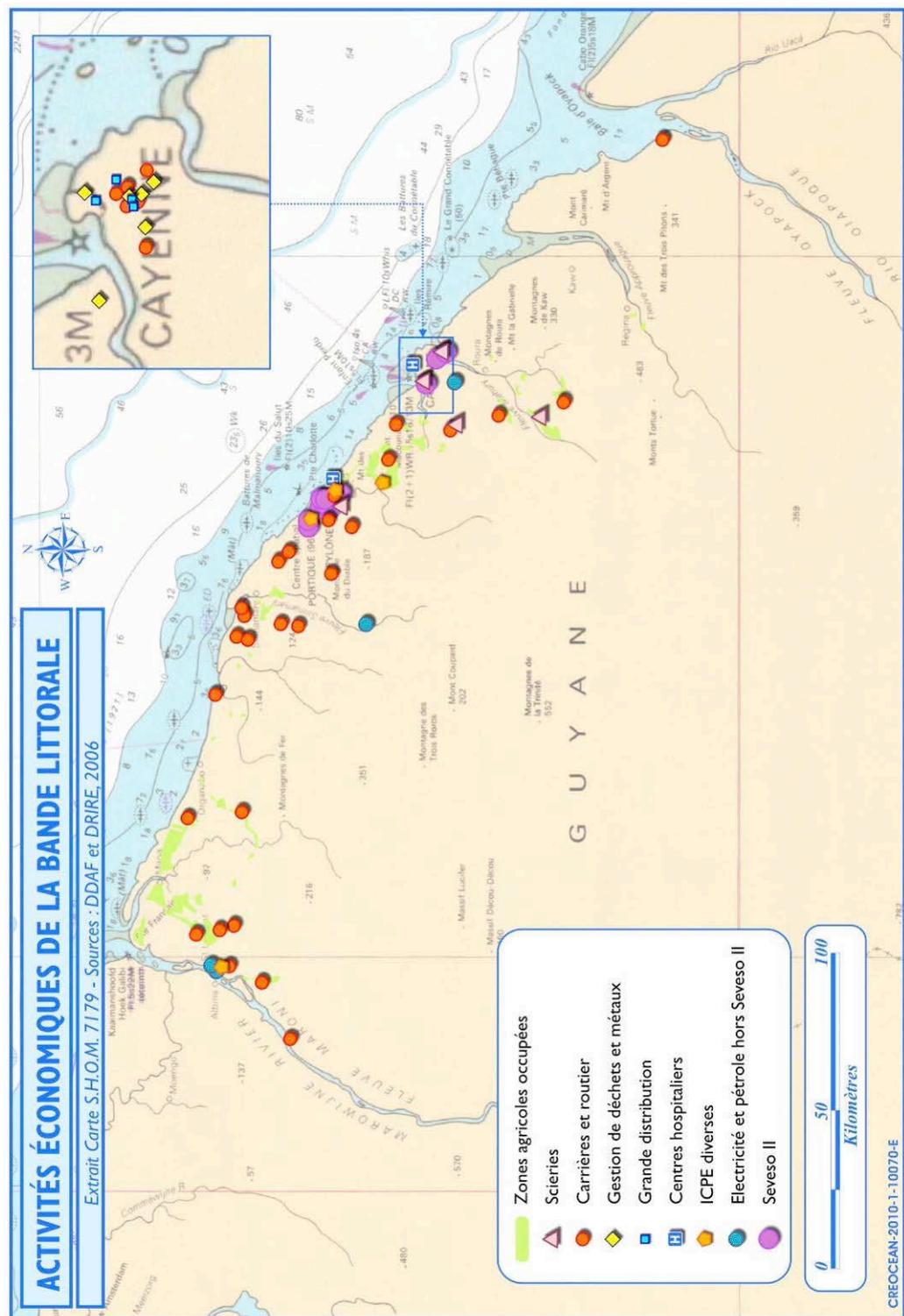
La situation démographique en Guyane est contrastée. En effet, si l'on se fie aux effectifs totaux, compte tenu de la superficie du territoire, on parvient à une densité moyenne de 2,4 habitants/km², pour une population estimée à 200 000 personnes en 2006. Or, il s'avère que la Guyane présente une répartition très inégale de la population sur son territoire, puisque environ 90% de la population totale se trouve sur moins de 10% du territoire, principalement sur le littoral. Trois pôles urbanisés sont en contact direct avec la mer : l'agglomération de Cayenne, Kourou et le secteur Mana / Awala-Yalimapo. Les six communes de la CCCL (Cayenne, Rémire-Montjoly, Matoury, Montsinéry, Roura et Macouria) concentraient plus de 58% de la population totale en 1999 (53,5% pour les trois seules communes de l'île de Cayenne). La population guyanaise est essentiellement urbaine, avec près de 78% de la population vivant dans les centres urbains de plus de 2 000 habitants.

Pour la période 1990 – 1999, la population guyanaise a connu un accroissement démographique global de l'ordre de 37%. Toutefois, cette moyenne, calculée sur les résultats de l'ensemble des communes ne reflète pas les variabilités enregistrées. Si les effectifs ont augmenté de plus de 100% pour la commune littorale de Macouria, la croissance a été moyenne pour les grands centres du littoral (entre 20 et 50% pour Kourou et Cayenne), voir en diminution à Iracoubo et Sinnamary.

3.3.2.2 - Activités économiques de la bande littorale

Les activités économiques « terrestres » du littoral guyanais sont variées. Elles sont représentées sur la **Figure 3.65**.

Figure 3.65. Activités économiques de la bande littorale (DDAF et DRIRE, 2006)



3.3.2.2.1 - *L'agriculture littorale*

L'agriculture dans la bande littorale se concentre principalement dans l'ouest guyanais (riziculture de la Basse Mana, élevage à Kourou et Sinnamary). La riziculture est dépendante des apports en eau douce du fleuve Mana.

3.3.2.2.2 - *L'industrie littorale*

La Guyane accueille peu d'activités industrielles sur son littoral. Les principaux centres sont l'île de Cayenne et Kourou.

Une zone industrielle s'est développée à Kourou, à proximité du Centre Spatial Guyanais. Elle est axée principalement sur les services. Une centrale thermique y est implantée. Il n'y a pas d'industrie de transformation à Kourou.

Les deux pôles industriels de l'île de Cayenne (Le Larivot et Dégrad des Cannes) abritent deux raffineries, une centrale thermique et du stockage. Un grand nombre d'installations classées pour la protection de l'environnement (ou ICPE) y est répertorié, notamment dans le secteur de la distribution et le négoce du métal.

3.4 - Synthèse des données sur le site de GM-ES-1

➤ **Situation, bathymétrie**

Le site de forage GM-ES-1 est situé à 160 km des côtes de Guyane, au-delà du talus continental, dans le domaine profond, par 2 389 m de hauteur d'eau. Il est situé à 24 km au nord-ouest du site de Kawana et présente une hauteur d'eau similaire. Sur Kawana, une campagne de terrain a été menée en juin 2006.

➤ **Paramètres généraux des eaux**

Les mesures réalisées sur le site de Kawana en juin 2006 (Créocéan, 2006), ont mis en évidence des valeurs habituellement observées dans des eaux océaniques non soumises à des pressions polluantes. Les paramètres généraux des eaux marines de surface du site sont sous influence saisonnière des eaux dessalées et riches en nutriments de l'Amazone, principalement entre juin et novembre.

➤ **Nature et qualité des fonds**

Les fonds du site de Kawana sont constitués de vase argileuse. Ces sédiments présentent un niveau d'enrichissement élevé pour le Carbone Organique et l'Azote. Les teneurs mesurées en métaux lourds et en hydrocarbures aromatiques polycycliques sont très faibles à normales.

➤ **Sismicité naturelle**

Aucune sismicité naturelle n'est reportée dans la littérature à proximité du site.

➤ **Phytoplancton**

Au large de la Guyane, les peuplements phytoplanctoniques sont influencés par les apports des eaux des fleuves (apports en nutriments), notamment de l'Amazone, et de la courantologie. Les mesures réalisées sur le site de Kawana sur la chlorophylle ont mis en évidence un peuplement en bonne santé mais très peu abondant en juin 2006.

➤ **Benthos**

Les peuplements benthiques présentent un bon état de santé écologique, avec une composition et une structure générale comparable à celles d'autres zones bathyales.

➤ **Poissons**

Dix espèces communes et à large répartition géographique ont été mises en évidence à proximité du fond sur le site de Kawana.

➤ **Tortues**

Quatre groupes de tortues marines représentant au total 5 individus ont été vus au-delà du plateau continental guyanais, à moins de 75 km du site : trois tortues en 2006 (Girondot et Ponge, 2006), une en 2008 (CRMM, 2009) et une en 2009 (Girondot & Russo, 2009a). Compte tenu du très important effort d'investigation, cela représente une présence très faible. La modélisation de présence en mer des tortues marines indique que la tortue luth, la tortue verte et la tortue olivâtre peuvent être rencontrées à proximité du site, à des densités très faibles (moins de 0,4 individu pour 400 km²).

➤ **Oiseaux**

Une cinquantaine d'espèces d'oiseaux est potentiellement présente au niveau de la zone du projet, dont deux espèces menacées au niveau mondial : la sterne élégante et l'albatros à bec jaune.

➤ **Mammifères marins**

Le domaine maritime situé au-delà du plateau continental peut abriter une trentaine d'espèces de cétacés. A proximité du site de GM-ES-1, de nombreuses observations de cétacés sont reportées, avec une saisonnalité marquée. Les cétacés sont quasiment absents de décembre à avril, et leur nombre culmine de septembre à novembre.

➤ **Pêche**

Aucune pêche n'est recensée pour des hauteurs d'eau supérieures à 1 000 m.

➤ **Navigation de commerce**

Le trafic maritime entre Dégrad des Cannes et la métropole, ainsi que les liaisons parallèles à la côte (par exemple Brésil – Golfe du Mexique) utilisent la zone du projet.

4 - ANALYSE DES EFFETS DIRECTS ET INDIRECTS, TEMPORAIRES ET PERMANENTS SUR L'ENVIRONNEMENT

L'analyse des effets sur l'environnement va être menée en deux temps. Dans une première étape, les impacts spécifiques du projet de forage d'exploration vont être décrits, puis chaque impact va être passé en revue, de façon à en déterminer la magnitude.

Cette analyse va conduire ensuite à la proposition de mesures visant à supprimer ou diminuer les effets sur l'environnement naturel et humain.

4.1 - Les impacts spécifiques du projet

Les impacts spécifiques du projet sont abordés par le biais des sources d'effet.

Ces sources sont :

- la présence des moyens nautiques avec, notamment, les vibrations dues aux moteurs,
- les rejets liquides liés à la vie à bord et au déroulement du forage,
- les déchets solides,
- les émissions gazeuses, dues au fonctionnement des moteurs et des groupes électrogènes,
- les émissions lumineuses,
- les déblais de forage,
- la boue de forage,
- le rejet accidentel d'hydrocarbures.

4.1.1 - Une présence réduite sur le plan d'eau

Le forage sur le site de GM-ES-1 nécessitera la présence sur le plan d'eau :

- d'un support de forage, à positionnement dynamique,
- de deux navires d'assistance, dont un sera en position pour protéger le navire de forage (chien de garde) et un autre sera affecté aux rotations avec la terre (Cayenne ou Port of Spain).

Le support nautique de forage doit être immobile par rapport au fond. Le West Polaris dispose d'un positionnement dynamique assuré par six propulseurs. Ces moteurs sont une source de vibrations qui se propagent dans l'eau. En revanche, le navire d'assistance sur zone sera ancré.

Pendant le forage, le navire est immobile, solidaire du fond *via* le train de tiges. Cela signifie qu'il ne peut se déplacer pour parer un navire qui ferait route sur sa position. Aussi, une zone d'exclusion de navigation de 500 m autour du support de forage est généralement délimitée. Compte tenu des dimensions du support nautique, la zone d'exclusion aura une surface de l'ordre de 110 à 130 hectares.

4.1.2 - Des rejets liquides liés à la vie à bord

4.1.2.1 - Les eaux usées

La vie à bord des équipages génère des eaux usées (WC, douches, vaisselle, laverie). A partir de la population flottante, on peut estimer les rejets liquides dus à la vie à bord.

La population flottante se compose au maximum de 10 personnes sur chaque bateau d'assistance et de 160 personnes sur le support de forage. Le port de mobilisation / démobilisation de l'opération n'est pas connu actuellement. Afin de ne pas minimiser cet aspect, il sera considéré dans ce rapport que l'opération commence et finit à Port of Spain.

Les ordres de grandeur retenus pour l'estimation des volumes d'eaux usées sont de :

- 100 l/jour/personne pour les eaux noires (WC),
- 220 l/jour/personne pour les eaux grises (douches, vaisselle, laverie).

On aboutit à 18 m³ d'eaux noires et 40 m³ d'eaux grises par jour. En incluant la navigation aller et retour (6,5 jours) et le forage (60 jours), l'estimation conduit à 1 200 m³ d'eaux noires et 2 635 m³ d'eaux grises.

4.1.2.2 - Les rejets liquides accidentels

Les rejets liquides accidentels sont dus à des incidents, à des erreurs de manipulation ou à des comportements inadaptés.

La société Tullow Oil impose à chaque sous-traitant de mettre en place des procédures Hygiène, Sécurité et Environnement (HSE). Par définition, les procédures HSE correctement mises en œuvre et évaluées, ainsi que l'entretien mécanique réalisé de manière préventive sont des facteurs qui diminuent les fréquences de rejet ; les volumes à considérer dans l'analyse des impacts sont faibles.

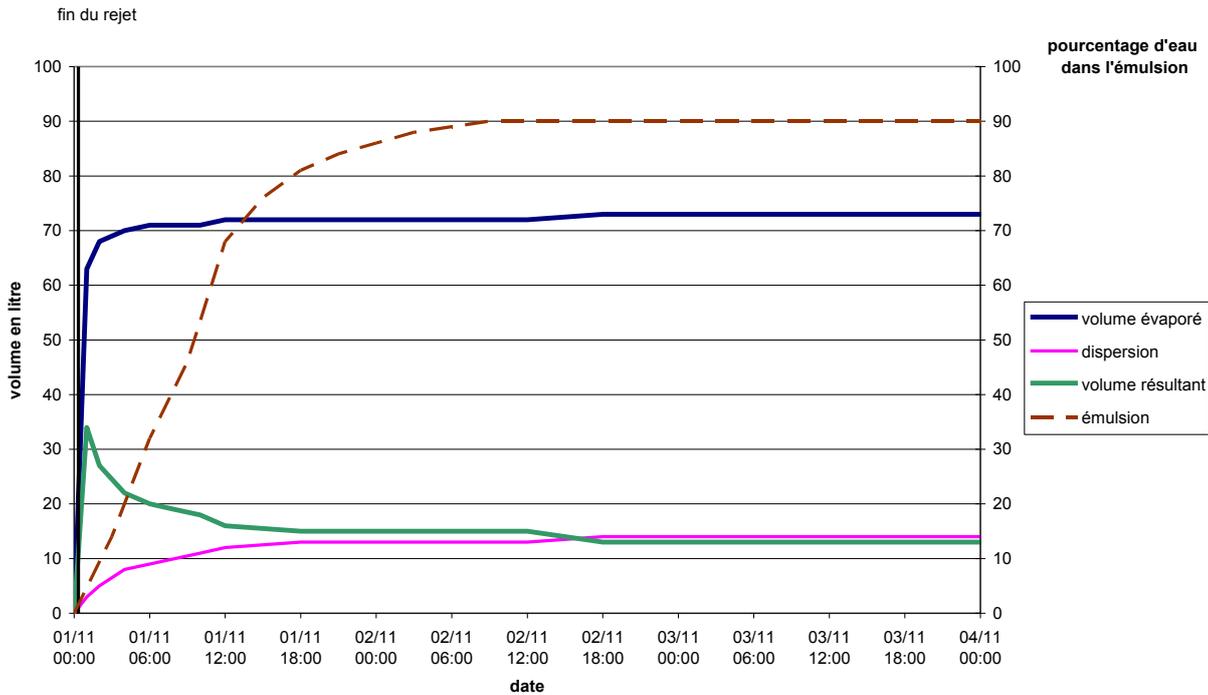
Les produits susceptibles d'être contenus dans ces rejets liquides accidentels sont variés : lubrifiants, fluide hydraulique, carburant notamment.

Une **simulation du rejet accidentel** d'une petite quantité de carburant (100 litres) a été menée. Le carburant simulé correspond à un gazole.

Le comportement au cours du temps du carburant rejeté a été simulé grâce au modèle ADIOS^{®2} (Automated Data Inquiry for Oil Spills), développé par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). ADIOS^{®2} utilise conjointement différentes équations mathématiques et des informations tirées de sa base de données pour prédire l'évolution des différents paramètres et processus physiques mis en jeu lors d'un rejet en mer.

Le vieillissement du rejet accidentel de 100 litres de gazole est présenté sur le **Graphique 4.1**.

Graphique 4.1. Evolution d'un rejet accidentel de gazole (NOAA)



Le rejet d'hydrocarbure se caractérise par une forte évaporation. En effet, une heure après le rejet des 100 litres, 63 litres se sont évaporés (courbe bleue), correspondant à la fraction la plus volatile (celle qui présente les risques les plus importants pour la faune marine). Le reste constitue une pellicule de très faible épaisseur à la surface de l'eau, ce qui facilite les autres phénomènes de dégradation : dispersion, émulsion, photolyse¹⁴, biodégradation.

Sans tenir compte de ces 2 derniers phénomènes, ADIOS[®]2 prévoit que 6 heures après le rejet accidentel, il ne reste que 20 litres de gazole en surface de la mer (courbe verte), et 16 litres au bout de 24 heures.

4.1.3 - Une gestion maîtrisée des déchets à bord

Le système de gestion des déchets à bord est partie intégrante des règles HSE de chaque support nautique. **Il est strictement interdit de jeter des déchets à la mer.** Les déchets sont triés et regroupés en fonction des filières de recyclage.

¹⁴ Photolyse : phénomène physique de décomposition de molécules sous l'effet de la lumière.

Les estimations de volume des différents types de déchets (ordures ménagères, recyclables, déchets industriels banals et spéciaux) sont difficiles à mener : elles sont dépendantes du nombre de filières de tri mises en place à bord. A titre d'exemple, l'estimation des volumes d'ordures ménagères pour la durée de la mission pourrait conduire à un total compris entre 4 à 15 m³.

4.1.4 - Des émissions lumineuses pour la sécurité maritime

Le support de forage et les navires d'assistance arboreront la signalisation lumineuse réglementaire pendant toute la durée des opérations. Il n'y aura pas de source lumineuse dirigée vers la mer.

4.1.5 - Des émissions de CO₂ dues aux moteurs

Les principales sources d'altération de la qualité de l'air sont les gaz d'échappement des moteurs et des générateurs électriques utilisés sur les navires.

Les principales émissions atmosphériques seront le dioxyde de carbone (CO₂), l'anhydride sulfureux (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x) et les matières particulaires d'un diamètre de 10µm et moins (MP10). D'autres polluants sont également émis tels que les métaux lourds, le monoxyde de carbone (CO), les COV non méthaniques, les hydrocarbures imbrûlés, le méthane (CH₄), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), certains composés halogénés, des polluants organiques persistants.

Une estimation des émissions de dioxyde de carbone (CO₂) a été menée pour les opérations de forage. Le principe du calcul repose sur l'évaluation des émissions de CO₂ par les moteurs et les générateurs. Les consommations des moteurs ainsi que le type de carburant ont été pris en compte pour ce calcul.

Pour cela, les différentes sources d'émission de CO₂ ont été identifiées. Ces sources sont comptabilisées depuis la mobilisation de ces matériels pour le chantier jusqu'au retour au port de départ.

4.1.5.1 - Paramètres de calcul

Le port de mobilisation/ démobilisation du matériel est Port-of-Spain, sur l'île de Trinité, soit une navigation aller/retour sur le site de GM-ES-1 de 2 800 km.

Le support de forage à positionnement dynamique se déplace par ses propres moyens, il sera accompagné de deux navires.

Les navires d'assistance se déplacent à une vitesse de l'ordre de 9 nœuds, pour une consommation moyenne de 750 litres de diesel à l'heure. A l'ancre, leur consommation est de l'ordre de 150 litres à l'heure.

En déplacement, le support de forage consomme en moyenne 3 000 litres de diesel à l'heure pour une vitesse de 11 nœuds, ce qui représente au total 6,5 jours. Pendant les opérations de forage, le maintien de sa position grâce aux propulseurs ainsi que les différents groupes électrogènes et moteurs entraînent une consommation évaluée à 4 000 litres à l'heure.

Les travaux sur site devant durer 60 jours, une relève du personnel sera nécessaire. De plus, des visiteurs pourront être accueillis à bord. Pour la durée du forage, il est estimé que 45 rotations par hélicoptère seront organisées depuis l'aéroport de Rochambeau. L'hélicoptère consomme environ 300 litres à l'heure, soit 600 litres pour un aller et retour.

Les coefficients d'émission retenus sont :

- 2,68 t de CO₂ par m³ de diesel,
- 3,15 t de CO₂ par t de kérosène.

Ces valeurs sont déduites de la méthode Bilan Carbone® de l'ADEME.

4.1.5.2 - Résultats

On aboutit ainsi à une consommation globale de 7 461 m³ de diesel et 27 t de kérosène, soit une émission de 20 056 t de CO₂. Réparties sur 66,5 jours, ces émissions correspondent à un équivalent de 301,6 t de CO₂ par jour.

4.1.6 - Des déblais de forage peu contaminés

Les volumes de déblais de forage générés lors de l'opération sur GM-ES-1 sont estimés dans une première partie. La seconde partie traite de leur répartition dans l'environnement.

4.1.6.1 - Volume des déblais de forage

L'estimation du volume des déblais de forage s'effectue sur la base des diamètres et longueurs de forage. Elle est détaillée dans le **Tableau 4.1**.

Tableau 4.1. Estimation des volumes de déblais de forage (Tullow, juin 2010)

Diamètre de forage	Profondeur forée dans ce diamètre (m)	Volume déversé directement sur le fond (m ³)	Volume déversé depuis le support de forage (m ³)	Volume total (m ³)
36" (0,914 m)	100	52	-	52
26" (0,914 m)	511	182	-	182
17 ½" (0,445 m)	1 100	-	170	170
12 ¼" (0,311 m)	1 100	-	84	84
8 ½" (0,216 m)	1 100	-	40	40
Total	3 911	234	294	529

Pour les diamètres de forage 36" et 26", les déblais sont déversés directement sur le fond marin. En revanche, pour le forage en 17 ½", 12 ¼" et 8 ½", les déblais sont remontés jusqu'au support de forage et séparés de la boue grâce à des équipements spécifiques avant d'être déversés dans la mer.

4.1.6.2 - Gestion des déblais de forage

Le devenir des déblais de forage après leur rejet dans l'environnement est abordé pour chacune des deux phases du forage, c'est-à-dire sans et avec tubage qui permet la circulation des déblais entre l'outil de forage et le support nautique.

4.1.6.2.1 - Première phase de forage

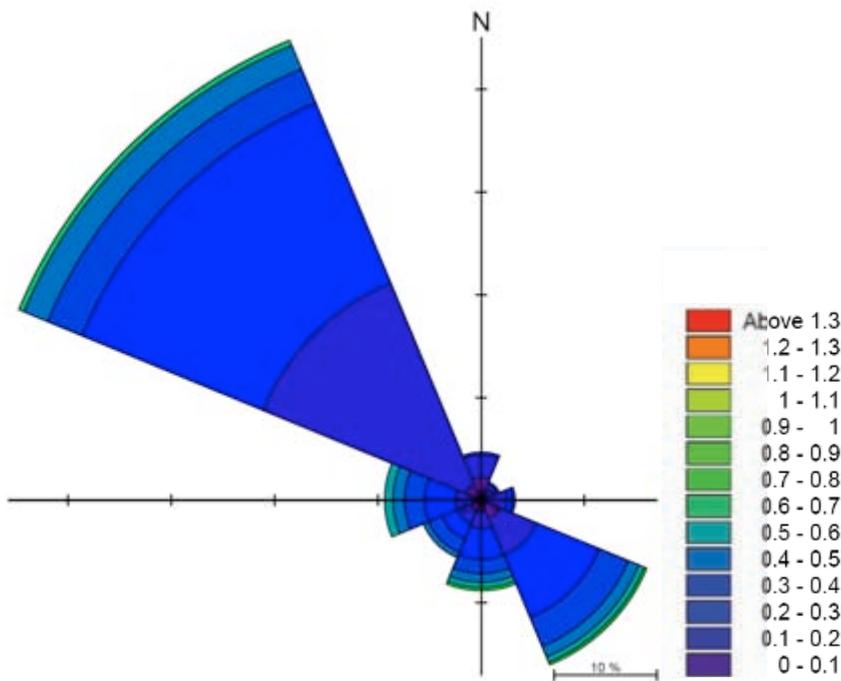
$V (m.s^{-1})$

Au début du forage, sans recyclage de boue, les déblais entraînés par le fluide de forage arrivent au niveau du fond marin et forment des monticules autour du train de tiges. Sous l'action des courants (faibles) mais surtout du fait des caractéristiques¹⁵ des déblais, les tas vont s'étaler. Une estimation précise des surfaces recouvertes est difficile, vu l'absence de connaissance de la granulométrie des déblais de forage.

Néanmoins, à partir d'un modèle simpliste de tas conique centré sur le forage, on peut obtenir un ordre de grandeur des hauteurs des monticules au-dessus du fond marin. Ainsi, en prenant un tas dont la pente fait un angle de 5° avec l'horizontale et le volume de déblais (GM-ES-1 : 234 m³), on obtient une hauteur maximale de 1,2 m (soit une hauteur moyenne voisine de 0,4 m) pour un rayon de l'ordre de 12 à 15 m.

Dans un souci d'approche un peu plus réaliste, on peut considérer la rose de courant annuelle au niveau du fond du site voisin de Kawana, représentative de la période du forage.

Figure 4.1. Rose des courants de fond à Kawana (Créocéan, 2006)



¹⁵ Un tas posé sur le fond s'éboule jusqu'à adopter une pente qui caractérise un équilibre de stabilité. Cette pente est liée aux caractéristiques intrinsèques du matériau : un tas de sable limoneux présentera une pente plus faible qu'un tas de sable grossier.

Les courants, bien que de faible vitesse, vont déplacer les déblais sur le fond, principalement vers le nord-ouest (45% du temps), mais aussi vers le sud-est (près de 20% du temps). Les déblais vont ainsi se répartir préférentiellement selon 2 secteurs opposés (sur 8, à savoir nord-ouest et sud-est). On peut estimer alors le rehaussement moyen sur le fond de : $0,4 \times 8 / 2$, soit 1,6 m, qui peut se traduire également par un étalement plus important des tas suivant un axe nord-ouest/sud-est.

L'effet sur la bathymétrie est négligeable, au vu des hauteurs d'eau du site (proches de 2 400 m).

4.1.6.2.2 - *Seconde phase de forage*

Lorsque le tubage fait le lien entre le fond du puits et le support de forage, le mélange déblais et boue de forage est remonté jusqu'au support de forage. Là, la boue est séparée des déblais et réutilisée. Quant aux déblais, ils sont rejetés depuis le support de forage, par lâchers successifs juste en-dessous de la surface de la mer.

Dans l'eau de mer, les particules des déblais vont chuter vers le fond. Le lieu de contact des déblais avec le fond marin est lié à la taille de la particule et aux courants.

La vitesse verticale de chute d'une particule est liée à son diamètre : plus la particule est grosse et plus rapide est sa descente. Les particules les plus grosses vont chuter quasiment verticalement sous le navire. Les particules plus fines vont sédimenter plus lentement et, de ce fait, pouvoir être emportées sur une certaine distance par l'action des courants.

Une modélisation simplifiée de la chute de particules à partir de la surface de la mer a été réalisée. Pour cela, différentes classes granulométriques ont été considérées :

- 100 mm, représentative d'un galet,
- 10 mm, représentative d'un gravier,
- 1 mm, représentative d'un sable,
- 50 μm , représentative d'un limon.

Les vitesses de chute des différentes tailles sont présentées dans le **Tableau 4.2**.

Tableau 4.2. Vitesse verticale de chute des particules

Diamètre de la particule	Loi physique retenue	Formulation ¹⁶	Vitesse verticale de chute (m/s)
100 mm	Van Rijn	$W_s = 1.1 * ((s-1) * g * D)^{0.5}$	1,37
10 mm	Van Rijn	$W_s = 1.1 * ((s-1) * g * D)^{0.5}$	0,43
1 mm	Zanke	$W_s = (10 * \nu / D) * ((1 + 0.01 * (s-1) * g * D^3 / \nu^2)^{0.5} - 1)$	0,11
50 µm	Stokes	$W_s = ((s-1) * g * D^2) / (18 * \nu)$	0,002

NB : la vitesse pour les particules fines ne tient pas compte du phénomène d'agrégation : durant leur chute, certaines particules vont s'agglomérer et former des amas de diamètre supérieur à celui des particules unitaires. La vitesse de chute de ces amas est, de ce fait, plus élevée que pour les particules prises individuellement.

Ces différentes classes de particules ont été soumises aux conditions de courants d'avril 2005, représentatives de la période de réalisation du forage GM-ES-1. Les résultantes des courants à cette période sont orientées vers l'ouest et le nord-ouest. Les distances de contact avec le fond marin sont données dans le **Tableau 4.3**.

Tableau 4.3. Dispersion de particules rejetées en surface sur le site de forage

Hauteur d'eau	Diamètre de la particule	Distance de contact avec le fond marin (distance horizontale par rapport au point de rejet)
2 389 m	100 mm	R1 = 195 m en avril
	10 mm	R2 = 620 m en avril
	1 mm	R3 = 2,4 km en avril
	50 µm	R4 = 133 km en avril

¹⁶Avec :

s = densité relative des grains par rapport à l'eau,
D = diamètre représentatif des suspensions,
nu = viscosité cinématique de l'eau.

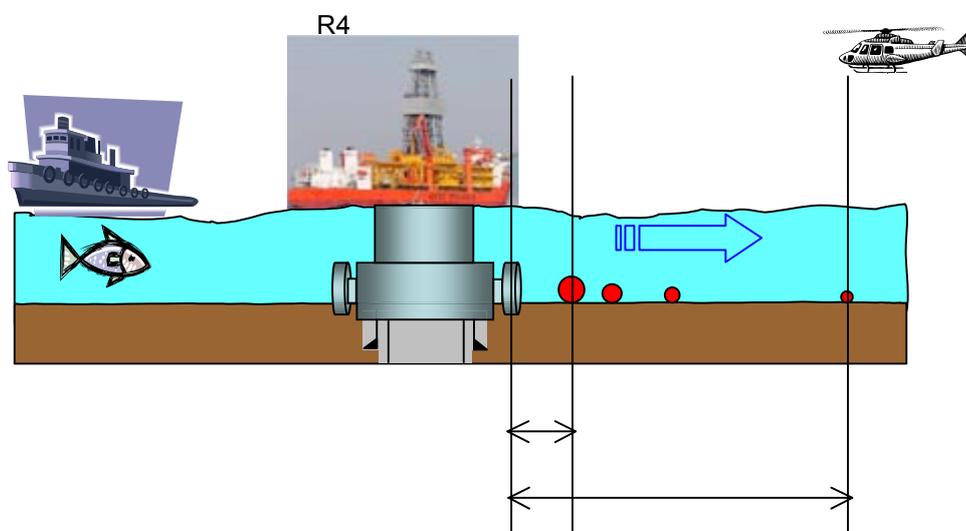
Niveau de
la mer

Courant

Les particules rejetées vont se répartir sur le fond en fonction de leur diamètre, selon le
Fond marin

Schéma 4.1.

Schéma 4.1. Répartition des particules sur le fond en fonction de leur diamètre, sous l'action des courants



Les rayons R1 et R4 délimitent sur le fond un segment le long duquel se déposent les déblais de forage.

4.1.7 - Une boue de forage à base de nombreux composés

La boue sert à la fois à refroidir et lubrifier le trépan et à entraîner les déblais hors du fond du forage. Sa composition comporte à la fois des éléments minéraux (bentonite et baryte), végétaux (amidon), et de synthèse. Ces composants sont ajustés en continu au cours du forage, de façon à contrebalancer les effets de la pression et de la nature des terrains traversés.

Le forage sera réalisé essentiellement avec une **boue à l'eau**. L'utilisation **d'une boue synthétique, à base d'oléfines (hydrocarbures raffinés), pourra être nécessaire pour traverser certaines couches**, car elle a un meilleur pouvoir d'encapsulation (emprisonnement) des argiles ; cependant, ses effets sur l'environnement, de par sa teneur en hydrocarbures, sont plus importants. En tout état de cause, l'utilisation de boue synthétique ne se ferait que lorsque le recyclage de la boue serait mis en place.

La composition de la boue (ou fluide) de forage évolue avec la profondeur et le type de couches traversées. La quantité des divers composants est précisée dans le **Tableau 4.4**.

Tableau 4.4. Composition de la boue de forage (Tullow Oil, septembre 2010)

Composant	Diamètre de forage					% moyen du volume
	36''	26''	17½''	12¼''	8½''	
Eau douce	86,11%	84,77%	83,45%	18,65%	17,84%	63,84%
Baryte	9,73%	9,59%	2,21%	19,43%	20,53%	10,58%
Montmorillonite (argile)	4,05%	5,55%	-	-	-	2,13%
Amidon modifié	0,08%	0,07%	0,12%	-	-	0,06%
Chaux	0,01%	0,02%	-	0,28%	0,28%	0,09%
Carbonate de sodium	0,01%	-	-	-	-	<0,01%
Soude caustique	0,01%	-	0,01%	-	-	<0,01%
Chlorure de sodium (sel)	-	-	6,62%	-	-	1,89%
Glycol	-	-	4,23%	-	-	1,21%
Chlorure de potassium	-	-	2,22%	-	-	0,64%
Amines	-	-	0,93%	2,48%	4,39%	1,08%
Polymère acrylique	-	-	0,13%	0,10%	0,10%	0,07%
Gomme xanthane	-	-	0,08%	-	-	0,02%
Huile synthétique Vassa LP 90 OA	-	-	-	51,49%	49,32%	16,02%
Chlorure de calcium	-	-	-	6,41%	5,88%	1,99%
Argiles diverses	-	-	-	0,54%	0,89%	0,17%
Tanin	-	-	-	0,46%	0,46%	0,14%
Polyamide	-	-	-	0,15%	0,31%	0,05%

Les trois composants principaux sont l'eau douce, l'huile synthétique et la baryte. Le cumul des autres additifs représente **moins de 10%** du volume total des boues de forage.

D'autres composants seront également à bord, en cas de nécessité :

- des acidifiants (type acide citrique),
- des additifs à utiliser en cas de récupération insuffisante de déblais de forage (mica, fibres végétales, carbonate de calcium),
- des additifs anti-mousses.

4.1.8 - Un rejet accidentel d'hydrocarbures peu fréquent

Le rejet accidentel d'hydrocarbures est une source **potentielle, peu fréquente** d'effet sur l'environnement, à la différence des sources évoquées dans les paragraphes précédents qui sont, elles, systématiquement rencontrées pour le forage en mer.

Une modélisation de la dérive d'une nappe d'hydrocarbures a été menée. Elle est détaillée dans cette section.

4.1.8.1 - Objectifs du modèle de dérive de nappe

Il a été évoqué précédemment, parmi les effets génériques du forage en mer, la possibilité d'un rejet accidentel d'hydrocarbures. Il peut provenir d'une rupture accidentelle d'un flexible lors du remplissage d'une cuve par exemple. C'est pourquoi une série de modélisation du devenir d'un rejet accidentel d'hydrocarbures a été réalisée.

A partir des résultats de courants décrits dans le **Chapitre 3**, il est possible de simuler le comportement d'un tel rejet accidentel au niveau de la zone d'étude. Pour cela, un modèle spécifique de propagation ainsi qu'un modèle permettant de simuler le vieillissement d'une nappe ont été mis en place. La méthodologie qui a été suivie a donc consisté à :

- Définir les conditions de courant et de vent susceptibles d'apparaître lors des opérations de forage,
- Définir les conditions de rejet, comme la durée du rejet, le volume total ainsi que les caractéristiques du type d'hydrocarbure déversé dans le milieu,
- Mettre en place un modèle permettant de simuler la propagation du rejet accidentel,
- Etudier son vieillissement,
- Simuler son comportement suivant les différentes conditions météo-océaniques.

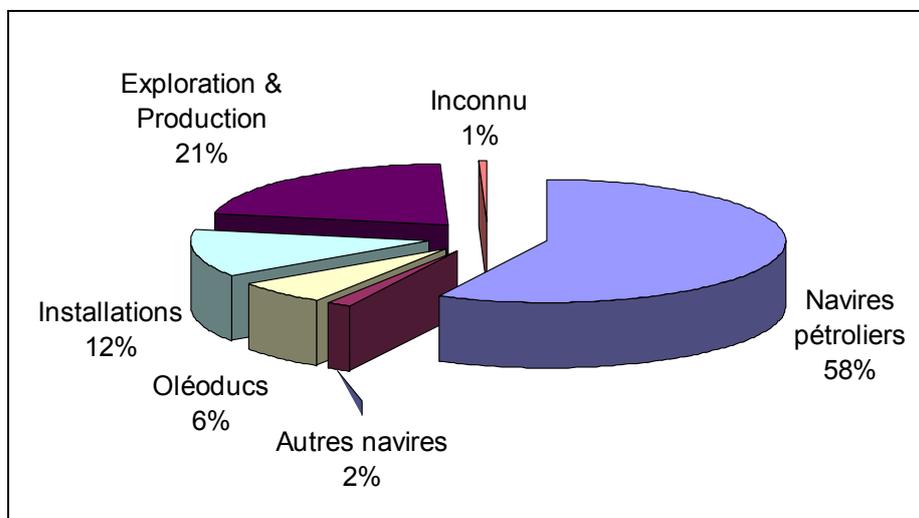
Au final, les différentes simulations numériques vont permettre de :

- Mieux connaître les déplacements du rejet accidentel dans la zone d'étude,
- Définir et analyser l'évolution de ses caractéristiques au cours du temps.
- Définir les zones potentiellement touchées en fonction des conditions de courants et de vent.

4.1.8.2 - Rejets d'hydrocarbures en mer

Au niveau mondial, les rejets d'hydrocarbures dans l'environnement marin ont des sources multiples, détaillées dans le **Graphique suivant** pour la période 1990-1999 (Etkin, 2001).

Graphique 4.2. Sources des rejets d'hydrocarbures dans l'environnement marin (Etkin, 2001)



Les principaux contributeurs à cette pollution sont les transports d'hydrocarbures : les pétroliers et les oléoducs représentent 64 % des volumes rejetés en mer.

Le forage s'inscrit dans la rubrique « Exploration & Production » (E&P). Les volumes annuels rejetés par l'E&P sont de l'ordre de 860 tonnes par an (Lentz & Felleman, 2003), soit environ 1 000 m³.

Dans le cadre du forage de GM-ES-1, le West Polaris dispose de cuves à hydrocarbures dont le volume est voisin de 90 m³. Un volume de 100 m³ a été choisi pour le rejet accidentel au large de la Guyane, soit 10 % des apports mondiaux moyens annuels au milieu marin de l'E&P.

4.1.8.3 - Description des modèles

Deux modèles numériques différents seront utilisés afin d'étudier le déplacement ainsi que le vieillissement du rejet accidentel d'hydrocarbures.

Modèle de dérive de nappe

Les dérives de rejets accidentels d'hydrocarbures ont été modélisées à l'aide du module PA/SA (Particle Analysis and Oil Spill Analysis Module). Intégré au système MIKE, ce module permet, à partir des résultats de courant obtenus au préalable et des champs de vent sur l'ensemble de la zone, de calculer le déplacement de particules et d'observer les mouvements de dérives de rejets accidentels.

Le modèle d'advection-diffusion permet de simuler le transport de polluants en surface et sub-surface. Le polluant est représenté par un large ensemble de particules.

Au cours du temps, le déplacement et la composition de chaque particule sont affectés par les différents processus physico-chimiques. Cette évolution prend donc en compte le vieillissement du rejet accidentel. Depuis le moment où les particules sont relâchées dans l'eau, leurs parcours et leurs propriétés sont suivis et enregistrés en fonction du temps et pour chacun des points de la grille. Le modèle lagrangien calcule le déplacement de chaque particule comme une somme d'une composante advective et déterministe et d'une composante indépendante utilisant une fonction aléatoire Markovienne.

Les paramètres d'entrée du modèle sont nombreux et permettent d'obtenir les résultats en fonction des conditions météo-océaniques et du type d'huile à modéliser.

Pour les conditions météo-océaniques, les paramètres sont les suivants :

- Les courants suivants les trois dimensions, en fonction du temps,
- Les conditions de vent (vitesse et direction en fonction du temps) en chaque point du maillage,
- La température de l'air,
- La température et la salinité de l'eau.

Le module PA/SA permet la prise en compte de la majeure partie des phénomènes influant sur le comportement du rejet accidentel.

Ces phénomènes sont :

- L'étalement (spreading),
- L'évaporation,
- La dispersion verticale,
- La dissolution,
- L'émulsification,
- Le transport de chaleur.

L'hydrocarbure est modélisé grâce à la prise en compte de huit fractions différentes. Ces fractions sont des chaînes carbonées dont les caractéristiques, telles que la densité, le point de solidification ou encore le point d'ébullition, sont chacune différentes. Le **Tableau 4.5** présente la répartition en pourcentage pour chacune de ces huit fractions pour 4 types considérés comme représentatif de la classification ITOPF (International Tankers Owners Pollution Federation).

Tableau 4.5. Caractéristiques des types de pétrole considérés (International Tankers Owners Pollution Federation)

	ITPOF Group	1	2	3	4
	Nom générique	Kérosène	Pétrole léger	Pétrole brut	Fioul lourd
		[% vol]	[% vol]	[% vol]	[% vol]
1	C6-C12 Paraffine	24,4	5	16,2	5
2	C13-C25	15,8	35	17,9	45
3	C6-C12 Cycloparaffine	16,7	3	4,1	5
4	C13-C23	16,7	17	16,2	10
5	C6-C11 Aromatique	4,3	5	2,3	10
6	C13-C18 Aromatique	16,9	30	21,9	15
7	C9-C25 Naphta	0	0	17,9	2
8	Résidus	5,2	5	3,5	8

Ces paramètres seront utilisés dans les différentes simulations présentées dans le chapitre suivant.

Modèle de vieillissement de nappe

Le module PA/SA de la suite MIKE prend en compte le vieillissement du rejet accidentel pour calculer son déplacement et son évolution. Afin de caractériser de manière plus précise le comportement du rejet accidentel au cours du temps, le modèle ADIOS®2 (Automated Data Inquiry for Oil Spills), développé par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a été utilisé. Le modèle possède une base de données d'environ 1000 types d'hydrocarbure différents, avec pour chacun d'entre eux, des renseignements sur les différentes propriétés physiques.

ADIOS®2 utilise conjointement différentes équations mathématiques et des informations tirées de la base de données, afin de prédire les changements au cours du temps de différents paramètres et processus physiques mis en jeu lors d'un rejet d'hydrocarbures dans le milieu marin. Ces paramètres sont la densité, la viscosité, la fraction d'eau dans l'huile, le taux d'évaporation et de dispersion verticale dans l'eau ainsi que la vitesse de formation de l'émulsion.

4.1.8.4 - Choix des simulations

D'après les résultats obtenus dans le **Chapitre 3** et la période où doit avoir lieu le forage de GM-ES-1 (janvier à mai), les simulations vont utiliser les conditions de **courants d'avril 2005**.

Les simulations seront effectuées en présence de vent afin de visualiser l'effet du vent sur le déplacement du rejet accidentel mais aussi sur les différents processus physiques.

Il est nécessaire de définir les différents paramètres caractéristiques du rejet accidentel d'hydrocarbures. Quatre types différents vont être modélisés afin de visualiser le comportement du rejet accidentel et sont définies comme suit :

- La première concernera du kérosène,
- La deuxième, un pétrole léger,
- La troisième, un pétrole brut,
- La quatrième, un pétrole lourd.

Ces différents types vont permettre de modéliser un large éventail de rejet accidentel susceptible d'apparaître lors des opérations de forage.

Les risques de rejet accidentel étant très faible et, en cas d'incidents, les volumes étant de petite quantité, il est difficile de définir le volume à simuler et la durée du rejet. Afin d'avoir un volume suffisamment conséquent pour caractériser la nappe, un rejet accidentel de 100 mètres cubes de polluant sur une durée de six heures a été retenu.

Les résultats pourront être facilement extrapolés à des quantités beaucoup plus faibles :

- Les zones de déplacement des rejets accidentels seront les mêmes,
- Les surfaces des rejets accidentels seront *a priori* plus faibles mais, à l'échelle du modèle, ce paramètre est difficilement quantifiable,
- Les volumes restant en surface en fonction du temps seront quasiment proportionnels au volume du rejet initial.

4.1.8.5 - Résultats des différentes simulations

Panache à proximité du point de rejet

Afin de définir l'ampleur du panache dans le champ proche du point de rejet, un modèle numérique précis a été mis en place. La taille des mailles de ce modèle est de 20 mètres par 20 mètres.

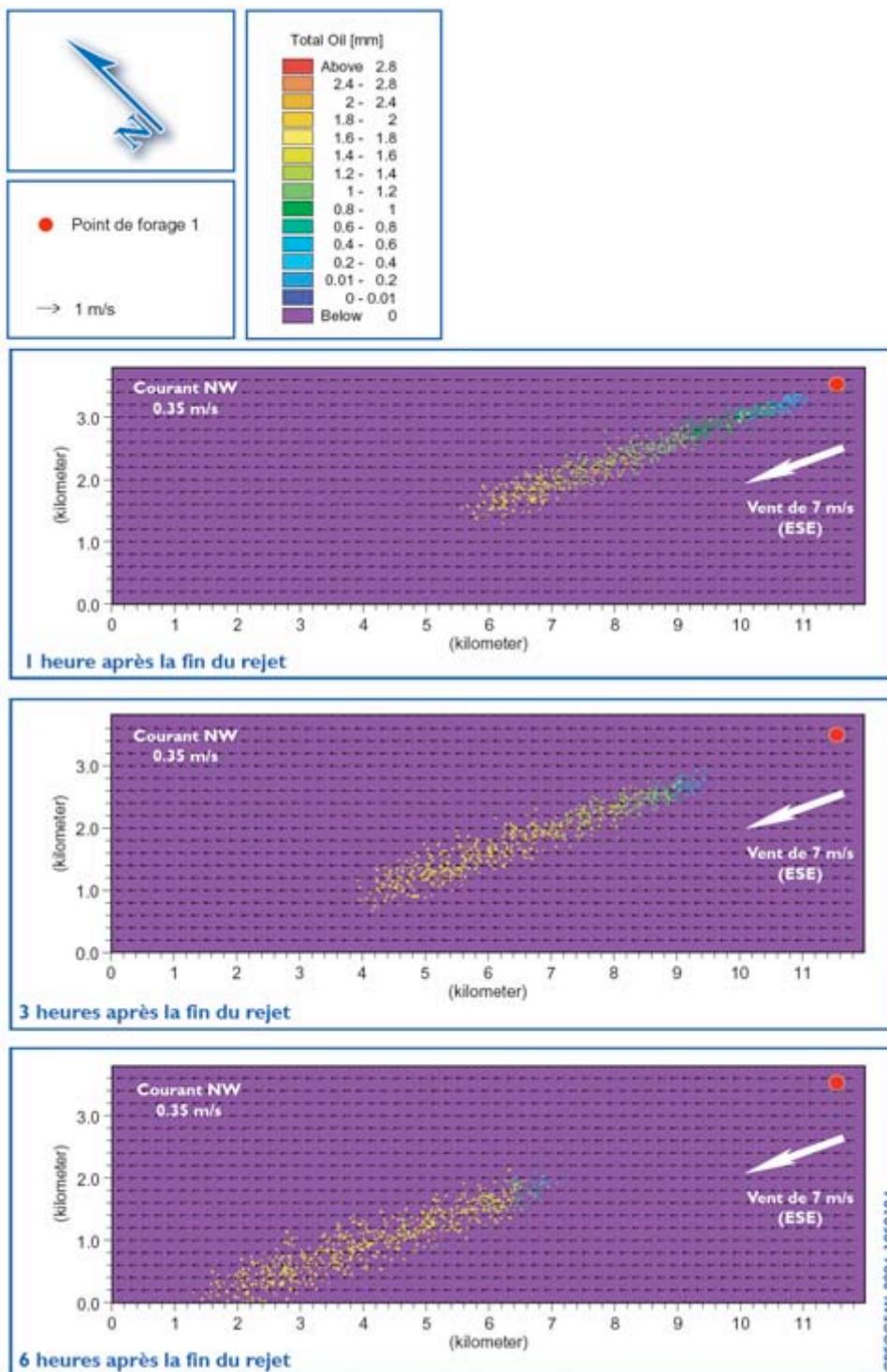
Le rejet a été simulé pour les caractéristiques suivantes :

- un volume de polluant de 100 m³,
- une durée du rejet de six heures,
- des polluants de nature différente (kérosène, pétrole léger, pétrole brut, fioul lourd).

La **Figure suivante** représente une **moyenne du comportement de ces quatre hydrocarbures**. Elle permet de visualiser l'emplacement du rejet accidentel à différents instants après la fin du rejet.

On observe un panache dont la longueur est d'environ 5,5 km et une largeur comprise entre 400 et 1 000 mètres. On remarque dès ce moment un **fractionnement important de la nappe d'hydrocarbure**, avec une multitude de tâche qui compose le panache et dont l'épaisseur maximale moyenne sur une maille n'excède pas 3 mm.

Figure 4.2. Allure du panache à proximité du point de rejet (Créocéan, 2006)



La zone d'étude étant très importante (environ 2 000 km par 2 000 km), il est impossible de créer un modèle numérique de cette emprise avec une maille de l'ordre de 20 mètres, du fait du nombre de mailles qui serait beaucoup trop important. De ce fait, le modèle à grande emprise a été créé avec des tailles de maille de l'ordre de 18 kilomètres de côté.

Ce modèle va permettre de répondre à l'objectif principal de l'étude qui est de spécifier les zones potentiellement touchées par le panache de polluant en particulier au niveau des côtes guyanaises et des pays voisins.

En revanche, ce modèle ne permettra pas une grande précision au niveau de la taille du panache. En effet, le volume de polluant calculé dans chacune des mailles est donné en sortie du modèle comme une épaisseur équivalente : le volume d'hydrocarbures présent est réparti de manière uniforme sur toute la maille (qui est plus grande que le panache). Ces épaisseurs équivalentes seront ainsi excessivement faibles.

Vieillessement de la nappe

Afin de modéliser plus précisément le vieillissement de la nappe au cours du temps, le logiciel ADIOS@2 développé par la NOAA a été utilisé.

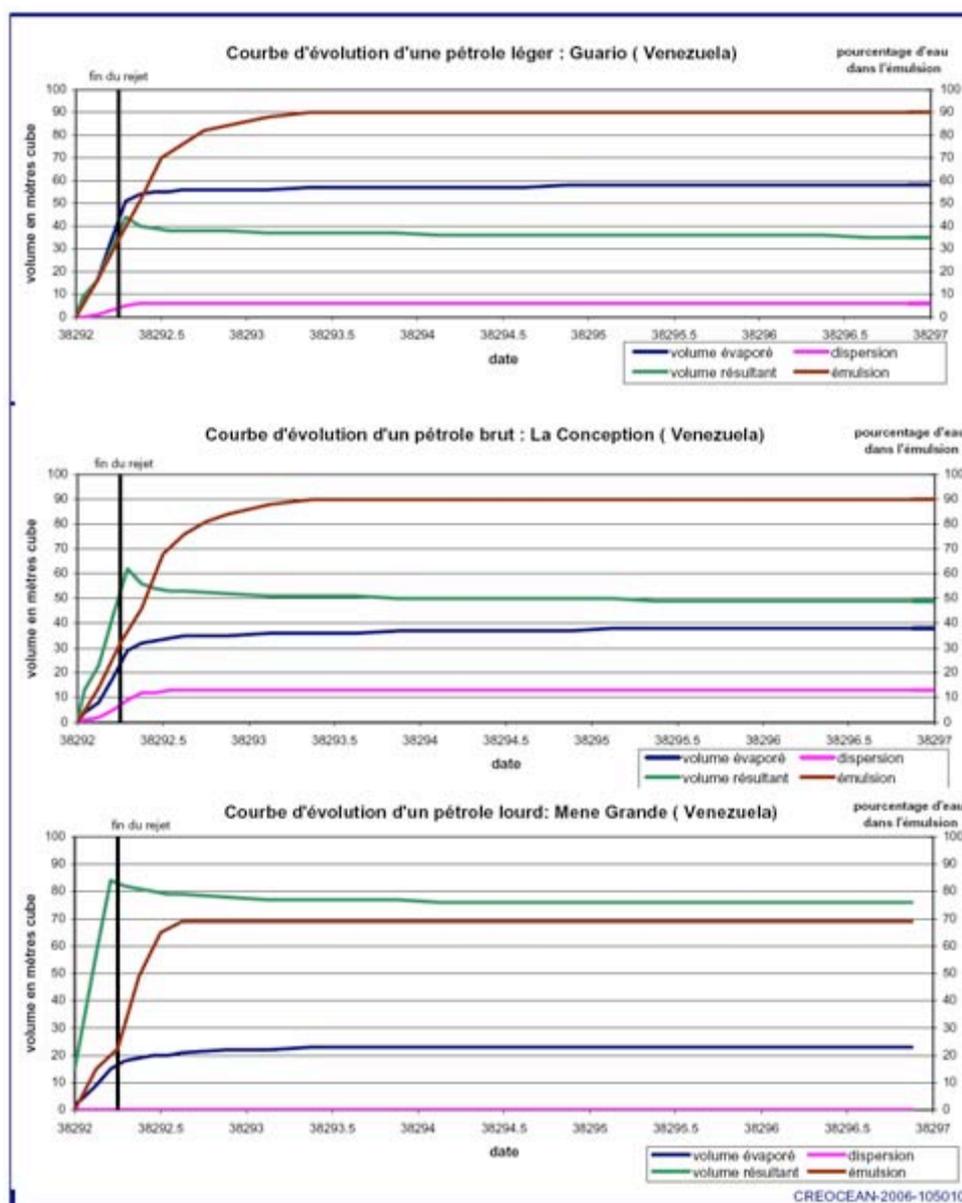
Les conditions de courant et de vent rencontrées au niveau des points de forage ainsi que les caractéristiques d'un rejet de polluant de 100 m³ en six heures sont utilisées comme données d'entrée du modèle.

Le rejet accidentel d'hydrocarbures subit de fortes modifications lors des premières heures et les premiers jours après le rejet. En effet, les phénomènes d'évaporation, d'émulsion et de dispersion sont importants durant ce laps de temps, puis deviennent négligeables par la suite. La quantité restante diminue fortement lors de ces premiers jours puis atteint un certain seuil. Ce seuil est différent suivant le type d'hydrocarbure modélisé.

Le vieillissement du kérosène est assez semblable à celui du gazole (cf. **Graphique 4.1**). Ce produit très léger montre une forte évaporation, avec une quantité restant à la surface de la mer qui diminue très rapidement puisque plus de 80% du rejet s'est évaporé au bout de 6 heures. Au bout de cinq jours, il ne reste plus rien.

Le **Graphique 4.3** permet de visualiser les courbes d'évolution de la quantité d'hydrocarbure restante et des phénomènes physiques tels que l'évaporation, la dispersion et l'émulsion pour trois exemples d'hydrocarbures.

Graphique 4.3. Vieillessement de trois hydrocarbures différents (NOAA)



Ainsi, pour un pétrole de type léger, la quantité restante au bout de cinq jours représente seulement 35 % du volume total déversé. Cette valeur atteint environ 50 % dans le cas d'un pétrole brut et environ 75% pour un pétrole lourd.

Lors des premières heures de rejet, les hydrocarbures se modifient, du fait de l'évaporation des composés les plus volatiles qui les composent et de l'émulsion ; la viscosité du mélange augmente de façon très importante. Le produit devient très visqueux et peut, suivant ses caractéristiques chimiques, se retrouver à l'état solide.

L'émulsion est le phénomène physique par lequel des gouttelettes d'eau s'introduisent dans l'hydrocarbure pour former un mélange. L'émulsion atteint rapidement une valeur critique, caractéristique de chaque type d'hydrocarbure. Elle crée un mélange dont la densité augmente, le mélange devient très persistant et réduit l'importance des autres phénomènes tels que l'évaporation ou la dispersion. L'épaisseur de cette émulsion peut être de quelques centimètres.

Les différents graphiques du **Graphique 4.3** permettent de remarquer qu'au bout d'une durée de **cinq jours**, les caractéristiques de l'hydrocarbure n'évoluent plus et un certain pourcentage du volume total initial persiste. Cet hydrocarbure va alors subir des phénomènes plus complexes comme la sédimentation ou la biodégradation qui ne sont pas modélisés par le logiciel. Ces phénomènes sont relativement lents, l'hydrocarbure peut donc être transporté par les courants sur de grandes distances avant disparition.

Ces hydrocarbures ne vont pas rester sous forme de nappe au-delà de cinq jours. Compte tenu des volumes très faibles par rapport aux surfaces couvertes, le fractionnement sera important, comme le montre la **Figure 4.2**, qui visualise le panache après quelques heures. Sous l'action des courants, du vent et surtout de l'agitation, ces phénomènes de fractionnement vont s'amplifier.

Après quelques jours, ces fractionnements seront tels que l'on ne pourra plus réellement parler de nappe d'hydrocarbures. Dans la pratique, il s'agira *a priori* plus d'éléments particuliers, pouvant être définis comme des traces d'hydrocarbures.

Panache sur la zone d'étude

Plusieurs types d'hydrocarbures ont été simulés afin de tester les effets des variations de propriétés du rejet. Cette série de simulations n'a pas permis d'observer de réelles différences au niveau de la trajectoire suivie par le rejet accidentel. En conséquence, les **Figures 4.3 à 4.9** sont présentées pour un pétrole brut dont les caractéristiques, plus pénalisantes qu'un carburant (évaporation moindre), sont spécifiées dans le **Tableau 4.5**.

Le modèle à grande emprise a été créé avec des tailles de maille de l'ordre de 18 kilomètres. Il s'étend du Brésil, à l'est jusqu'à l'arc antillais, à l'ouest. Pour chaque pas de temps, le volume de polluant calculé dans chacune des mailles est donné en sortie du modèle comme une épaisseur moyenne de nappe en mm.

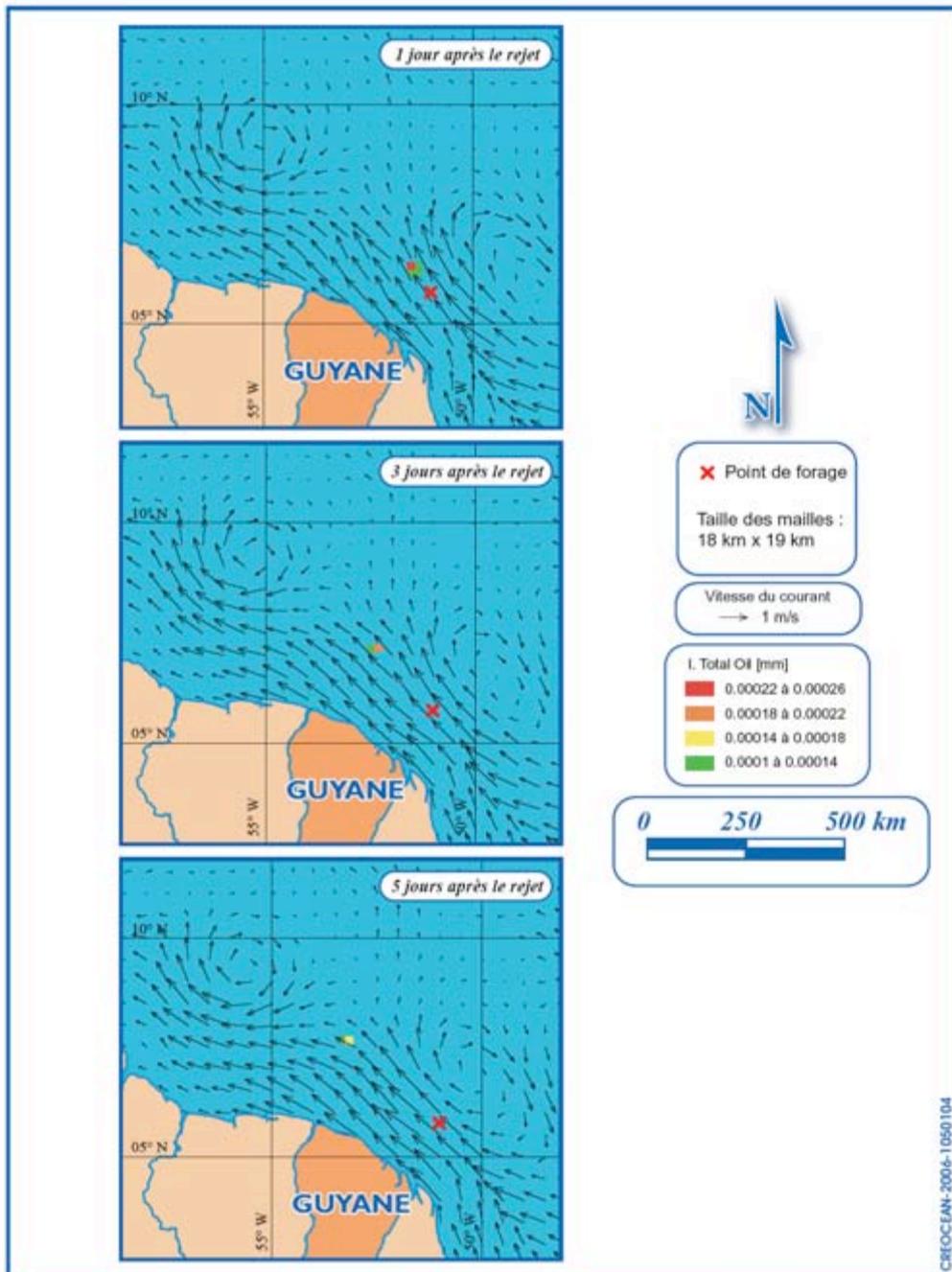
a) *Emprise de la nappe*

Un rejet de 100 m³ de polluant a été simulé en utilisant les conditions de courants du 1er avril 2005, représentatives de la période où le forage aura lieu. Compte tenu des conclusions sur le vieillissement du rejet accidentel, une durée de cinq jours a été retenue pour suivre le panache. La **Figure 4.3** permet de visualiser l'emplacement du rejet accidentel à différents instants sur l'ensemble du modèle pour différentes conditions de rejet.

Pour les différentes simulations réalisées, les résultats obtenus sont présentés sous forme de gammes de couleurs correspondant à l'épaisseur équivalente en mm du rejet accidentel résultant. Les courants de surface ainsi que l'emplacement du point de forage considéré sont également représentés. Les principales observations sont les suivantes :

- L'emprise maximale instantanée du rejet accidentel est relativement modeste, comprise généralement entre deux et quatre mailles.
- Les déplacements des panaches sont plus ou moins importants suivant les conditions de simulation et en particulier des conditions de courant.
- En avril, les distances parcourues sont importantes, le panache est emmené vers le Nord-Ouest. Pour Kawana qui se situe dans le courant de Guyane, tout comme GM-ES-1, la nappe parcourrait 300 km en cinq jours.

Figure 4.3. Emplacement de la nappe jusqu'à cinq jours après un rejet le 1^{er} avril 2005 (Créocéan, 2006)



b) Trajectoire du panache

Des rejets de 100 m³ sur 6 heures ont ainsi été effectués aux 1^{er}, 8, 15 et 22 avril 2005. Les **Figures 4.4 à 4.7** permettent de visualiser la trajectoire **sur une durée de cinq jours** d'un rejet accidentel engendrée à une date précise. L'emplacement du rejet accidentel à différents intervalles de temps après le rejet est également représenté.

Les principales observations sont les suivantes :

- La trajectoire empruntée par le rejet accidentel d'hydrocarbure dépend fortement du moment du rejet accidentel et des courants associés,
- Pour Kawana, en avril, les trajectoires parcourues par la nappe d'hydrocarbures en cinq jours sont, pour les jours testés, toujours orientés nord-ouest à ouest-nord-ouest,
- En revanche, les distances parcourues peuvent être très différentes. Pour Kawana pour un rejet le 8 avril, la distance parcourue en cinq jours est de 450 km. Elle n'est que de 140 km pour le 22 avril.

Figure 4.4. Trajectoire d'une nappe d'hydrocarbure rejetée le 1^{er} avril 2005
(Créocéan, 2006)

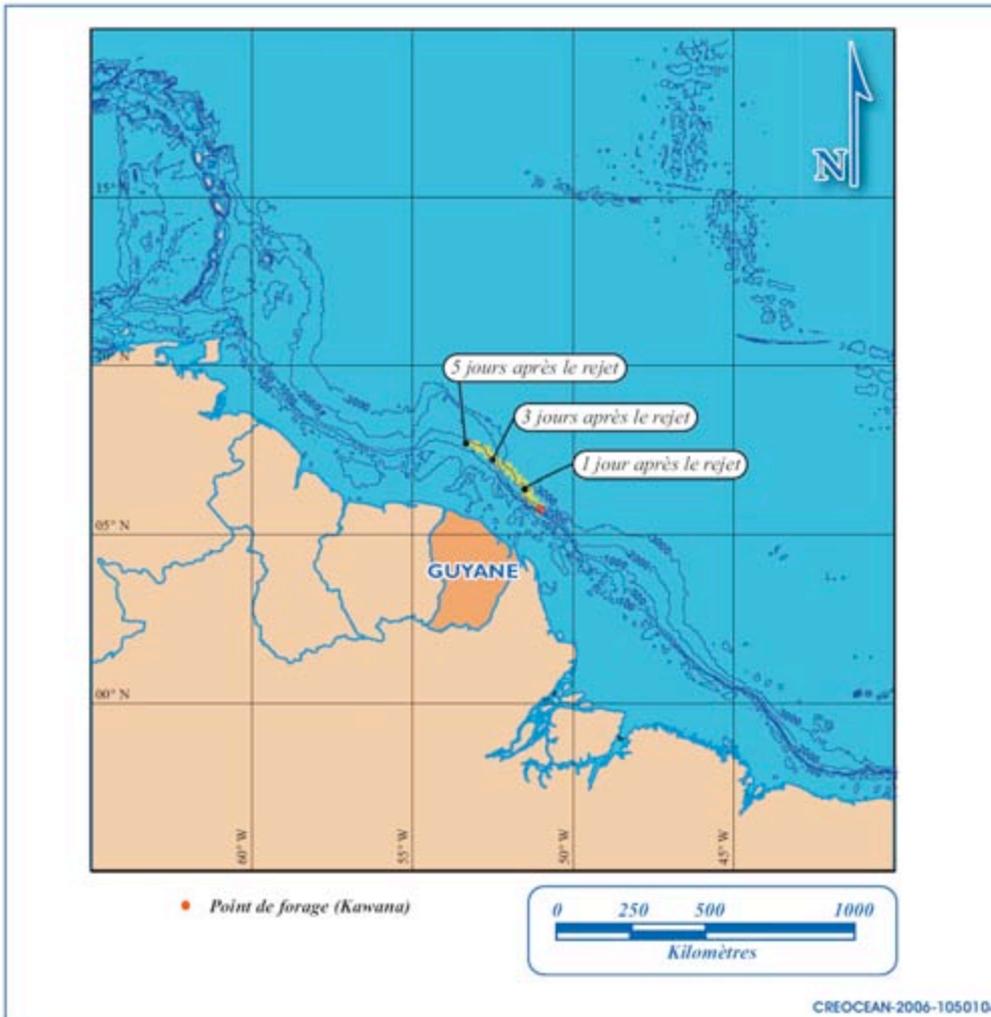


Figure 4.5. Trajectoire d'une nappe d'hydrocarbure rejetée le 8 avril 2005
(Créocéan, 2006)

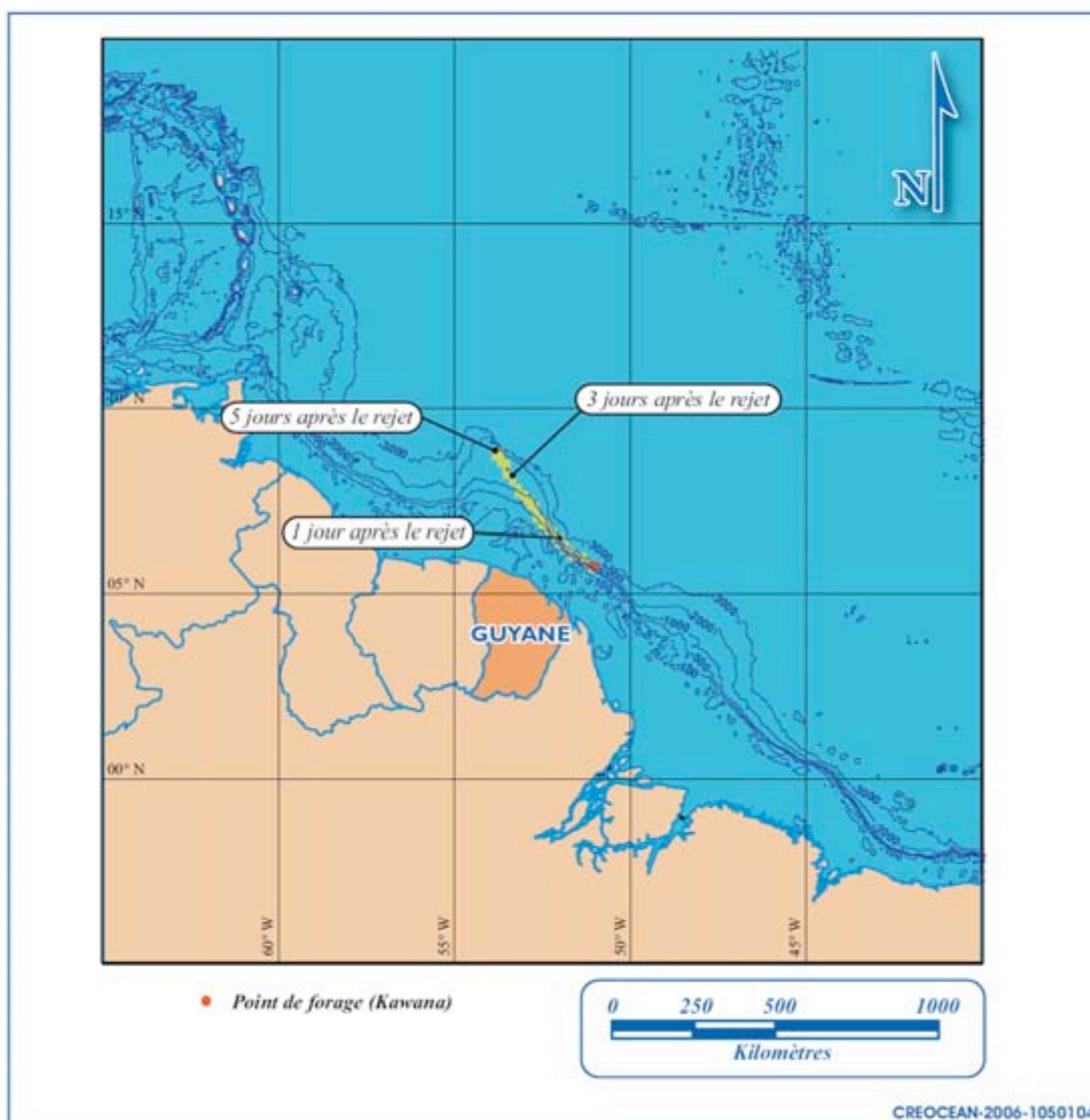


Figure 4.6. Trajectoire d'une nappe d'hydrocarbure rejetée le 15 avril 2005
(Créocéan, 2006)

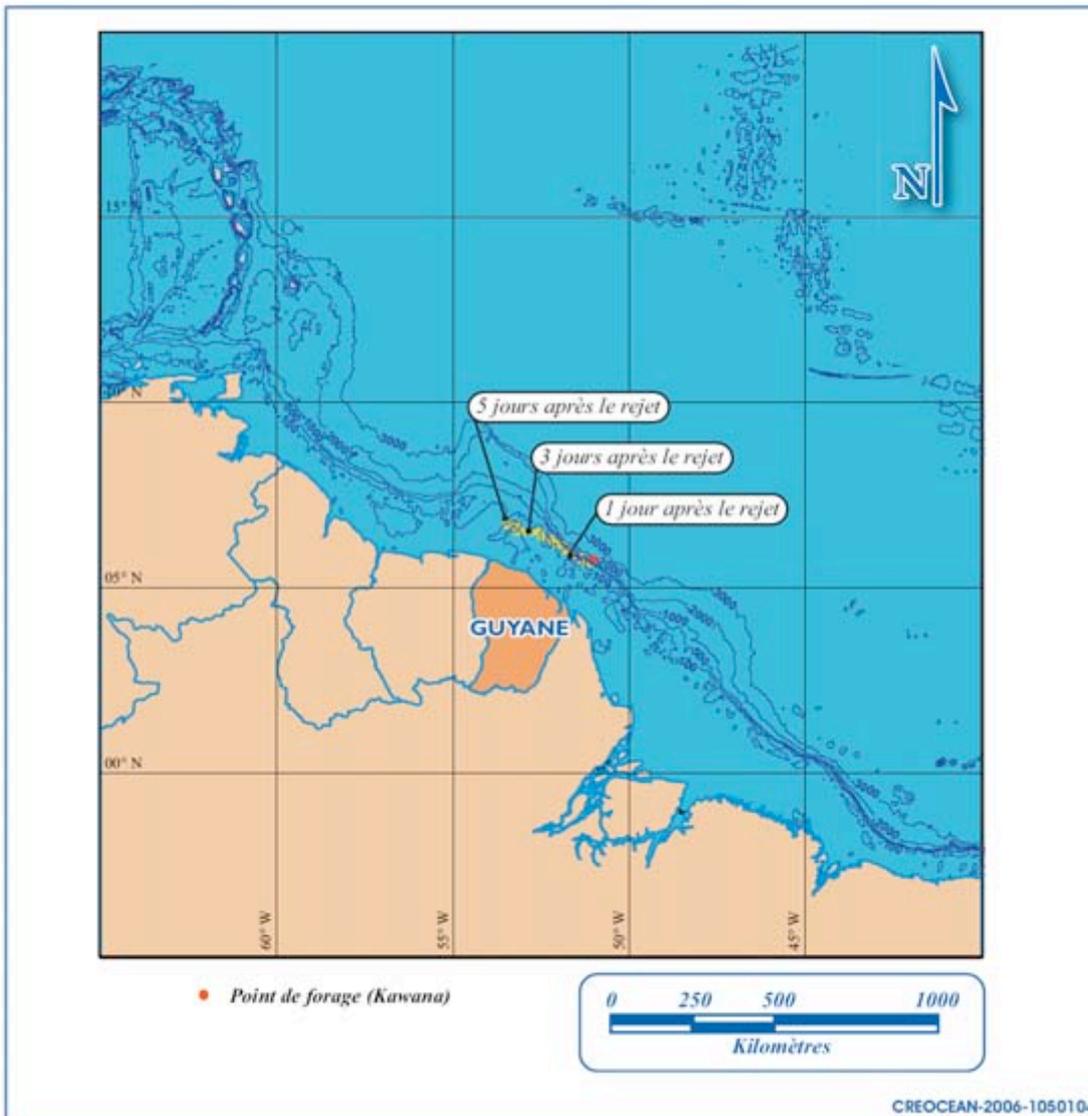
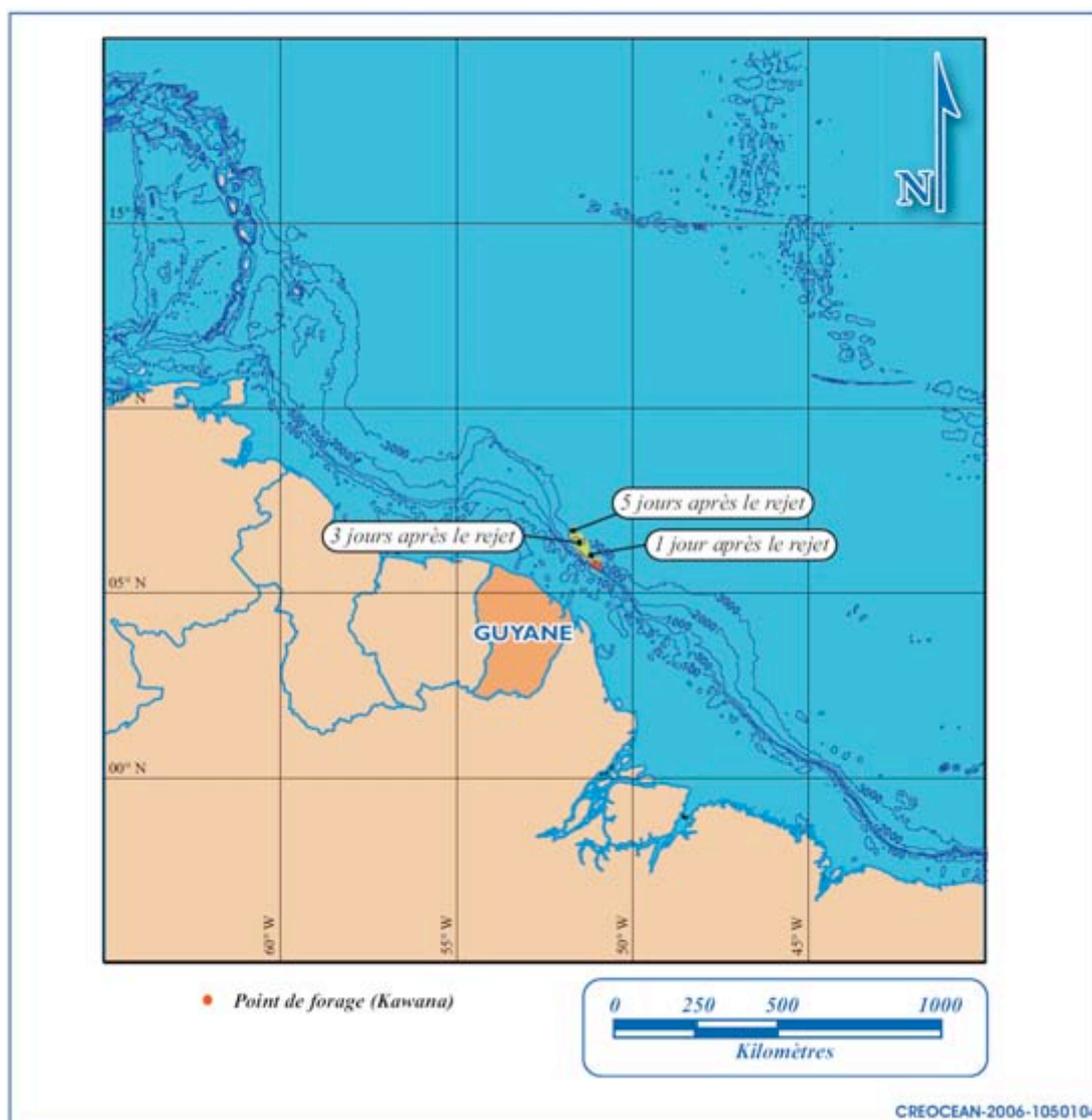


Figure 4.7. Trajectoire d'une nappe d'hydrocarbure rejetée le 22 avril 2005
(Créocéan, 2006)



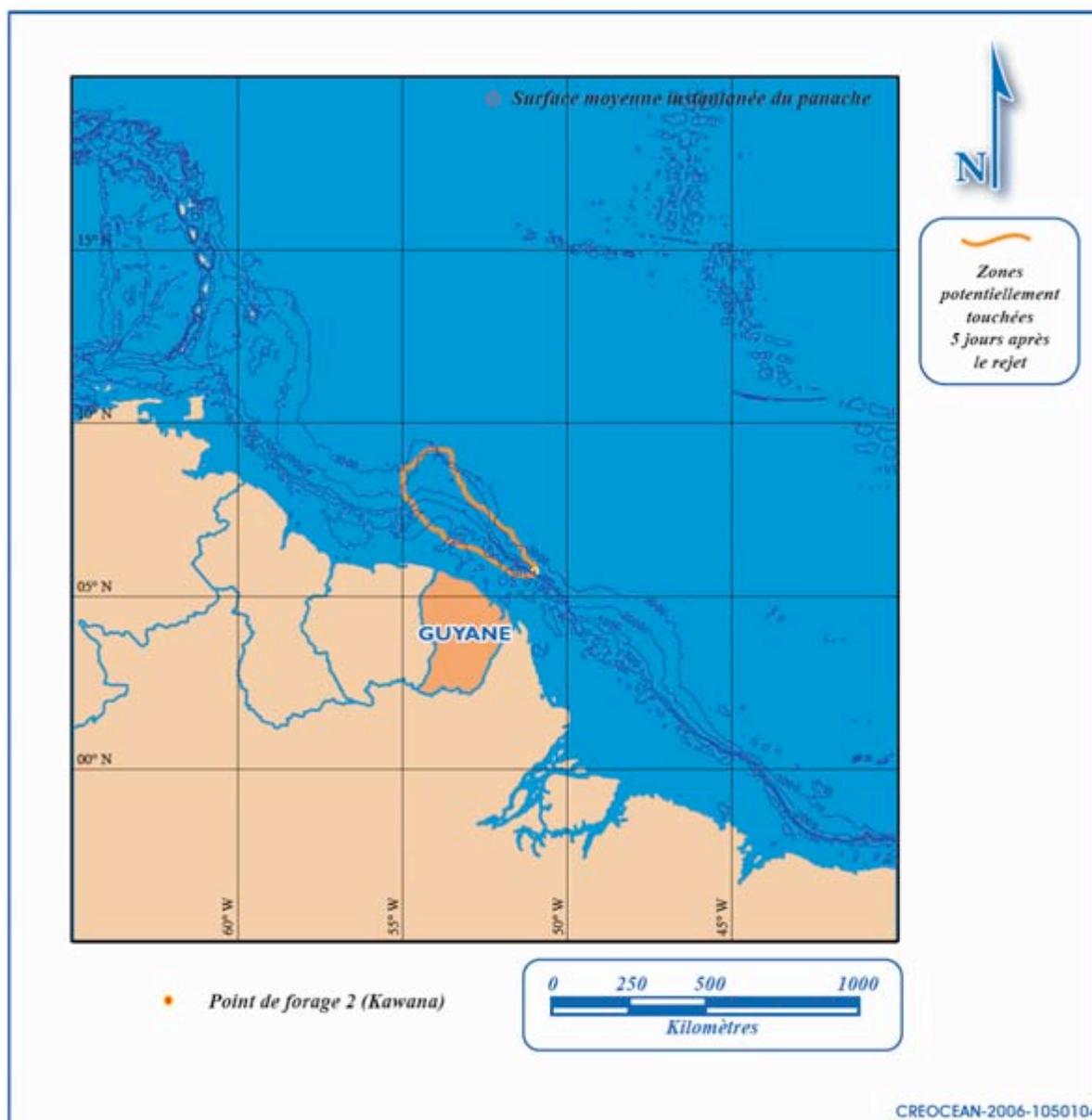
c) Localisation potentielle du panache

Une modélisation du rejet accidentel a été réalisée pour chaque jour du mois d'avril 2005. Le trajet du panache est suivi pendant cinq jours, durée qui correspond à la disparition de la nappe. On dispose donc de 30 simulations pour chaque mois.

On définit alors la courbe enveloppe des zones potentiellement touchées cinq jours après le rejet ; elle entoure les trajets des 30 simulations (**Figure 4.8**).

Cette figure ne représente pas l'emprise d'une nappe d'hydrocarbures mais la localisation potentielle de la nappe au cours du mois d'avril.

Figure 4.8. Courbe enveloppe des zones potentiellement affectées par un rejet accidentel au cours du mois d'avril 2005 (Créocéan, 2006)



Les principales observations sont les suivantes :

- Dans toutes les différentes simulations, on n'observe pas de déplacement du panache en direction des côtes d'Amérique du Sud, en particulier celles de la Guyane et des pays voisins. Le panache reste très nettement au large des côtes,
- Au mois d'avril, les zones potentiellement atteintes par le panache se situent au Nord-Ouest du point de rejet. En raison des courants importants de direction Nord-

Ouest, les panaches engendrés sont étalés. Ainsi, l'étendue maximale de la zone potentielle est de 550 km de long et d'environ 250 km de large.

- Pour un rejet sur Kawana au mois d'avril, une partie de la courbe enveloppe se situe à l'aplomb de fonds compris entre -100m et -500m.

Côtes potentiellement touchées par le panache

D'après les figures précédentes, quelle que soit la date du rejet, on a pu remarquer qu'**aucune côte n'est touchée par une nappe après une durée de cinq jours.**

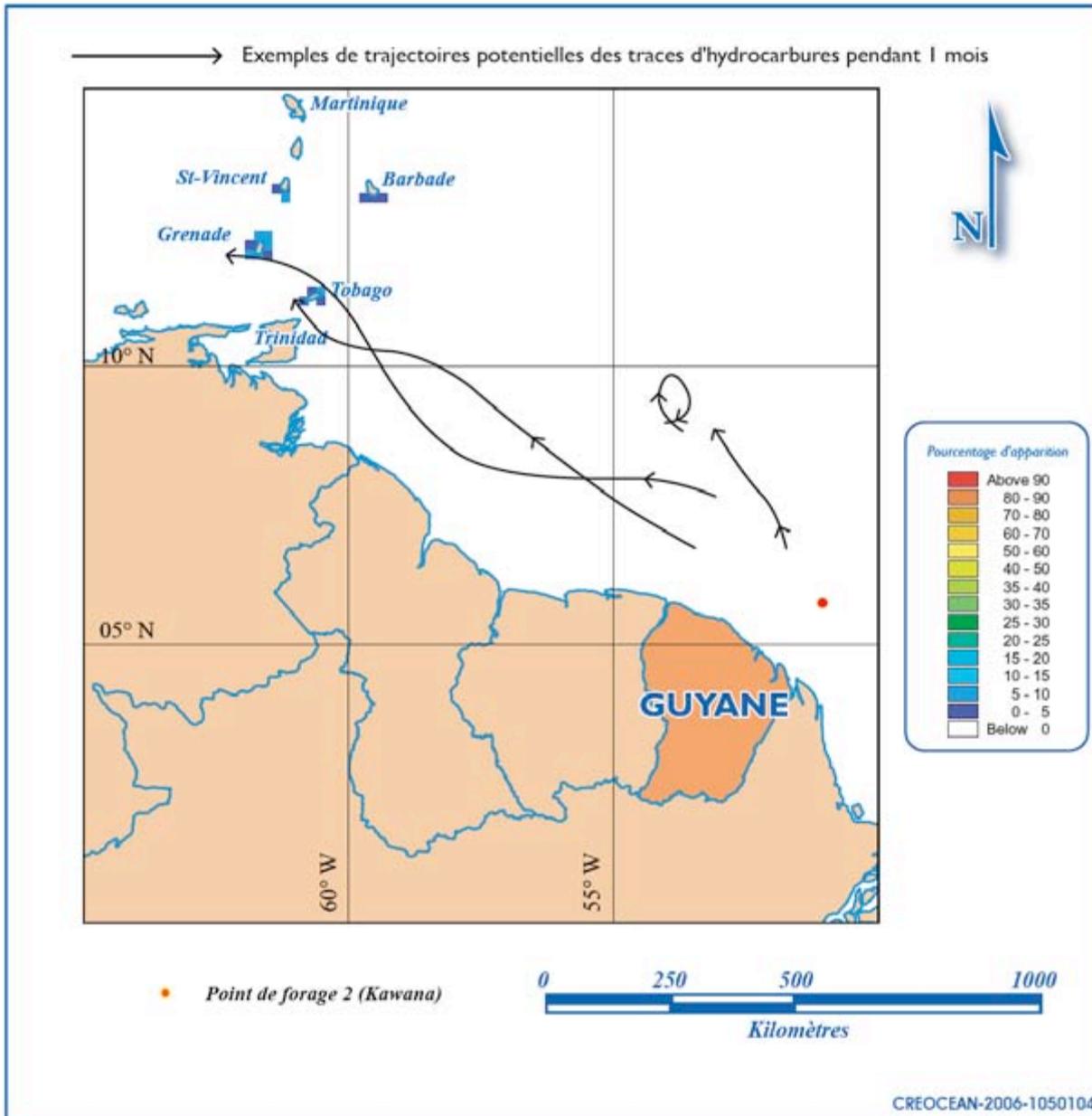
Une étude complémentaire a été réalisée afin d'identifier les directions prises par les traces d'hydrocarbures provenant de la désagrégation du rejet accidentel. Une durée d'un mois a été choisie afin d'illustrer les déplacements potentiels.

Comme on a pu le voir précédemment, on n'observe pas de déplacement en direction des côtes d'Amérique du Sud.

La **Figure 4.9** permet de visualiser les côtes potentiellement touchées par des traces d'hydrocarbures transportées par les courants, sur une durée d'un mois, ainsi que la probabilité d'apparition de ces traces d'hydrocarbures. Les probabilités d'apparition sont calculées comme étant le nombre de simulations aboutissant à un secteur côtier particulier, divisé par le nombre total de simulations du mois donné (30 pour cette étude). Ainsi, une probabilité d'apparition de 3% correspond à une seule simulation sur 30 qui aboutit sur une portion de littoral.

Les zones potentiellement touchées pour un rejet accidentel avec les conditions du mois d'avril 2005 se situent au Sud de l'arc antillais, avec en particulier Tobago, la Barbade, Saint-Vincent et la Grenade. Pour la durée considérée, les probabilités d'apparition sont comprises entre 3% et 6%, selon les secteurs côtiers considérés.

Figure 4.9. Côtes potentiellement touchées par les traces d'hydrocarbures suite à un rejet accidentel au cours du mois d'avril 2005 (Créocéan, 2006)



4.1.8.6 - Conclusions

Afin de connaître avec précision les trajectoires des nappes et traces d'hydrocarbures, une bonne connaissance des courants par modélisation numérique a été nécessaire. Pour cela, des données issues d'un modèle à plus grande emprise sur l'Atlantique Nord développé et validé par le GIP Mercator Océan ont été utilisées.

A partir de l'exploitation d'une année de données, une situation de courant caractéristique de la période du forage a été choisie : celles d'avril 2005, marquées par un courant fort, le courant de Guyane, dont la direction est relativement constante, portant vers le Nord-Ouest.

A partir des résultats de courant sur la zone d'étude (cf. **Chapitre 3**), une modélisation de dérive de nappe d'hydrocarbures a pu être réalisée afin d'étudier les trajectoires et les zones potentiellement touchées par un rejet accidentel survenu lors d'opérations de forage. Plusieurs hydrocarbures ont été considérés, allant du kérosène au pétrole lourd. Il est à noter que ces rejets accidentels sont relativement rares et les volumes d'hydrocarbures mis en jeu sont faibles.

Le module PA/SA de la chaîne de modélisation MIKE a été utilisé pour modéliser l'évolution et les trajectoires de nappes d'hydrocarbures tandis que le logiciel ADIOS®2 développé par la NOAA a permis de caractériser le vieillissement de la nappe.

Le panache engendré par différents types d'hydrocarbures a tout d'abord été analysé sur une zone relativement proche du point de rejet avec un modèle dont la taille était de 20 mètres. A titre d'exemple, pour un rejet effectué en avril à Kawana (conditions semblables à GM-ES-1), les caractéristiques de ce panache sont une longueur d'environ 5 kilomètres et une largeur moyenne d'environ 600 mètres. La zone d'étude étant très vaste (4 millions de km²), un modèle avec une taille de maille si fine n'a pu être réalisé, et remplacé par un modèle avec une maille de l'ordre de 18 kilomètres de côté.

Chaque type d'hydrocarbure subit les phénomènes d'évaporation, de dispersion ou d'émulsion qui diffèrent en intensité suivant ses caractéristiques chimiques. Ces phénomènes sont importants dans les premières heures après le rejet car ils transforment l'hydrocarbure en un mélange dont la viscosité et la densité augmentent, le rendant parfois à l'état solide.

Pour un pétrole brut moyen, environ 50% du volume rejeté initialement est éliminé en quelques jours par les phénomènes d'évaporation et de dispersion. Cette valeur diffère suivant le type d'hydrocarbure, et sera par exemple plus faible pour un pétrole lourd ou plus

élevé pour un pétrole léger ou un kérosène, mais aussi suivant les conditions météorologiques, comme le vent et la température de l'air qui permettent d'accélérer ces processus.

En cas d'accident, compte tenu des volumes très faibles des rejets par rapport aux surfaces couvertes, on observe un **fractionnement important du panache**. Ce phénomène sera amplifié après quelques jours sous l'action des courants, du vent et surtout de l'agitation. On ne pourra plus réellement parler de nappe mais plutôt de traces d'hydrocarbures cinq jours après le rejet accidentel. Une durée de cinq jours a donc été retenue pour suivre le panache.

Les différentes modélisations réalisées ont permis de montrer que les trajectoires suivies par la nappe sont différentes suivant le jour du rejet et des conditions de courant et de vent à cet instant.

L'emprise du panache lors des différentes simulations n'est pas très étendue, en partie en raison du faible volume du rejet.

Au bout de cinq jours et quelles que soient les conditions météo-océaniques, aucun déplacement du panache vers les côtes de Guyane et des pays voisins, tels que le Brésil ou le Surinam, n'a été observé.

Le panache se déplace généralement en direction du Nord-Ouest ou du Nord. Les distances parcourues sont plus ou moins importantes suivant les conditions de courant.

Une étude complémentaire a été réalisée afin de visualiser les directions suivies par les traces d'hydrocarbures sur une durée d'un mois. Les conditions du mois d'avril 2005 apparaissent défavorables, car les trajectoires des résidus portent, sous certaines conditions, vers l'arc antillais. La zone des îles situées au sud de l'arc antillais, comme la Barbade, Saint-Vincent, la Grenade, Tobago, est potentiellement atteinte par les traces d'hydrocarbures pour les conditions météo-océaniques du mois d'avril 2005. Néanmoins, les probabilités d'apparition de traces d'hydrocarbures au niveau de ces îles sont faibles.

En cas de rejet accidentel, des mesures compensatoires, dans les premiers jours, tels qu'un confinement et un pompage de la nappe ou l'utilisation de produit dispersant permettrait de limiter encore plus ces risques.

4.2 - Analyse de la magnitude des impacts spécifiques du projet

L'analyse des impacts spécifiques du projet sur l'environnement naturel et humain s'effectue en trois étapes successives.

Dans un premier temps, l'intensité des impacts de ce projet sur l'eau, sur les sédiments, sur l'air et sur les usages sera abordée successivement. Puis, le paramètre temporel (fréquence et durée de l'effet) de chaque impact puis la sensibilité du milieu touchée sont déterminés. Enfin, la notation globale de chaque impact est menée, aboutissant à quantifier chaque effet.

4.2.1 - Intensité des effets sur l'environnement

Les effets du forage en mer vont être décrits pour chaque grand compartiment : l'eau, le sédiment, l'air et les usages (cf. **Tableau 2.2**)

4.2.1.1 - Effets sur le compartiment « Eau »

Les composantes physiques et biologiques du compartiment « Eau » sont passés en revue.

Physicochimie

Les effets sur la physicochimie de l'eau de mer sont potentiellement dus :

- aux eaux usées des moyens nautiques, par rejet de matières organiques et de détergents ménagers,
- aux rejets liquides accidentels de toute nature : carburant, fluide hydraulique, lubrifiants, produits chimiques,
- aux déchets produits par la vie à bord (emballages souillés ou non, chiffons, débris métalliques, sacs plastiques, etc.),
- au déversement des déblais de forage.
- aux éventuels rejets accidentels d'hydrocarbures.

a) Eaux usées

La production journalière d'eaux usées est évaluée à :

- 18 m³ pour les eaux noires (WC), chargées en matière organique,
- 40 m³ pour les eaux grises (douches, vaisselle, laverie), chargées en détergents et en matière organique.

Ces eaux usées sont rejetées dans des eaux marines exemptes de ces contaminations : il y a donc un effet sur la qualité de l'eau. Cependant, les quantités d'eaux usées sont très faibles et rejetées dans un milieu très renouvelé : la dispersion de ces rejets sera *a priori* rapide, et l'effet attendu sur la qualité de l'eau est négligeable.

Par ailleurs, le nettoyage du support de forage et les pluies occasionnent une contamination par des particules, des additifs du forage et des hydrocarbures. Ces eaux sont dirigées vers un système de traitement avant rejet dans le milieu. Les particules et les polluants à leur surface sont piégés dans un séparateur, tandis que les contaminants moins denses que l'eau (carburant, huile) sont retenus par le déshuileur. L'altération de la physicochimie de l'eau de mer par ce biais apparaît donc négligeable.

b) Rejets liquides accidentels

Les rejets liquides accidentels de faible importance peuvent être dus principalement à des incidents, à des erreurs de manipulation ou à des comportements inadaptés.

La compagnie Tullow Oil impose à chaque sous-traitant d'avoir des procédures Hygiène, Sécurité et Environnement (HSE). Par définition, les procédures HSE correctement mises en œuvre et évaluées, ainsi que l'entretien mécanique préventif sont des facteurs qui diminuent les fréquences de rejet ; les volumes à considérer sont faibles.

La palette des produits susceptibles d'être contenus dans ces rejets liquides accidentels est large, ainsi que la liste des contaminants correspondants. Leur effet sur la physicochimie est réel, mais limité par des volumes *a priori* faibles et un hydrodynamisme fort, entraînant une rapide dispersion / homogénéisation.

c) Déchets solides

Les principaux déchets solides générés par les opérations de forage en mer sont des déchets ménagers, des déchets industriels banals (DIB, assimilables aux déchets ménagers) et les déchets industriels spéciaux (DIS). Une évaluation des quantités produites pendant le forage aboutit à :

- 10 tonnes de déchets ménagers,
- 90 kg de DIB (palettes, bois, débris métalliques non souillés).

Les DIS se composent d'environ 20 tonnes d'emballages ayant contenu des produits chimiques ou souillés, de 7 000 litres d'huile usagée. Les quantités des autres DIS sont plus difficiles à évaluer.

Le plan de gestion des déchets à bord est partie intégrante des règles HSE de chaque support nautique. **Il est strictement interdit de jeter des déchets à la mer.** Les déchets sont triés et stockés par groupes en fonction des filières de recyclage. La mise en œuvre et le suivi du plan de gestion des déchets à bord de chaque navire doit permettre que l'effet des déchets sur la qualité de l'eau soit négligeable.

Il pourrait cependant arriver que des déchets passent par-dessus bord. Ces déchets peuvent constituer une source d'altération de la qualité de l'eau de mer, de par leur composition ou lors de leur dégradation. Les volumes potentiels sont faibles, car la gestion des déchets à bord sera bien encadrée. Les déchets ne constitueront pas une source de contamination significative pour l'eau.

d) Déblais de forage

Le déversement des déblais de forage depuis la surface se fait de manière discontinue, par lâchers de plusieurs mètres cubes.

Les particules les plus grosses vont sédimenter rapidement. En revanche, les particules les plus fines ont des vitesses de chute beaucoup plus lentes ; elles vont demeurer un certain temps dans la colonne d'eau et vont se déplacer au gré des courants. Il va se créer un panache turbide à partir du point de rejet. On aura ainsi une augmentation significative et temporaire de la turbidité des eaux marines qui sont, à l'état naturel, très peu chargées en matières en suspension. Compte tenu des vitesses de chute des particules (voir **Tableau 4.2**) et de la hauteur d'eau, la perturbation de la transparence de l'eau dure entre 30 minutes et deux semaines après le rejet.

Les effets des déblais de forage sur la qualité de l'eau peuvent également être indirects. En effet, certains composants de la boue de forage, en dépit de la séparation effectuée en seconde partie de forage, peuvent rester fixés à la surface des déblais de forage (métaux lourds contenus dans les additifs de la boue de forage, composés chimiques, hydrocarbures du réservoir). Une partie d'entre eux peut migrer dans l'eau de mer durant la chute de ces particules. Cette capacité de passer du sédiment vers l'eau de mer n'est pas la même pour tous les contaminants. Cette capacité se traduit par une grandeur physique, le **coefficient de partage**, noté K_d . Un K_d élevé traduit le fait que le contaminant va rester à la surface du sédiment plutôt que de passer en solution dans l'eau de mer.

Le **Tableau 4.6** indique, pour quelques métaux lourds et hydrocarbures, la faculté qu'ils ont de rester ou non adsorbés sur les particules en suspension dans l'eau de mer. Le pourcentage susceptible de passer dans l'eau de mer est l'inverse du K_d .

Tableau 4.6. Coefficient de partage sédiment / eau de contaminants caractéristiques du forage pétrolier (GRNC, INERIS)

Contaminant	Coefficient de partage K_d	% susceptible de passer dans l'eau de mer
Baryum	1 582	0,063%
Cadmium	1 000	0,100%
Mercure	56 100	0,002%
Plomb	100 000	0,001%
Zinc	1 000	0,100%
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	125 à 630 000	<0,001 à 0,800%

Ces résultats montrent la variabilité de la capacité des contaminants à rester sur les déblais de forage. On voit que pour les métaux caractéristiques de l'activité de forage, les pourcentages de relargage dans l'eau de mer sont inférieurs ou égaux à 0,1%. Pour les hydrocarbures, on note une très grande plage de variation de comportement, entre certains qui se séparent plus facilement des sédiments en suspension que les métaux lourds, et d'autres qui sont très peu susceptibles de passer dans l'eau de mer.

Afin d'évaluer l'effet des déblais de forage sur l'eau de mer, un calcul va être mené à partir d'un exemple de déblai de forage (METOCEAN, 1996).

Tableau 4.7. Exemple de teneurs en contaminants d'un déblai de forage (METOCEAN, 1996)

Contaminant	Concentration (µg/g de sédiment sec)
Baryum	397,5
Cadmium	0,4
Mercure	779,0
Plomb	15,8
Zinc	192,5
Hydrocarbures	200 ⁽¹⁷⁾

Les quantités totales de contaminants contenues dans les déblais et la fraction qui migre dans l'eau de mer sont calculées dans le **Tableau 4.8** en considérant les concentrations du **Tableau 4.7** et le volume de déblais déversés lors de ce projet (cf. **Tableau 4.1**).

Tableau 4.8. Exemple d'évaluation des quantités de contaminants des déblais de forage passant dans l'eau de mer

Contaminant	Concentration (µg/g de sédiment sec)	Quantité initiale dans les déblais de forage (kg)	Quantité totale passant dans l'eau de mer (g)
Baryum	397,5	588,8	372
Cadmium	0,4	0,6	0,6
Mercure	779,0	1153,9	21
Plomb	15,8	23,4	0,2
Zinc	192,5	285,1	285
Hydrocarbures ¹⁸	200	296,2	37

NB : les chiffres de ce tableau correspondent aux apports dus à la totalité des déblais. Dans le détail, le déversement des déblais de forage se fait au fur et à mesure des opérations de forage qui doivent durer une soixantaine de jours.

¹⁷ Déblai d'un forage à la boue à l'eau ; les déblais de forage à la boue à l'huile ont des teneurs beaucoup plus fortes (158 000 µg/g dans la publication en référence).

¹⁸ Calcul effectué avec un Kd médian de 8 000. Avec une boue à l'huile, la quantité susceptible de se retrouver dans l'eau de mer serait de 29 kg (au lieu de 37 g)

Alors que le mercure est le métal lourd présentant la plus forte teneur dans le déblai de référence, on voit qu'il passe relativement peu dans l'eau de mer par rapport au baryum. Les apports en métaux lourds et en hydrocarbures attendus dans l'eau de mer sont extrêmement faibles.

L'effet des déblais de forage sur la qualité de l'eau se situe à la fois sur la turbidité et par l'apport de contaminants qui vont passer pour partie dans l'eau de mer.

L'effet sur la turbidité naturelle est de faible intensité, compte tenu de l'aire d'influence. L'effet des déblais de forage conduit à des augmentations négligeables dans l'eau de mer des teneurs en contaminants spécifiques du forage pétrolier.

e) *Boues de forage*

La boue sert à la fois à refroidir et lubrifier l'outil de forage et à entraîner les déblais hors du fond du puits. Sa composition pour le forage est donnée au **Tableau 4.4**.

Les concentrations des divers composants de la boue peuvent être calculées. Le volume de liquide correspond au volume de l'eau et des autres composants en phase aqueuse (agents de viscosité et émulsifiant par exemple).

Première phase de forage

Lorsque le tubage ne fait pas le lien avec le fond marin, la boue de forage est rejetée en continu dans le milieu, au niveau du fond, entre le train de tiges et les parois du forage.

Tableau 4.9. Pourcentage des additifs dans la boue du forage sans tubage complet avant rejet dans l'environnement (Tullow Oil, septembre 2010)

Composant	% du volume de la boue de forage
Eau douce	84,98%
Baryte	9,61%
Montmorillonite (argile)	5,30%
Amidon modifié	0,07%
Chaux	0,02%
Soude caustique	0,01%
Carbonate de sodium	0,01%

La boue sortant au niveau du fond marin va être mise en contact avec de l'eau de mer. De fait, les concentrations définies dans le **Tableau 4.9** vont chuter du fait de la dilution dans l'environnement, ce qui va diminuer fortement l'impact de la boue. Ces concentrations sont donc des maximas qui ne se produiront que dans la proximité immédiate du train de tiges.

Seconde phase de forage

Lorsque la recirculation de la boue est mise en place, **la boue n'est pas déversée dans le milieu : elle est stockée à bord après usage.**

Tableau 4.10. Pourcentage des additifs dans la boue du forage avec tubage complet (Tullow Oil, septembre 2010)

Composant	% de la boue de forage
Eau douce	49,60%
Huile synthétique Vassa LP 90 OA	26,81%
Baryte	11,24%
Chlorure de calcium	3,33%
Chlorure de sodium (sel)	3,16%
Glycol	2,02%
Amines	1,81%
Chlorure de potassium	1,06%
Argiles diverses	0,29%
Tanin	0,24%
Chaux	0,15%
Polymère acrylique	0,11%
Polyamide	0,08%
Amidon modifié	0,06%
Gomme xanthane	0,04%
Soude caustique	<0,01%

L'effet des boues de forage sur la qualité de l'eau est constitué par l'apport de contaminants qui vont être mis en contact avec l'eau de mer lors de la première phase de forage, et par un éventuel relargage d'une partie de la boue adsorbée à la surface des déblais de forage rejetés en mer.

Le pourcentage des composants hors eau douce dans la boue de la première phase du forage est voisin de 15%. Cette proportion diminue très fortement par effet de dilution quand la boue est déversée sur le fond. Au vu des vitesses des courants sur le site, l'effet de dilution sera assez rapide. L'effet sur la qualité générale de la colonne d'eau (2400 m de hauteur) sera réel mais faible.

f) Rejet accidentel d'hydrocarbures

L'éventualité un rejet accidentel plus important que celui traité précédemment peut se produire à l'occasion, peu fréquente, d'une rupture de cuve de carburant par exemple.

Ces hydrocarbures vont être soumis à des facteurs qui vont, d'une part, les disséminer (effet du vent et des courants) et, d'autre part, les dégrader (évaporation, oxydation, photolyse, dégradation biologique).

Dans l'exemple traité au **Chapitre 4.1**, un volume de 100 m³ a été considéré. Une heure après la fin du rejet, les simulations ont montré que la nappe d'hydrocarbures mesurait environ 5,5 km de long et 0,6 km de large, soit une surface de 3,3 km² (cf. **Figure 4.2**). Cette surface s'accroît avec le temps, du fait du déplacement des particules qui n'est pas identique pour toutes.

Cette nappe est soumise à l'évaporation (cf. **Graphique 4.3**) : en prenant comme base le comportement pénalisant du pétrole « La Concepcion », on voit qu'une heure après la fin du rejet, 30 m³ se sont déjà évaporés sur les 100 m³ rejetés. L'évaporation se poursuit jusqu'à trois jours après la fin du rejet ; elle représente alors 40% du volume du rejet.

En considérant la surface et le volume restant une heure après la fin du rejet, on peut évaluer la concentration moyenne en hydrocarbures dans la zone du panache à 18 mg/l, ce qui représente une contamination significative. Cette concentration va diminuer avec le temps, surtout du fait de l'étalement du panache mais aussi de l'évaporation et des phénomènes de dégradation biologique : six heures après la fin du rejet, la concentration moyenne dans le panache est de 13 mg/l.

L'effet est notable sur la qualité de l'eau au niveau du panache. Compte tenu des surfaces globales concernées par le rejet, l'effet est évalué faible à moyen.

Le plancton

Les effets sur le plancton sont liés aux émissions en surface du moyen nautique, elles sont passées en revue successivement.

a) Eaux usées

L'enrichissement relatif de l'eau de mer en carbone (issu de la matière organique) et en éléments nutritifs (azote, phosphore) provenant des eaux usées a un effet positif sur le plancton (le milieu est oligotrophe, c'est-à-dire pauvre en nutriments). En effet, le phytoplancton a besoin de ces substances pour se développer, au même titre que l'énergie lumineuse, qu'elle soit naturelle ou due à l'éclairage des supports nautiques.

En revanche, la turbidité et les produits détergents contenus dans les eaux usées ont un effet négatif sur ce développement.

Les eaux usées, compte tenu des volumes estimés et de l'hydrodynamisme fort du site de forage, devraient engendrer une perturbation de faible extension (quelques centaines de mètres autour des moyens nautiques), avant dilution complète.

Au total, on peut estimer que l'effet des eaux usées sur le plancton est négligeable.

b) Rejets liquides accidentels

Certains des liquides considérés, par exemple les carburants et huiles hydrauliques, vont pouvoir constituer un film à la surface de l'eau de mer. Ce film va intercepter une partie du spectre lumineux, ce qui peut inhiber le développement du phytoplancton.

Parmi les produits susceptibles d'être rejetés, certains ont un effet nocif sur le compartiment biologique et notamment sur le phytoplancton.

Ces deux aspects négatifs, couplés à une fréquence d'accident supposée faible (du fait des systèmes et procédures HSE) et de volumes restreints, conduisent à qualifier cet effet de négligeable à faible pour le plancton.

c) Pollution lumineuse

La pollution lumineuse est due aux feux de signalisation pour le trafic maritime et aux éclairages de sécurité pour l'équipage. La pollution lumineuse présente un aspect positif pour le phytoplancton. En effet, elle permet la photosynthèse pendant la nuit également, à proximité immédiate des moyens nautiques.

d) Déblais de forage

Lors de la seconde partie du forage, le rejet des déblais de forage depuis la surface s'effectue par lâchers de faible volume. Ils sont effectués juste au-dessous du niveau de l'eau par l'intermédiaire d'une conduite.

Les particules des déblais de forage vont altérer momentanément la pénétration de la lumière, ce qui peut légèrement affecter la photosynthèse du phytoplancton qui se situe en surface des eaux marines.

Les contaminants relargués sont en très faible concentration (cf. **Tableau 4.8**). Certains d'entre eux peuvent avoir un effet nocif sur le plancton (notamment le biocide). Au vu des concentrations résultantes dans l'eau de mer, cet effet est considéré comme négligeable.

e) Boues de forage

On rappelle que seules les boues de forage de la première partie du forage seront déversées dans le milieu. A noter qu'une infime partie de la boue de la seconde partie de forage sera incorporée dans les déblais qui seront rejetés à la mer.

Les effets négatifs des boues de forage sur le plancton peuvent être dus :

- soit à un composant lui-même, par exemple un agent biocide,
- soit à des impuretés qu'il contient, comme dans le cas de la baryte. Il existe ainsi plusieurs classes de qualité de baryte, dont certaines contiennent de très faibles teneurs en métaux lourds, présentant les effets les plus faibles sur l'environnement.

La Convention OSPAR pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-est impose une appréciation des effets sur l'environnement des produits utilisés pour le forage en mer. Un système harmonisé de contrôle obligatoire (HMCS en anglais) est appliqué à tous les produits utilisés lors du forage pétrolier en mer.

L'évaluation est menée selon deux axes :

- une évaluation du risque,
- des essais écotoxicologiques.

La première méthode évaluée, à une échelle géographique donnée (locale ou régionale), la concentration dans l'environnement découlant de l'utilisation du composant pour le forage (en anglais PEC). Cette concentration est comparée à la concentration sans effet sur l'environnement (en anglais PNEC). Quand le rapport PEC/PNEC est inférieur à 1, la

concentration prédite sur site est inférieure au seuil d'effet : on en conclut qu'il n'y a pas de risque pour l'environnement. Les produits chimiques qui ont un rapport PEC/PNEC < 1 sont classés « Or » (« Gold » en anglais).

Quand cette évaluation de risque n'est pas disponible, on recourt à des tests d'écotoxicité spécifiés par OSPAR. Dans un premier temps, les produits sont classés en groupes, en fonction de leur toxicité évaluée sur plusieurs types d'organismes (phytoplancton, zooplancton, crustacés, poissons). Le groupe A correspond à la toxicité maximale, et le groupe E celui où l'écotoxicité est la plus faible. Cette note est ensuite pondérée (en plus ou en moins) en fonction la biodégradabilité et la biodisponibilité du produit.

Tullow s'engage à ce que les additifs utilisés pour les différentes boues de forage soient ceux qui présentent **les plus faibles effets sur l'environnement**.

Les effets sur l'environnement (dont le plancton) sont renseignés à partir des fiches de données de sécurité (FDS, ou « MSDS » en anglais) de chaque produit. Malheureusement, ces fiches ne comportent pas toutes des données sur les effets écotoxicologiques.

Première phase de forage

Lorsque le tubage ne fait pas le lien avec le fond marin, la boue de forage est rejetée en continu dans le milieu, au niveau du fond, entre le train de tiges et les parois du forage.

Tableau 4.11. Concentration des additifs dans la boue du forage sans tubage complet avant rejet au niveau du fond de la mer (Tullow Oil, juin 2010)

Composant	% de la boue de forage	Concentration dans la boue (mg/l)	Seuil d'effet sur l'environnement (mg/l)
Eau douce	84,98%	-	-
Baryte	9,61%	244 500	Matériau géologique
Montmorillonite (argile)	5,30%	52 000	Matériau géologique
Amidon modifié	0,07%	1 302	Extrait végétal biodégradable
Chaux	0,02%	413	Entraîne une faible élévation du pH de l'eau de mer
Soude caustique	0,01%	141	Dose létale pour la puce d'eau exposée pendant 48h : 100 mg/l
Carbonate de sodium	0,01%	157	Présent naturellement dans l'eau de mer

Seule la concentration dans la boue de forage de la soude aurait un effet sur des organismes de petite taille. La boue sortant au niveau du fond marin va être mise en contact avec de l'eau de mer. De fait, les concentrations définies dans le **Tableau 4.11** vont chuter du fait de la dilution dans l'environnement, ce qui va diminuer fortement la toxicité de la boue. Ces concentrations sont donc des maximas qui ne se produiront que dans la proximité immédiate du train de tiges.

Seconde phase de forage

Lorsque la recirculation de la boue est mise en place, **la boue n'est pas déversée depuis le navire**. Il n'y a pas d'effet sur le plancton.

f) Rejet accidentel d'hydrocarbures

Le panache se présente sous la forme d'une multitude de gouttelettes huileuses, et non comme un film continu qui se forme lors du déversement accidentel du carburant dans l'eau.

L'effet d'interception du rayonnement lumineux est probable, mais discontinu au sein du panache. Ce phénomène vient altérer localement le développement phytoplanctonique.

A l'inverse, la dégradation des hydrocarbures naturels produit un enrichissement en carbone de l'eau de mer, élément nécessaire à la croissance du plancton dans des eaux peu riches en nutriments.

En conclusion, et en considérant également la faiblesse des surfaces impactées, l'effet est jugé négligeable sur le plancton.

Poissons, tortues et cétacés

Les effets potentiels sur les vertébrés marins sont à la fois :

- directs, par la présence même des moyens nautiques, de leurs éventuels systèmes d'ancrages et des vibrations qu'ils engendrent, mais aussi par les modifications de la physicochimie de l'eau de mer induites par les rejets liquides,
- indirects, par les effets de la qualité de l'eau sur le plancton, point de départ de la chaîne alimentaire (ou chaîne trophique).

a) Présence des moyens nautiques

La présence de supports nautiques en mer entraîne une **occupation d'un domaine maritime** peu fréquenté, pendant environ 2 mois. L'emprise sur le plan d'eau est réduite : 110 à 130 hectares, constitués par la zone d'exclusion de 500 m autour du navire de forage.

La présence des navires génère également des perturbations du milieu physique, principalement du fait de sources de **bruits** inhérents aux supports nautiques : les moteurs et groupes. Des mesures réalisées sur un navire de forage à positionnement dynamique ont donné des intensités acoustiques maximales de 174 dB re 1 μ Pa à 1 m de la source (Simmonds *et al*, 2004). Cette intensité décroît rapidement avec l'éloignement : l'intensité est de 159 dB à 5 m, 152 dB à 10 m et 130 dB à 100 m.

Concernant les bruits générés, plusieurs études proposent des seuils d'effet sur les vertébrés marins.

Ainsi des phénomènes d'évitement, voire de dommages physiques à l'appareil auditif sont rapportés pour plusieurs types de vertébrés :

- un comportement de sursaut pour des poissons adultes confrontés à des signaux sismiques dont les intensités sont voisines de 160 dB (Skalski *et al*, 1992). Pour des bruits continus de 170 dB re 1 μ Pa, aucune sécrétion d'hormones liées aux stress n'a été décelée chez le poisson rouge (Smith *et al*, 2004),
- pour les tortues marines, des bruits de plus de 166 dB re 1 μ Pa rms induisent une augmentation de leur vitesse de nage, dénotant une stratégie de fuite. Au-dessus de 175 dB re 1 μ Pa rms, les individus présentent un comportement erratique (O'Hara, 1990, Moein *et al*, 1994, McCauley *et al*, 2000),
- une fuite des baleines à fanons (ou mysticètes) graduée en fonction de l'intensité : 10% évitent les zones soumises à 110 dB, alors que 90% quittent les endroits où l'intensité atteint 122 dB (Richardson *et al*, 1995). Des dommages irréversibles sur l'appareil auditif sont notés lorsque les intensités atteignent 180 à 220 dB (Verboom),
- les cétacés à dents (ou odontocètes) apparaissent un peu moins sensibles d'après la littérature : une gêne se fait sentir chez les dauphins en présence d'intensités de l'ordre de 150 dB (Taylor *et al*, 1997).

D'après ces données, on voit que les effets du bruit des moteurs ne sont pas identiques sur les vertébrés marins. Ainsi, les poissons adultes devraient être peu gênés, puisque les intensités acoustiques à 5 m du navire sont inférieures au seuil de fuite de la littérature. Il

devrait en être de même pour les tortues, les intensités attendues sont inférieures à 166 dB dès que l'on se situe à 5 m du support de forage. En revanche, les niveaux de bruit devraient avoir un effet sur les cétacés, effet plus prononcé chez les mysticètes : ceux-ci pourraient se tenir à une distance d'environ huit cents mètres du navire, où l'on attend 110 dB. Les odontocètes, quant à eux, devraient s'éloigner d'environ 12 m du support de forage, en raison d'intensités acoustiques excédant leur seuil du comportement de fuite.

En conclusion, les effets du bruit sont négligeables pour les poissons et les tortues, et négligeables à faibles pour les cétacés.

b) Eaux usées

Au même titre que pour le plancton, les effets directs et indirects des rejets liquides sont considérés comme très faibles à négligeables pour les vertébrés marins.

c) Rejets liquides accidentels

Les rejets liquides accidentels peuvent avoir un effet direct, par leur toxicité. Cet aspect est globalement négligeable du fait de la dilution, sauf si le vertébré marin se trouve juste à l'endroit du rejet accidentel au moment où celui-ci survient.

Ces rejets peuvent avoir un effet indirect sur les vertébrés marins, *via* la chaîne trophique. Il a été vu précédemment que ces rejets étaient sans effet notable sur le plancton. On peut *a fortiori* en conclure qu'ils ont un effet négligeable à faible sur les vertébrés marins.

d) Déchets flottants

La règle sur les navires est de ne jeter aucun déchet par-dessus bord. Les déchets flottants en surface ou entre deux eaux constituent une source d'impact plus spécifique des tortues marines et des dauphins. En effet, ces déchets peuvent être confondus avec des proies. Les déchets plastiques sont à ce titre une cause de mortalité.

En considérant la présence maximale des tortues (0,32 individu/400 km²), l'effet des déchets flottants ou entre deux eaux est considéré comme négligeable sur les tortues.

La présence des cétacés au-delà de la pente continentale est avérée. La densité en cétacés d'après les survols est comprise entre 0,0 et 14,2 individus pour 400 km². Pour des raisons identiques aux tortues, l'effet est jugé négligeable sur les cétacés.

e) Pollution lumineuse

La pollution lumineuse pourra attirer des individus la nuit. Cet effet peut être considéré comme positif, créant une certaine concentration de proies, mais aussi négatif, car rapprochant les vertébrés marins de sources de pollution.

f) Déblais et boues de forage

L'impact des déblais et boues de forage sur les vertébrés marins tient à l'altération de la qualité de l'eau qui se traduit par de légers effets sur la chaîne trophique.

g) Rejet accidentel d'hydrocarbures

Les effets des hydrocarbures sur les vertébrés marins sont différents en fonction de la forme du rejet. Dans les cinq jours qui suivent un éventuel rejet accidentel, les hydrocarbures se présentent sous forme d'une nappe.

Au-delà de cette durée, la nappe disparaît, du fait de phénomènes physiques (évaporation, photolyse, émulsification) et biologiques (biodégradation). Il ne subsiste plus alors que des traces d'hydrocarbures (cf. **Chapitre 4.1**).

Pendant les cinq premiers jours

La nappe résultante est discontinue, formée de gouttes d'hydrocarbures plus ou moins coalescentes. Elle ne forme pas une pellicule uniforme à la surface de l'eau. Avec le temps, la nappe se disperse et se désagrège, espaçant de plus en plus les flaques d'huile.

Ainsi, à la fin du rejet qui dure six heures dans l'exemple, il reste environ 70 m³ répartis sur 3 km², ce qui correspond à une épaisseur moyenne de 23 microns¹⁹. Au bout de cinq jours, les 50 m³ restants de la nappe (20 m³ se sont encore évaporés et dispersés) se répartissent sur 250 km² environ, soit une épaisseur moyenne de 0,2 micron. Bien évidemment, compte tenu des concentrations, l'effet lorsque la nappe est de petite taille est plus important que lorsque la nappe est morcelée et occupe une plus grande superficie à la surface de la mer.

Le nombre maximal d'individus concernés par la nappe au cours de son déplacement est évalué dans le **Tableau 4.12**. Les densités maximales proviennent de la modélisation de la présence des tortues en mer et des survols de la zone autour du site de forage.

¹⁹ Epaisseur moyenne : cette notion ne reflète pas la réalité de la nappe, qui n'est pas un film continu en surface de l'eau de mer ; cependant, elle permet d'approcher l'effet de la dispersion et de proposer une base pour la quantification de l'impact.

Tableau 4.12. Nombre de tortues et de cétacés potentiellement présents dans la zone de la nappe (période janvier à mai)

Temps après le début du rejet	Surface occupée par la nappe morcelée (km ²)	Densité maximale (ind/km ²)	Nombre potentiel maximal d'individus dans le rejet
12 h	16	Tortues : 0,0008 Cétacés : 0,0355	Tortues : 0,01 Cétacés : 0,57
1 jour	45	Tortues : 0,0008 Cétacés : 0,0355	Tortues : 0,04 Cétacés : 1,60
3 jours	150	Tortues : 0,0031 Cétacés : 0,0355	Tortues : 0,47 Cétacés : 5,33
5 jours	250	Tortues : 0,0081 Cétacés : 0,0355	Tortues : 2,03 Cétacés : 8,88

Le nombre d'individus potentiellement présents dans le rejet est très faible au moment où l'effet sur les vertébrés est le plus fort (moins d'une tortue ou d'un cétacé dans le panache à 12 h). En revanche, lorsque la nappe morcelée occupe sa plus grande étendue (250 km²) et que les effets sont moindres, le nombre potentiel maximal de tortues ou de cétacés se monte entre deux et neuf individus.

Les effets directs potentiels d'une nappe d'hydrocarbures sur les tortues en pleine mer sont divers (NOAA, 2003) :

- effets cutanés au niveau des charnières du cou et des nageoires : la peau se desquame,
- effets sur l'excrétion de sel : l'eau de mer et les aliments de la tortue sont très riches en sel. La tortue élimine le sel notamment par l'émission de larmes ; les hydrocarbures bloquent le fonctionnement de ces glandes durant quelques jours,
- effets via l'appareil respiratoire : lorsqu'une tortue émerge au sein d'une nappe, elle peut inhaler des vapeurs. Elles peuvent affecter la trachée et les poumons et, indirectement, le taux d'hématies de l'individu (Lutcavage *et al*, 1995). Ce dernier effet peut induire une anémie temporaire et donc une plus grande fragilité vis-à-vis des infections. Ces effets sont limités dans le temps dans le cas de l'exemple traité, puisque 85% de l'évaporation intervient dans les 12 h suivant le début du rejet (cf. **Graphique 4.3**),
- effets sur l'appareil digestif : la tortue peut avaler des hydrocarbures qui peuvent rester plusieurs jours dans les intestins avant d'être partiellement excrétés. Les

effets sont liés à l'obstruction de l'appareil digestif (depuis la bouche jusqu'à l'intestin grêle), à la perte de perméabilité des parois intestinales (qui interfère avec l'assimilation des aliments) et à l'action des composés toxiques contenus dans les hydrocarbures sur l'ensemble de l'individu, notamment sur les organes chargés de la détoxification et de l'épuration (foie, reins). L'élimination des hydrocarbures par l'organisme semble être sélective (Hall *et al*, 1983), avec une persistance des molécules les plus grosses.

Les effets indirects potentiels d'une nappe d'hydrocarbures sur les tortues en pleine mer sont liés à :

- une perte de l'odorat, influant sur la recherche de nourriture et sur l'orientation,
- à la contamination de la nourriture : cet effet est plus marqué pour les espèces de tortues qui se nourrissent de mollusques, de crustacés et de poissons (tortue imbriquée, caouanne, tortue olivâtre). La tortue luth, se nourrissant surtout de méduses, serait moins sensible à cet aspect. Quant à la tortue verte, les zones de végétaux sous-marins dont elle se nourrit sont situées essentiellement dans des faibles profondeurs d'eau qui ne sont pas concernées par la dérive de nappe (cf. **Figure 4.8**) : cet effet indirect n'est pas à retenir pour cette espèce.

Compte tenu du faible nombre de tortues potentiellement présentes dans la zone du panache d'hydrocarbures et de l'épaisseur moyenne d'hydrocarbures très faible, les effets sur les tortues sont estimés très faibles à faibles.

Les effets directs d'une nappe d'hydrocarbures sur les cétacés sont (Moore & Clarke, 2002) :

- des effets minimes et transitoires d'irritation de l'épiderme et des yeux. Des essais sur des grands dauphins dont l'épiderme a été exposé entre 30 minutes et 1 h 15 ont montré des boursouflures. Après arrêt de l'exposition, l'épiderme a retrouvé son aspect normal en moins de 2 h (Geraci and St. Aubin, 1982, 1990). Un cachalot échoué ayant été exposé pendant sept à douze heures à des hydrocarbures a montré des couches externes et intermédiaires de la peau abimées, mais pas la couche basale (Geraci and St. Aubin, 1985),
- des effets sur le système respiratoire identiques à ceux des tortues,
- l'ingestion peut occasionner une réaction inflammatoire des muqueuses digestives, voire un tapissage partiel de la paroi intestinale, ce qui réduit la surface d'assimilation des aliments. Quand ils passent dans le sang, les hydrocarbures affectent le foie, le système nerveux et la formation des globules sanguins. Ce n'est

qu'en cas de grandes quantités d'hydrocarbures déversées que la mortalité peut survenir. Ainsi, lors du naufrage de l'Exxon Valdez, 14 orques d'un même groupe résidant dans le Prince William Sound ont disparu dans l'année qui a suivi le naufrage. En revanche, aucune mortalité pour d'autres espèces présentes (globicéphales, baleines à bosse et baleines grises) n'a été détectée. Le naufrage de l'Erika en décembre 1999 n'a pas entraîné de mortalité supplémentaire de grands dauphins dans le Golfe de Gascogne (Ridoux *et al.* 2004).

- l'obstruction des fanons : en laboratoire, des fanons de baleines grises souillés ont été débarrassés en grande partie (70%) des hydrocarbures après un lessivage intense à l'eau de mer d'une demi-heure (Geraci and St. Aubin, 1985, Geraci, 1990). Cependant, ces fanons souillés peuvent contaminer la nourriture ingérée.

Les effets indirects sont liés à la contamination de la chaîne trophique.

La présence de cétacés est liée à celle de leur nourriture. Or, du fait de la faible productivité de l'eau de mer, celle-ci apparaît peu abondante pour la période prévue pour le forage (janvier à mai 2011). Au maximum, on pourrait avoir neuf cétacés présents au milieu de la nappe morcelée cinq jours après le rejet accidentel d'hydrocarbures.

Compte tenu de cette faible densité en cétacés et du volume modeste de la nappe d'hydrocarbures, les effets attendus sont très faibles à faibles.

Au-delà des cinq premiers jours

La nappe d'hydrocarbures aura disparu au bout de cinq jours du fait des processus naturels d'évaporation, de photolyse, d'émulsification, de biodégradation. Les effets de cet éventuel rejet accidentel d'hydrocarbures sur l'environnement ne seront plus détectables.

4.2.1.2 - Effets sur le compartiment « Sédiment »

Les effets sur les différentes composantes du compartiment « Sédiment » sont étudiés successivement.

Bathymétrie

Les effets sur la bathymétrie peuvent se matérialiser par un abaissement ou un rehaussement des fonds.

a) Ancrages

L'ancre du navire d'assistance pénètre dans les sédiments. Il en résulte un tassement et une chasse des particules sédimentaires, ainsi que la formation d'une dépression, dont les dimensions sont couramment de quelques dizaines de mètres. Après retrait de l'ancrage, les courants marins et les apports sédimentaires conduiront à combler la dépression. La rose des courants annuelle montre des vitesses moyennes au fond relativement faibles. Le taux de sédimentation est mal connu pour ces grandes profondeurs d'eau, mais il est *a priori* faible. On en déduit que le comblement devrait être lent, s'étendant sur plusieurs mois après retrait de l'ancrage.

b) Déblais de forage

A l'inverse, le dépôt des déblais de forage va engendrer un rehaussement du fond marin. Le dépôt s'effectue selon deux modes différents : ils sont déversés directement sur le fond en début de forage, et depuis le navire de forage en seconde partie de forage, au travers de la colonne d'eau. L'effet sur le rehaussement des fonds n'aura pas la même intensité lors de ces deux phases.

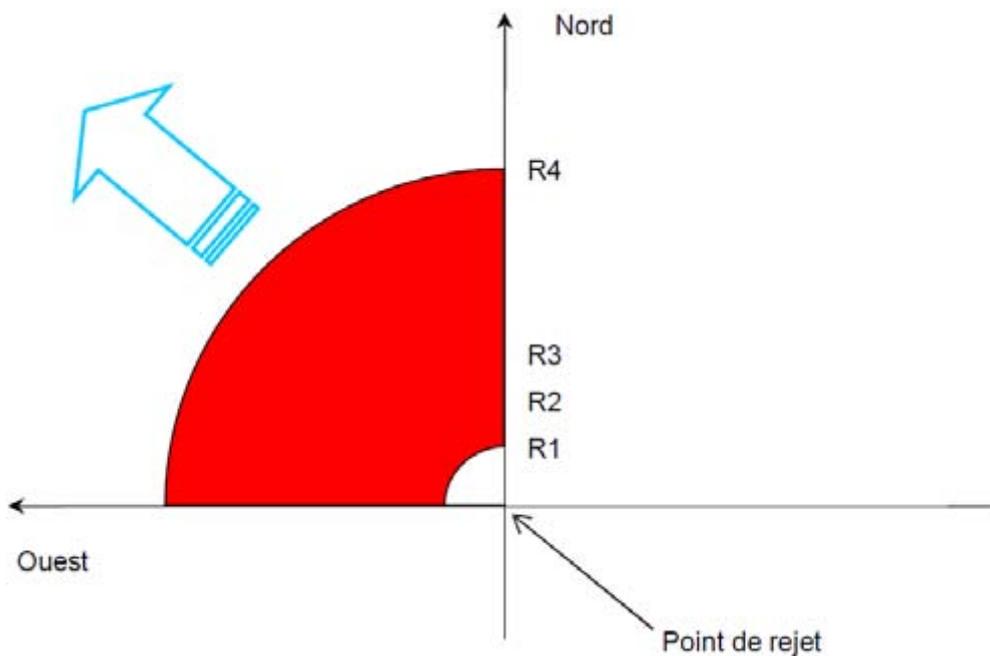
Au début du forage, sans recyclage de boue, les déblais entraînés par le fluide de forage arrivent au niveau du fond marin et forment des monticules autour du train de tiges. Ces monticules sont remodelés par les courants faibles du fond. Une approche simplifiée évalue à 1,2 m leur hauteur maximale. L'effet sur la bathymétrie est négligeable, au vu des hauteurs d'eau du site.

Lorsque le tubage fait le lien entre le fond du puits et le support de forage, la boue est recyclée et séparée des déblais. Ceux-ci sont rejetés par lâchers juste au-dessous de la surface de la mer. Le lieu de contact des déblais avec le fond marin est lié à la taille de la particule et aux courants.

Afin d'évaluer l'épaisseur moyenne due aux déblais déversés depuis la surface, il est choisi de tenir compte des conditions du mois d'avril, puisqu'on a vu qu'elles dispersaient moins les particules.

En avril, les directions dominantes de courant sont vers l'ouest, le nord-ouest et le nord pour l'ensemble de la colonne d'eau. On peut estimer que les déblais de forage se répartiront sur un quart d'anneau de rayon extérieur R4 et de rayon intérieur R1.

Schéma 4.2. Dissémination simplifiée des déblais de forage



Les volumes déversés depuis la surface sont 294 m^3 . La répartition entre les différentes classes granulométriques au sein des déblais de forage n'est pas connue. La bibliographie fournit peu de données, qui, de plus, sont très variables.

Il est proposé de retenir deux cas différents :

- déblais à dominante fine : 90% de particules ont un diamètre inférieur à 1 mm,
- déblais à dominante grossière : 10% de particules ont un diamètre inférieur à 1 mm.

Partant de ces deux hypothèses, on peut donc en déduire que :

- pour les déblais essentiellement fins, 10% des particules vont se retrouver entre R1 et R3 et 90% des particules vont entrer en contact avec le fond à une distance comprise entre R3 et R4.
- pour les déblais essentiellement grossiers, 90% des particules vont se retrouver entre R1 et R3 et 10% des particules vont entrer en contact avec le fond à une distance comprise entre R3 et R4.

Le rehaussement moyen des fonds dû aux déblais de forage est donné dans le **Tableau 4.13**.

Tableau 4.13. Rehaussement moyen du fond dû au déversement des déblais de forage

Caractéristique du déblai de forage	Distance au point de rejet	Epaisseur moyenne
Déblais à dominante fine	Entre R1 et R3	9 microns
	Entre R3 et R4	0,02 micron
Déblais à dominante grossière	Entre R1 et R3	77 microns
	Entre R3 et R4	0,003 micron

Ces épaisseurs moyennes extrêmement faibles ont été obtenues après un certain nombre d'hypothèses simplificatrices. Il n'en demeure pas moins que ces ordres de grandeur infimes illustrent le peu d'effet sur le rehaussement des fonds à l'échelle de la zone d'influence des déversements depuis la surface, dont le rayon est voisin de 130 km.

c) Cimentation

Quant aux **opérations de cimentation**, lors du rebouchage du forage, il est anticipé que le ciment remontant en surface va s'étaler sur le fond (comportement fluide), induisant un rehaussement d'un ordre de grandeur inférieur à celui des déblais de forage, mais sur une surface qui pourrait être plus importante.

En conclusion, les effets des opérations de forage sur la bathymétrie sont faibles, de l'ordre du mètre, ce qui a un effet négligeable au regard des hauteurs d'eau.

Nature des fonds

Les fonds actuels sont constitués d'argiles pures. Le rejet des déblais et boues de forage, matériaux allant de la taille d'un galet à celui d'un limon, va modifier la granulométrie du fond marin. Compte tenu des résultats du paragraphe précédent, l'effet sera maximal dans un rayon inférieur à 50 m (déblais du début de forage). En revanche, les déblais déversés depuis le support de forage n'auront d'effet réel sur la nature du fond que très ponctuellement.

Enfin, le ciment utilisé pour le **bouchage du puits** va créer des fonds indurés, assimilable à des fonds rocheux, qui sont inexistant dans cette zone à de telles profondeurs.

En conclusion, l'effet sur la nature des fonds est limité à quelques dizaines de mètres autour du forage. Les fonds de nature argileuse vont être recouverts par des particules plus

grossières (des limons jusqu'à des galets) et localement par du ciment. Au vu de la surface concernée, ces modifications, réelles, sont négligeables.

Physicochimie des sédiments

On a vu que les modifications les plus importantes sur le fond marin interviennent dans un rayon inférieur à 50 m autour du puits. Elles sont dues aux déblais et à la boue de forage qui se seront déposés au début du forage. De même, les effets sur la physicochimie des sédiments sont concentrés autour du forage.

La contamination provient des métaux lourds et des produits chimiques contenus dans les déblais et la boue de forage. Cette contamination est forte. Il n'y a pas en revanche de contamination par hydrocarbures. Plusieurs études sur l'évolution des teneurs en contaminants dans les déblais de forage (dont Mestellan, 1996) montrent que les teneurs se répartissent avec le temps et que les valeurs maximales diminuent : il existe un effet d'étalement. L'aire concernée s'étend à une distance d'environ 500 m du puits.

Les déblais déversés depuis le support de forage contiennent des additifs (en faibles quantités du fait du recyclage de la boue) et potentiellement des hydrocarbures du réservoir géologique pour la fin du forage. Ces rejets présentant une contamination vont, durant leur chute, libérer une partie de ces polluants dans l'eau de mer. Sur le fond, les déblais se répartissent sur une zone d'environ 14 000 km², d'où une épaisseur moyenne très inférieure au centimètre.

En conclusion, l'effet sur la qualité chimique globale des sédiments du fond marin sera négligeable, hormis dans un rayon de quelques centaines de mètres autour du forage.

Benthos

L'effet sur le benthos provient à la fois de l'ancrage, des déblais de forage et du rebouchage du puits en fin d'opération.

Le benthos va être détruit à l'emplacement de l'ancrage du navire en stand-by. La destruction porte sur une surface totale voisine de 100 m². Une fois l'ancrage retiré, le benthos des zones moyennes va venir recoloniser la zone perturbée. L'effet sur le benthos sera réel, mais limité dans l'espace et le temps (plusieurs mois *a priori*).

Les déblais de forage déposés sur le fond au début du forage vont ensevelir le benthos sur un rayon de quelques dizaines de mètres autour du forage, provoquant leur destruction. En fin d'opération, la fermeture du puits va occasionner l'épandage de ciment, provoquant la disparition du benthos dans un rayon de quelques dizaines de mètres également.

Le benthos des zones limitrophes va progressivement tenter de recoloniser ces matériaux d'une granulométrie parfois assez différente de celle des fonds préexistants. La nature du fond (ou substrat) est un des paramètres qui influencent les peuplements benthiques. Par exemple, une espèce de ver comme *Prionospio*, qui a l'habitude de s'enfouir dans la vase molle, ne pourra pas le faire dans du ciment ou les galets. Pour ces espèces autochtones très adaptées à leur milieu vaseux, il en résultera une perte très partielle d'habitat (entre 100 et 300 m²). En revanche, certaines espèces, présentes ou allochtones, pourront y trouver des conditions de substrat nouvelles, optimales pour leur implantation et leur développement. Par ailleurs, l'écotoxicité des déblais et de la boue de forage ne permettra qu'un retour progressif du benthos : seules les espèces les plus tolérantes vis-à-vis des teneurs en contaminants vont pouvoir se réimplanter au début. Avec la diminution dans le temps des teneurs au droit du forage, le nombre d'espèces présentes va croître.

Les déblais de forage déversés depuis la surface de la mer n'auront pas d'effet d'enfouissement sur le benthos (hormis peut-être pour la zone où vont se déposer les éléments les plus grossiers). La contamination des particules, très dispersées sur le fond marin, aura des effets négligeables sur le benthos.

4.2.1.3 - Effets sur le compartiment « Air »

Les deux principales composantes du compartiment « Air » sont sa qualité et les oiseaux, bien que ces derniers soient également liés au compartiment « Eau » pour leur nourriture.

Qualité de l'air

Les principales sources d'altération de la qualité de l'air sont les gaz d'échappement des moteurs et des générateurs électriques utilisés sur les navires.

Les calculs détaillés au **Chapitre 4.1.5** évaluent une consommation globale de 7 461 m³ de diesel et 27 t de kérosène, soit une émission équivalente de 20 056 t de CO₂. Réparties sur 66,5 jours, ces émissions correspondent à un équivalent de 301,6 t de CO₂ par jour. A titre de comparaison, une voiture particulière à Cayenne émet un équivalent de 8,6 kg de CO₂ par jour du fait de sa consommation de carburant. Les émissions journalières du forage correspondent ainsi à un équivalent de 35 069 véhicules particuliers. L'agglomération de Cayenne compte environ 18 000 véhicules particuliers, auxquelles se rajoutent quelques industries émettrices de dioxyde de carbone. Or, à Cayenne, la qualité de l'air, basée notamment sur le CO₂, est bonne à très bonne 78% de l'année 2009.

Compte tenu de ces chiffres et des estimations précédentes et du caractère très venté de GM-ES-1, on peut en déduire que l'effet du forage sur la qualité de l'air est négligeable.

Oiseaux

Les oiseaux sont à la frontière des compartiments « Air » et « Eau ». De fait, au vu des résultats du paragraphe précédent, les effets principaux du projet sur les oiseaux proviennent des effets sur le compartiment « Eau ». Les effets directs sont liés à la présence des moyens nautiques et aux rejets de toute nature (solides, liquides, éventuel rejet accidentel). Les effets indirects tiennent à l'altération de la chaîne trophique par des contaminants et aux émissions lumineuses.

Les effets sur les compartiments « Air » et « Eau » sont localisés à proximité immédiate du site de forage. Les seules exceptions concernent la dispersion des déblais de forage depuis la surface et l'éventuel rejet accidentel d'hydrocarbures. Dans le premier cas, les effets (négligeables en intensité) peuvent se faire sentir sur une distance d'une centaine de kilomètres vers le nord-ouest du site, c'est-à-dire à l'aplomb du domaine profond. Pour le rejet accidentel au mois d'avril, les effets potentiels sont localisés à l'aplomb du domaine profond, du talus, voire du plateau continental jusqu'à des hauteurs d'eau de 100 m.

a) Effets directs

Les moyens nautiques, par leur position, peuvent restreindre les zones utilisées par les oiseaux présents au grand large.

Compte tenu de la faible densité en poissons, ces espèces doivent prospecter des territoires très grands pour trouver leur subsistance. Ainsi, les frégates superbes de l'île du Grand Connétable peuvent parcourir des trajets de plus de 300 km pour se nourrir sur le plateau continental, représentant des surfaces supérieures à 4 000 km² (cf. **Figure 3.49**). L'occupation par les navires liés au forage représente 1,4 hectare, ce qui est très faible.

Les dortoirs en mer sont des zones sur lesquelles les oiseaux stationnent la nuit, parfois en grand nombre. La présence de dortoir en mer n'a pas été signalée lors de la campagne biosédimentaire, ni lors des survols. Là encore, les surfaces occupées par les supports nautiques liés au forage sont infimes par rapport aux espaces disponibles.

Les survols réalisés entre février et mai 2010 par M. Girondot ont identifiés 52 groupes d'oiseaux et 101 individus pour un effort de prospection de 7 019 km². Ceci correspond à une densité de 0,007 groupe et 0,014 individu par km². Ces chiffres sont plus faibles que ceux que l'on peut déduire de la campagne Exocet (0,02 groupe et 0,07individu/km²). La différence tient en grande partie à des saisons différentes : Exocet a été mené alors que les

eaux de la zone de projet étaient sous l'influence des eaux plus riches de l'Amazone. D'où un milieu plus riche et plus de proies pour les oiseaux. Les densités observées sur le site sont donc faibles, notamment à la période prévue pour le forage d'exploration.

Aucun déchet ne doit être jeté par-dessus bord. En effet, les déchets flottants en surface ou entre deux eaux constituent une source d'impact pour les oiseaux marins qui peuvent les confondre avec des proies. Si, en dépit des mesures prises à bord, des déchets devaient se retrouver sur la mer, leur quantité serait faible. En croisant ce petit volume et la faible densité en oiseaux marins, on peut dire que les déchets ont un effet négligeable à faible.

Les supports nautiques sont une source de matière organique et de contaminants pour l'eau. Les concentrations induites sont globalement très faibles. Pour le cas particulier de l'éventuel rejet accidentel, l'effet est la constitution d'un panache d'hydrocarbures. Ce panache est formé d'une multitude de flaques huileuses. Le volume du rejet diminue avec le temps, du fait d'une altération physique, chimique et biologique de ses composants ; au bout de cinq jours, le panache a disparu dans l'exemple réaliste traité au **Chapitre 4.1**.

L'aire impactée est comprise entre 3 et 250 km², du fait de l'étalement du rejet d'hydrocarbures. Au début, on est en présence d'une nappe de faible surface et de faible épaisseur, relativement continue. Les effets sur les oiseaux présents sur cette petite surface sont maximaux à ce moment-là, mais le nombre d'individus impactés est potentiellement très faible (très petite surface et très faible densité d'oiseaux). En revanche, lorsque la nappe a sa taille maximale, elle est très disloquée : les flaques huileuses sont éparées. La probabilité d'interférer avec des oiseaux est plus grande (surface plus importante), mais la densité en hydrocarbures est beaucoup moins élevée, d'où des effets attendus bien moindres sur les oiseaux touchés.

Les effets directs du forage sur les oiseaux sont très faibles à faibles.

b) Effets indirects

La **pollution lumineuse** pourra attirer des oiseaux la nuit près des moyens nautiques. Cela a un effet positif : la lumière attire l'ensemble de la chaîne trophique, donc les proies des oiseaux de mer. Mais en même temps, cela les rapproche de sources de pollution, ce qui est négatif.

Les supports nautiques sont une source de **matière organique et de contaminants** pour l'eau. Les concentrations induites sont globalement très faibles et jugées sans effet sur les premiers maillons de la chaîne trophique.

Les effets sur la qualité de l'eau, et donc sur la chaîne trophique sont à grande échelle. Ainsi, les effets dus au relargage des contaminants adsorbés sur les déblais de forage s'étendent sur des domaines de grande surface (voisine de 14 000 km²) et de grande profondeur d'eau (environ 2 400 m). Il en résulte des concentrations de contaminants qui sont extrêmement faibles. Cependant, le phénomène de **bioaccumulation** au sein de la chaîne trophique peut conduire à des teneurs très significatives dans les tissus et organes des oiseaux. Les facteurs de bioaccumulation des métaux lourds sont compris entre 20 pour le baryum et 80 000 pour le zinc (GRNC, 2002).

Afin de vérifier les ordres de grandeur des teneurs que l'on peut trouver dans les oiseaux, un calcul est effectué avec l'exemple du zinc. Le **Tableau 4.8** donne une quantité de zinc larguée par les déblais de forage de 285 g. Compte tenu de la dispersion des déblais de forage, on estime que ces molécules de zinc dans l'eau se répartissent dans un volume de 11 150 km³. Les concentrations déduites dans l'eau de mer sont de l'ordre de $3 \cdot 10^{-11}$ mg/l. Les concentrations dans la chair du poisson peuvent être jusqu'à 80 000 fois plus élevées du fait de la bioaccumulation, soit à peu près $2 \cdot 10^{-5}$ mg/kg de chair. Ces poissons peuvent être ingérés par des oiseaux où le zinc va s'accumuler.

Dans la littérature (GRNC, 2002), les concentrations sans effet prévisible sur les prédateurs supérieurs (tels que les oiseaux) en zinc sont de l'ordre de 1,67 mg/kg de nourriture. C'est-à-dire que si la nourriture des oiseaux contient moins de 1,67 mg/kg de chair de zinc, il n'y a pas d'effet attendu sur l'oiseau prédateur. Le rapport entre la concentration induite par le projet et la concentration ayant un effet sur les oiseaux est donc de $2 \cdot 10^{-5} / 1,67$ (c'est-à-dire $1,2 \cdot 10^{-5}$), donc très inférieur à 1, ce qui traduit le risque extrêmement faible du zinc sur les oiseaux.

Un calcul équivalent est mené sur les autres métaux lourds qui ont un potentiel de bioaccumulation supérieur à 100. Le baryum n'est pas abordé, en raison de sa faible capacité à s'accumuler dans la chaîne trophique, et sur son absence de toxicité pour le milieu marin.

Tableau 4.14. Exemple d'évaluation des effets de la bioaccumulation de métaux lourds sur les oiseaux marins piscivores

Contaminant	Quantité passant dans l'eau de mer (g)	Concentration dans l'eau de mer (mg/l)	BCF. ²⁰	Concentration dans la chair du poisson (PEC ²¹) (mg/kg)	PNEC ²² prédateur (mg/kg de poisson)	PEC/PNEC
Cadmium	0,6	$5,3 \cdot 10^{-14}$	20 000	$1,1 \cdot 10^{-9}$	0,16	$7 \cdot 10^{-9}$
Mercuré ²³	20,6	$1,8 \cdot 10^{-12}$	3 380	$6,2 \cdot 10^{-9}$	0,70	$9 \cdot 10^{-9}$
Plomb	0,2	$2,1 \cdot 10^{-14}$	1 000	$2,1 \cdot 10^{-11}$	1,00	$2 \cdot 10^{-11}$
Zinc	285	$2,6 \cdot 10^{-11}$	80 000	$2,0 \cdot 10^{-5}$	1,67	$1 \cdot 10^{-5}$

Les rapports PEC/PNEC sont tous très inférieurs à 1, traduisant une très faible probabilité d'effet sur les oiseaux marins par ingestion de poissons qui auraient été contaminés par les déblais de forage.

Les effets indirects des déblais de forage sur les oiseaux marins piscivores sont, à ce titre, négligeables.

4.2.1.4 - Effets sur les usages

Les principaux usages au large de la Guyane sont la pêche et la navigation maritime.

Effets sur la pêche

La pêche guyanaise se déploie sur le plateau continental, avec une gradation :

- la pêche côtière traditionnelle, dans des fonds de 0 à 10 m,
- la pêche industrielle au vivaneau, entre 30 et 150 m de fond,
- la pêche industrielle à la crevette, à l'aplomb de hauteurs d'eau comprises entre 30 et 200, voire jusqu'à 1 000 m.

²⁰ BCF. : facteur de bioconcentration

²¹ PEC : concentration prévue dans l'environnement

²² PNEC : concentration sans effet prévisible sur le prédateur

²³ Mercure inorganique

a) Effets directs

Les moyens nautiques de forage sont situés sur le domaine profond au-delà de la pente continentale. Les effets dus à leur présence est inexistant, sauf éventuellement lors de la navigation des navires liés au forage entre le port d'attache et le site. Même dans cette éventualité, les effets restent négligeables.

Les autres effets potentiels sont dus au forage lui-même.

Les zones potentiellement impactées en surface par les effets du forage sont illustrées dans la partie liée à l'étude de la dérive de nappe (**Figure 4.8**).

Pour les simulations d'avril menées sur le site voisin de Kawana, les zones touchées en Guyane se situent au droit de fonds compris entre 50 et 3 000 m. L'influence potentielle sur la pêche en Guyane est donc non nulle. Elle concerne un périmètre de 18 700 km² pour la crevette (47% de la surface totale prospectée pour cette pêche). Quant à la pêche au vivaneau, ce sont 11 200 km² potentiellement affectés, soit 35% du total. Pour l'une et l'autre pêche, les effets potentiels sont moyens à forts en avril.

Ces périmètres d'effet potentiel s'étendent au Surinam sur des zones compatibles avec la pêche (respectivement 30% des zones pour la crevette et 15% des zones pour le vivaneau).

On rappellera que, du fait de l'augmentation du coût du carburant, il a été rapporté que les unités de pêche sortaient moins loin en mer. Or, ce sont précisément ces zones du large qui sont potentiellement affectées par les rejets des activités de forage. L'impact attendu est donc probablement plus faible que celui évalué en considérant uniquement les rapports de surface : l'effort de pêche est plus faible au large et l'effet sur le tonnage des prises proportionnellement moins important.

b) Effets indirects

Par ailleurs, l'effet sur la qualité de la colonne d'eau, des sédiments et du benthos est négligeable. Il n'y a donc pas d'effet indirect sur la ressource halieutique du fait des activités liées au forage d'exploration.

Effets sur la navigation maritime

Les routes maritimes commerciales, parallèles au littoral ou dirigées vers Cayenne, passent, pour certaines, à proximité du site de forage GM-ES-1 (**Figure 3.63**).

Les moyens nautiques nécessaires au forage sont, pour la plupart, fixes pendant les opérations. L'emprise en surface, en incluant une distance de sécurité de 500 m, représente environ 0,5 km².

Chaque navire lié au forage d'exploration aura un balisage lumineux réglementaire. L'effet sur la navigation est négligeable au regard des superficies concernées. Dans les faits, il pourra être nécessaire à certains navires de commerce de se dérouter légèrement. Une information par les autorités maritimes de la localisation des forages et des périmètres à éviter permettra d'obtenir les conditions de sécurité maritime optimales.

4.2.1.5 - Récapitulatif de l'intensité des effets

Les différentes interactions entre le projet et l'environnement physique, biologique et humain sont récapitulées dans le **Tableau 4.15**.

Tableau 4.15. Récapitulatif de l'intensité des effets du forage pétrolier de GM-ES-1 sur l'environnement naturel et humain

Sources d'impact	Eau					Sédiment				Air		Usages	
	Physicochimie	Plancton	Poissons	Tortues	Cétacés	Bathymétrie	Nature du fond	Physicochimie	Benthos	Qualité	Oiseaux	Pêche	Trafic maritime
Présence du navire sur la mer et vibrations			D	D	D						D	D	D
Ancrages			D	D	D	D			D				D
Eaux usées	D	D	I	I	I						I	I	
Rejets liquides accidentels	D	D	I	I	I						I	I	
Déchets	D			D	D						D		
Pollution lumineuse		D	I	I	I						I		
Emissions des moteurs										D			
Déblais et boues au début du forage			I			D	D	D	D				
Déblais en seconde partie de forage	D	I	I	I	I	D	D	D	D		I	I	
Fermeture de puits						D	D		D				
Rejet accidentel d'hydrocarbures	D	D	D	D	D						D	D	

Légende

D : impact direct I : impact indirect

Effet nul ou positif	Effet négligeable à faible	Effet faible à moyen	Effet moyen à fort	Effet fort à très fort
----------------------	----------------------------	----------------------	--------------------	------------------------

Les couleurs dans le tableau peuvent être mises en correspondance avec des notes comprises entre 0 et 4 :

- effet nul ou positif : 0,
- effet négligeable à faible : 1,
- effet faible à moyen : 2,
- effet moyen à fort : 3,
- effet fort à très fort : 4.

4.2.2 - Fréquence et durée des effets du projet

Les effets sont évalués dans un deuxième temps sur leur fréquence durant le forage d'exploration et sur la durée des effets pour chaque composante de l'environnement ou pour chaque usage.

La fréquence et la durée sont appréciées suivant les critères exposés dans le **Tableau 4.16**.

Tableau 4.16. Principe de notation de la fréquence et de la durée des effets

Paramètre	Description	Note
Fréquence de l'effet	Chaque jour	4
	Entre 1 fois par jour et 1 fois par semaine	3
	Entre 1 fois par semaine et 1 fois par mois	2
	Entre 1 fois par mois et 1 fois par trimestre	1
	Moins d'une fois par trimestre	0
Durée de l'effet	Moins d'un jour	1
	Entre 1 jour et 1 semaine	2
	Entre 1 semaine et 1 mois	3
	Plus d'un mois	4

Une note globale pour le paramètre temporel est constituée en effectuant la moyenne des deux notes.

4.2.3 - Sensibilité des composantes de l'environnement

La notion de sensibilité s'exprime différemment sur le milieu physique, sur le milieu biologique et sur les usages.

La sensibilité du milieu physique est liée à la capacité de disperser une perturbation. L'air, grâce au régime permanent des alizés, a un fort taux de renouvellement sur site. Aussi, sa sensibilité sera de 1. L'eau, de par les courants et la grande hauteur d'eau, possède une bonne faculté de diffuser l'effet d'une contamination ; sa sensibilité sera de 2. Enfin, une contamination affectant le sédiment est plus persistante ; celui-ci aura une sensibilité de 3.

La sensibilité du milieu biologique est liée à la notion de chaîne trophique. Le plancton et le benthos sont aux premiers maillons de la chaîne ; de plus, les espèces qui les composent sont largement réparties en Atlantique central ; leur sensibilité est jugée faible (notée égale à 1). Les poissons, d'un niveau supérieur dans la chaîne trophique, ont une sensibilité de 2. Enfin, les tortues, oiseaux et cétacés sont les prédateurs supérieurs ; leur sensibilité est notée à 3, d'autant plus que dans chaque groupe il existe au moins une espèce faisant l'objet de mesures de conservation ou en danger au niveau mondial.

La sensibilité d'un usage est liée aux répercussions pouvant résulter du projet. Un léger détournement pour la marine marchande est peu sensible ; la navigation maritime a une sensibilité de 1, tandis que la pêche a une sensibilité de 2, vu le recouvrement possible avec le projet.

4.2.4 - Notation globale des effets du projet

Les divers effets du projet sur l'environnement et les usages sont passés en revue. Chaque couple effet/composante déterminé au **Tableau 4.15** est analysé et noté sur les trois critères d'intensité, de fréquence/durée et de sensibilité.

Une note est attribuée pour chaque critère en fonction des grilles d'évaluation définies aux paragraphes précédents. La note finale est obtenue par multiplication des trois notes²⁴.

Le total est alors comparé à la grille d'évaluation globale de l'impact qui figure dans le **Tableau 4.17**.

Tableau 4.17. Grille d'évaluation globale des effets

Description	Note globale
Effet nul ou positif	< 3
Effet négligeable à faible	3 à 8
Effet faible à moyen	9 à 16
Effet moyen à fort	17 à 30
Effet fort à très fort	>30

La synthèse des effets du projet de forage d'exploration sur le site de GM-ES-1 est donnée dans le **Tableau 4.18**.

²⁴ Il est rappelé que les notes de fréquence et de durée sont regroupées ; la note temporelle correspond à la moyenne des 2 notes

Tableau 4.18. Notation des effets du forage pétrolier d'exploration de GM-ES-1 sur l'environnement naturel et humain

Sources d'impact	Composante environnementale	Effet positif/négatif	Intensité		Fréquence		Durée		Sensibilité	Note globale
			Descriptif	Note	Descriptif	Note	Descriptif	Note	Note	
Présence des navires en mer	Poissons	Négatif	Dérangement restreint	1	1 fois	1	> 1 mois	4	2	5
	Tortues	Négatif	Dérangement restreint	1	1 fois	1	> 1 mois	4	3	7,5
	Cétacés	Négatif	Dérangement restreint	1	1 fois	1	> 1 mois	4	3	7,5
	Oiseaux	Négatif	Dérangement restreint	1	1 fois	1	> 1 mois	4	3	7,5
	Trafic maritime	Négatif	Dérangement restreint	1	1 fois	1	> 1 mois	4	1	2,5
Ancrage	Poissons	Négatif	Un obstacle sous-marin	1	1 fois	1	> 1 mois	4	2	5
	Tortues	Négatif	Un obstacle sous-marin	1	1 fois	1	> 1 mois	4	3	7,5
	Cétacés	Négatif	Un obstacle sous-marin	1	1 fois	1	> 1 mois	4	3	7,5
	Bathymétrie	Négatif	Abaissement localisé des fonds	1	1 fois	1	> 1 mois	4	1	2,5
	Benthos	Négatif	Destruction localisée	1	1 fois	1	> 1 mois	4	1	2,5
	Trafic maritime	Négatif	Dérangement restreint	1	1 fois	1	> 1 mois	4	1	2,5
Eaux usées	Physico-chimie eau	Négatif	Faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	2	5
	Plancton	Négatif	Faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	1	2,5
	Poissons	Négatif	Faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	2	5
	Tortues	Négatif	Faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Cétacés	Négatif	Faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Oiseaux	Négatif	Faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Pêche	Négatif	Faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	2	5
Rejets liquides accidentels	Physico-chimie eau	Négatif	Faibles apports, dilution	1	< 1 fois par semaine	2	< 1 jour	1	2	3
	Plancton	Négatif	Faibles apports, dilution	1	< 1 fois par semaine	2	< 1 jour	1	1	1,5
	Poissons	Négatif	Faibles apports, dilution	1	< 1 fois par semaine	2	1 jour à 1 semaine	2	2	4
	Tortues	Négatif	Faibles apports, dilution	1	< 1 fois par semaine	2	1 jour à 1 semaine	2	3	6
	Cétacés	Négatif	Faibles apports, dilution	1	< 1 fois par semaine	2	1 jour à 1 semaine	2	3	6
	Oiseaux	Négatif	Faibles apports, dilution	1	< 1 fois par semaine	2	1 jour à 1 semaine	2	3	6
	Pêche	Négatif	Faibles apports, dilution	1	< 1 fois par semaine	2	< 1 jour	1	2	3
Déchets	Physico-chimie eau	Négatif	Faibles apports, peu biodégradables	1	< 1 fois par semaine	2	< 1 jour	1	2	3
	Tortues	Négatif	Faibles apports	1	< 1 fois par semaine	2	1 jour à 1 semaine	2	3	6
	Cétacés	Négatif	Faibles apports	1	< 1 fois par semaine	2	1 jour à 1 semaine	2	3	6
	Oiseaux	Négatif	Faibles apports	1	< 1 fois par semaine	2	1 jour à 1 semaine	2	3	6
Pollution lumineuse	Plancton	Positif	Favorise la photosynthèse	0	Chaque jour	4	< 1 jour	1	1	0
	Poissons	Négatif	Effet d'attraction	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	2	5
	Tortues	Négatif	Effet d'attraction	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Cétacés	Négatif	Effet d'attraction	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Oiseaux	Négatif	Effet d'attraction	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
Emissions gazeuses	Qualité de l'air	Négatif	Faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	1	2,5

Effet nul ou positif	< 3	Effet négligeable à faible	3 à 8	Effet faible à moyen	9 à 16	Effet moyen à fort	17 à 20	Effet fort à très fort	> 20
----------------------	-----	----------------------------	-------	----------------------	--------	--------------------	---------	------------------------	------

Tableau 4.18. Notation des effets du forage pétrolier d'exploration de GM-ES-1 sur l'environnement naturel et humain (fin)

Sources d'impact	Composante environnementale	Effet positif/négatif	Intensité		Fréquence		Durée		Sensibilité	Note globale
			Descriptif	Note	Descriptif	Note	Descriptif	Note	Note	
Déblais et au début du forage	Poissons	Négatif	Turbidité près du fond, éloignement	1	1 fois	1	1 jour à 1 semaine	2	2	3
	Bathymétrie	Négatif	Léger exhaussement	1	1 fois	1	> 1 mois	4	1	2,5
	Nature du fond	Négatif	Apport de matériaux plus grossiers	2	1 fois	1	> 1 mois	4	3	15
	Physico-chimie du sédiment	Négatif	Contamination localisée (< 500 m)	2	1 fois	1	> 1 mois	4	3	15
	Benthos	Négatif	Destruction localisée (< 500 m)	2	1 fois	1	> 1 mois	4	1	5
Déblais en seconde partie de forage	Physico-chimie eau	Négatif	Turbidité et faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 mois	3	2	7
	Plancton	Négatif	Turbidité et faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	1	2,5
	Poissons	Négatif	Turbidité et faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	2	5
	Tortues	Négatif	Turbidité et faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Cétacés	Négatif	Turbidité et faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Bathymétrie	Négatif	Infime exhaussement des fonds	1	Chaque jour	4	< 1 mois	3	1	3,5
	Nature du fond	Négatif	Déblais très dispersés (11 500 km ²)	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Physico-chimie du sédiment	Négatif	Déblais très dispersés (11 500 km ²)	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Benthos	Négatif	Déblais très dispersés (11 500 km ²)	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	1	2,5
	Osseaux	Négatif	Turbidité et faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	3	7,5
	Pêche	Négatif	Turbidité et faibles apports, dilution	1	Chaque jour	4	< 1 jour	1	2	5
Fermeture de puits	Bathymétrie	Négatif	Léger exhaussement localisé	1	1 fois	1	> 1 mois	4	1	2,5
	Nature du fond	Négatif	Fond induré localement	2	1 fois	1	> 1 mois	4	3	15
	Benthos	Négatif	Destruction localisée	1	1 fois	1	> 1 mois	4	1	2,5
Rejet accidentel d'hydrocarbures	Physico-chimie	Négatif	Concentrations significatives en surface dans le panache	2	Rare	0	1 jour à 1 semaine	2	2	4
	Plancton	Négatif	Limitation de la lumière et toxicité localisées	1	Rare	0	1 jour à 1 semaine	2	1	1
	Poissons	Négatif	Limitation du plancton et toxicité localisées	1	Rare	0	< 1 mois	3	2	3
	Tortues	Négatif	Toxicité localisée	1	Rare	0	< 1 mois	3	3	4,5
	Cétacés	Négatif	Toxicité localisée	1	Rare	0	< 1 mois	3	3	4,5
	Osseaux	Négatif	Toxicité localisée	1	Rare	0	< 1 mois	3	3	4,5
	Pêche	Négatif	Interdiction de pêcher dans le panache	3	Rare	0	< 1 mois	3	2	9

Effet nul ou positif	< 3	Effet négligeable à faible	3 à 8	Effet faible à moyen	9 à 16	Effet moyen à fort	17 à 30	Effet fort à très fort	>30
----------------------	-----	----------------------------	-------	----------------------	--------	--------------------	---------	------------------------	-----

On peut synthétiser le **Tableau 4.18** au moyen **Tableau 4.19**.

Tableau 4.19. Matrice récapitulant la magnitude des effets sur l'environnement naturel et humain

Sources d'impact	Eau					Sédiment				Air		Usages	
	Physicochimie	Plancton	Poissons	Tortues	Cétacés	Bathymétrie	Nature du fond	Physicochimie	Benthos	Qualité	Oiseaux	Pêche	Trafic maritime
Présence du navire sur la mer et vibrations			D	D	D						D	D	D
Ancrages			D	D	D	D			D				D
Eaux usées	D	D	I	I	I						I	I	
Rejets liquides accidentels	D	D	I	I	I						I	I	
Déchets	D			D	D						D		
Pollution lumineuse		D	I	I	I						I		
Emissions des moteurs										D			
Déblais et boues au début du forage			I			D	D	D	D				
Déblais en seconde partie de forage	D	I	I	I	I	D	D	D	D		I	I	
Fermeture de puits						D	D		D				
Rejet accidentel d'hydrocarbures	D	D	D	D	D						D	D	

Code de couleur de la magnitude des impacts

Impact nul ou positif	< 3	Impact négligeable à faible	3 à 8	Impact faible à moyen	9 à 16	Impact moyen à fort	17 à 30	Impact fort à très fort	> 30
-----------------------	-----	-----------------------------	-------	-----------------------	--------	---------------------	---------	-------------------------	------

D: Impact direct I: Impact indirect

4.2.5 - Effets significatifs sur l'environnement

L'examen du tableau précédent montre que la magnitude des effets du forage d'exploration sur le site de GM-ES-1 est soit positive ou nulle, soit négligeable à faible, soit faible à moyenne.

Ceci traduit le fait que ce projet a des effets sur l'environnement, mais que ceux-ci sont globalement de faible ampleur, du fait des faibles teneurs en contaminants induites et de la faible densité de vertébrés sur la zone de GM-ES-1 découlant d'eaux peu riches en éléments nutritifs à la période retenue pour le forage (entre janvier et mai 2011).

Les effets significatifs sur l'environnement sont déterminés selon deux critères.

Un effet est significatif pour l'environnement en raison de son intensité, évaluée au **Paragraphe 4.2.1**, lorsque celle-ci est moyenne, forte ou très forte.

Par ailleurs, un effet est significatif quand il intéresse une composante protégée ou en danger de l'environnement, ou un usage sensible.

En accord avec cette méthodologie, les effets environnementaux significatifs sont :

- les effets sur les sédiments,
- les effets sur les tortues,
- les effets sur la sterne élégante et sur l'albatros à bec jaune,
- les effets sur les cétacés,
- les effets sur la pêche.

4.2.5.1 - Gros plan sur les sédiments

Certains effets sur les sédiments ont une intensité faible à moyenne : les déblais de forage et la fermeture du puits. Ces effets ont une extension très limitée, estimée à 500 m autour du site de forage. Ces effets vont altérer la qualité chimique du sédiment, du fait des composants de la boue de forage, vont modifier localement la granulométrie des fonds (éléments grossiers des déblais de forage et ciment utilisé pour reboucher le forage).

Les mesures de limitation de ces effets tiennent au choix des composants des boues de forage, en sélectionnant ceux qui présentent les meilleures compatibilités (dégradation rapide, taux d'impuretés et écotoxicité faibles) avec l'environnement marin.

4.2.5.2 - Gros plan sur les tortues

Les notations finales des effets sur les tortues sont globalement négligeables à faibles. Ces notations proviennent :

- d'une intensité des effets négligeable à faible,
- d'effets limités en durée.

Il est rappelé que l'intensité découle de deux paramètres : l'**amplitude de l'effet** et la **probabilité de présence ou densité** des tortues marines au voisinage du projet.

Les effets du projet sur les tortues et la probabilité de présence des tortues sont passés successivement en revue.

a) Interférence des navires avec les déplacements des tortues

Pour une tortue dans l'eau, les moyens nautiques, et notamment le navire de forage, représentent des sources de bruit et des obstacles à leur déplacement.

Bruit

Un bruit transmis sous l'eau vers la carapace de la tortue marine peut induire des comportements différents en fonction de leur intensité.

Pour des bruits de plus de 166 dB re 1 μ Pa rms, les individus montrent une augmentation de leur vitesse de nage, dénotant une stratégie de fuite. Au-dessus de 175 dB re 1 μ Pa rms, les individus présentent un comportement erratique. Au contraire, en-dessous de 166 dB re 1 μ Pa rms, aucun changement notable d'activité n'est noté (O'Hara, 1990, Moein *et al*, 1994, McCauley *et al*, 2000).

Les sources de bruit des supports de forage à positionnement dynamique sont les propulseurs qui permettent de maintenir la position, la rotation du train de tiges, qui s'accompagne de frottements, et les générateurs et diverses pompes utilisées à bord. Les bruits typiques sont situés dans les basses fréquences, entre 10 et 10 000 Hz. A proximité du support de forage, les intensités sonores enregistrées sont de l'ordre de 174 dB re 1 μ Pa rms (Simmonds *et al*, 2004), c'est-à-dire supérieures au seuil d'effet sur les tortues marines. L'intensité décroît avec l'éloignement, puisqu'à 3 m du navire, elle est de l'ordre de 164 dB re 1 μ Pa rms, soit en-deçà du seuil de fuite.

Une tortue nageant vers le site de forage réagira donc en déviant légèrement sa trajectoire de manière à passer au large ou au-dessous des sources de bruit.

Obstacles

Les obstacles peuvent être constitués par le support de forage et le navire en stand-by. L'évitement des supports nautiques est en partie lié avec le niveau de bruit généré (cf. § précédent). Par ailleurs, les seules lignes d'ancrage présentes seront celles du navire en stand-by (l'autre effectuant la navette avec la terre), rendant très improbable une interférence avec une tortue en plongée.

b) Exposition des tortues aux contaminants des rejets liquides et solides

Le calcul des concentrations induites par l'activité d'exploration pétrolière découle des quantités de produits qui seront utilisées, de la hauteur d'eau du site et des conditions de courants qui dispersent les contaminants. Au vu de la brièveté du forage d'exploration au regard de la longévité des tortues, on ne peut pas parler d'exposition chronique à ces contaminants. Par ailleurs, la compagnie Tullow Oil s'engage à sélectionner les produits nécessaires à la réalisation du forage parmi ceux qui présentent le moins d'effets sur l'environnement.

c) Cas particulier de l'éventuel rejet accidentel

Les ruptures de flexible lors du remplissage de cuves d'hydrocarbures restent exceptionnelles. Il s'agit donc d'un évènement rare, donnant lieu pendant quelques jours à un panache de faible volume qui s'étale avec le temps. Le trajet de la nappe intéressant principalement le rebord du plateau continental, le talus et le domaine profond, le nombre de tortues potentiellement impacté est faible, au maximum deux individus.

d) Probabilité de présence des tortues

Pour évaluer la probabilité de présence des tortues autour du navire pendant le forage d'exploration, au-delà du plateau continental, trois approches complémentaires ont été utilisées.

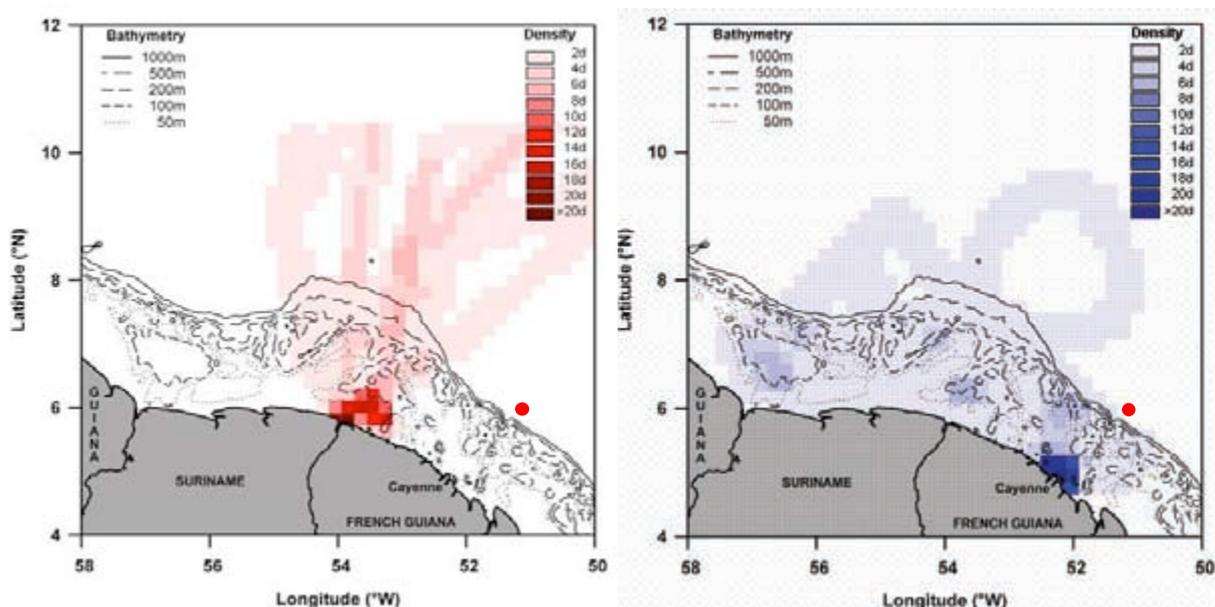
4.2.5.2.1.1 - Survol aériens

Les nombreux survols menés au-dessus de GM-ES-1 et de Kawana n'ont permis de détecter que cinq tortues.

4.2.5.2.1.2 - Suivi satellite

La localisation à l'aide de balises a été menée sur deux espèces, la tortue luth et la tortue olivâtre. La tortue luth est celle qui a le comportement le plus pélagique, s'aventurant fréquemment au-delà du plateau continental. Au contraire, la tortue olivâtre se cantonne essentiellement dans des fonds inférieurs à 200/500 m. Leurs trajectoires pourraient être en partie influencées par les conditions de courants qui règnent au large de la Guyane.

Figure 4.10. Densités en mer des tortues luths et olivâtres issues des suivis par satellite (Ferraroli et Girondot)



13 tortues luths (Ferraroli, 2004)

8 tortues olivâtres (Créocéan, 2006)

La présence de tortues sur le plateau continental à proximité de GM-ES-1 est démontrée, avec des densités très faibles (tortue olivâtre).

4.2.5.2.1.3 - Modélisation de la présence en mer

Les deux méthodes précédentes présentent le biais d'observations partielles : une présence aérienne significative, mais limitée dans le temps d'un côté, et une vingtaine de tortues avec balises, de deux espèces (rien sur les tortues vertes) de l'autre. Dans les deux cas, les densités au voisinage de GM-ES-1 apparaissent très faibles.

Pour tenter de pallier les limitations des deux premières méthodes, la modélisation de la présence en mer se base sur des données à plus large échelle : le littoral de l'ouest guyanais jusqu'à Cayenne. Les effectifs sur les sites de ponte et les périodes d'arrivée et de départ des sites de ponte sont abondamment documentés. Le comportement modélisé des trois espèces de tortues tient compte des dernières données.

Les résultats montrent là encore globalement une très faible densité au niveau du site de forage et mettent en avant une variabilité de la présence des espèces au cours de l'année.

e) Conclusion

La probabilité de présence de tortues marines au niveau du site de GM-ES-1 est abordée par trois approches différentes. Ces méthodes, avec leurs limites, montrent de manière convergente pour la période durant laquelle doit se dérouler le forage :

- la présence effective de tortues dans ou à proximité de la zone du projet,
- la faible densité de cette présence.

4.2.5.3 - Gros plan sur la sterne élégante

La sterne élégante (*Sterna elegans*) est un oiseau essentiellement côtier, qui se nourrit essentiellement de petits poissons (anchois et sardines) et de petits crustacés.

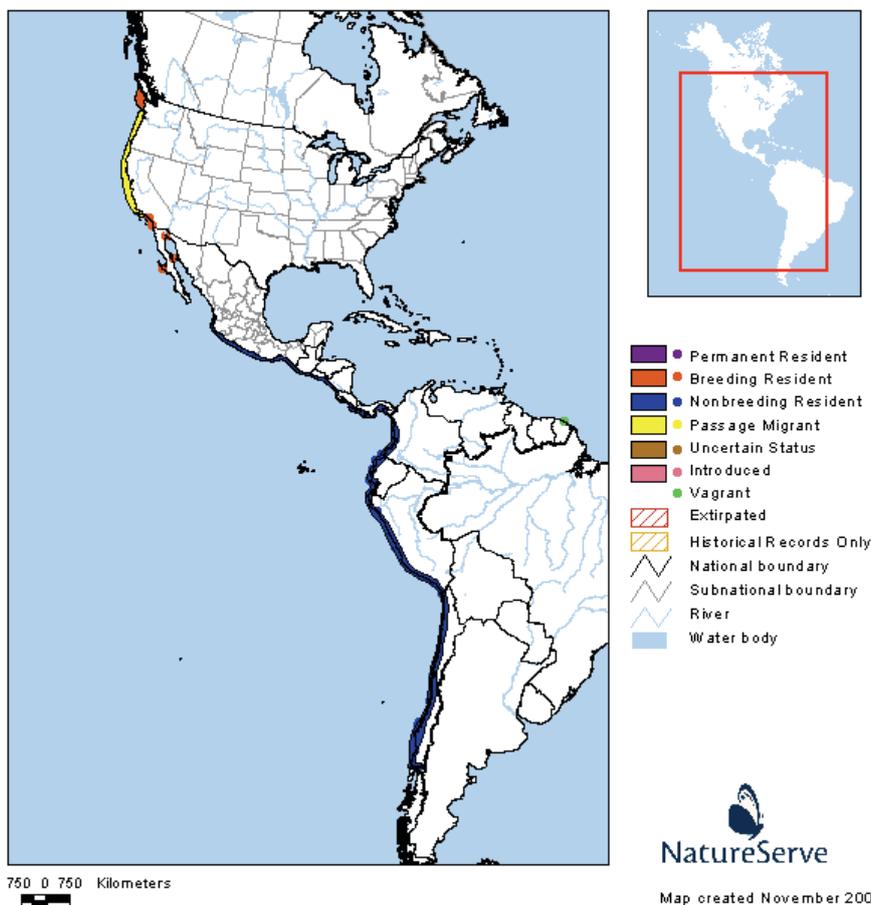
Photo 4.1. Sterne élégante (Photo Alain Fossé)



La sterne élégante se reproduit sur des îles au large de la Californie (90% de la population mondiale se trouve à Isla Rasa, petite île plate dans la partie nord du Golfe de Californie), le long de la côte de Basse Californie, et près de San Diego. Elles vont vers le nord et le centre de la côte californienne, de la moitié de l'été jusqu'à l'automne. Elles hivernent le long des côtes Sud Américaines, du Pérou au Chili (Oiseaux.net, 2006). Elle est **quasi menacée au niveau mondial** (UICN, 2010), du fait de la prédation sur les œufs, des dérangements des colonies, de la dégradation de leur habitat peu étendu et des changements climatiques.

Sa carte de répartition (voir Figure 4.11) mentionne des individus vagabonds sur les côtes de Guyane française (Natureserve, 2005). La sterne élégante est notée comme « rare/accidentelle » en Guyane française (Avibase, 2010).

Figure 4.11. Répartition de la sterne élégante (Natureserve, 2005)



La sterne élégante trouve sa nourriture dans les eaux marines et les estuaires. Elle ne s'aventure quasiment pas en haute mer, même si une observation est rapportée au large du Costa Rica, sur l'île Cocos, à 330 km des côtes (Montoya & Pascal, 2004).

La probabilité de sa présence en Guyane française est faible (oiseau rare/accidentel) et la probabilité de sa présence au-delà du plateau continental est très faible, mais non nulle.

Les survols menés depuis 2006 sur Kawana puis sur GM-ES-1 et les observations depuis le navire de sismique Geo Caribbean ont montré la présence de sternes d'espèces voisines dans la zone de projet.

On peut en conclure que la probabilité de l'effet du projet sur la sterne élégante est nulle à négligeable.

4.2.5.4 - Gros plan sur l'albatros à bec jaune

L'albatros à bec jaune (ou à nez jaune, *Thalassarche chlororhynchos*) est un albatros de taille relativement modeste. Il mesure environ 80 cm de long pour 2 m d'envergure, et un poids allant jusqu'à 2,5 kg. En comparaison, l'albatros hurleur peut peser plus de dix kilogrammes et mesurer jusqu'à trois mètres d'envergure. Il doit son nom à la large rayure jaune qui recouvre la partie sommitale du bec de l'adulte et qui se termine par une courte extrémité rosée. Son alimentation, uniquement de source marine, est constituée de poissons, de crustacés, de calmars et de déchets provenant de la pêche industrielle (Oiseaux.net, 2006).

Photo 4.2. Albatros à bec jaune (Photo Bram Ferdinande)



L'albatros à bec jaune est **menacé d'extinction** au niveau mondial (UICN, 2010), comme la plupart des espèces d'albatros, du fait de la pêche à la palangre dans l'hémisphère austral. De très nombreux individus sont attirés par les appâts des palangres et se font prendre par les hameçons. Rien qu'au large du Brésil, les études sur les prises accidentelles par les

bateaux de pêche (Neves & Olmos, 1998, Olmos *et al*, 2001) concluent à une mortalité moyenne de 1 085 albatros à bec jaune par an. Cette mortalité a pour conséquence une chute des effectifs de cet oiseau qui ne pond qu'un œuf par an.

On compte entre 55 000 et 83 200 albatros à bec jaune au niveau mondial (BirdLife International, 2010). Il niche uniquement sur l'île Gough et sur les îles de l'Archipel Tristan da Cunha, dans le sud de l'océan Atlantique. Pendant la période de nidification, l'albatros à nez jaune fréquente des zones rocheuses et rocailleuses recouverte de végétation épars.

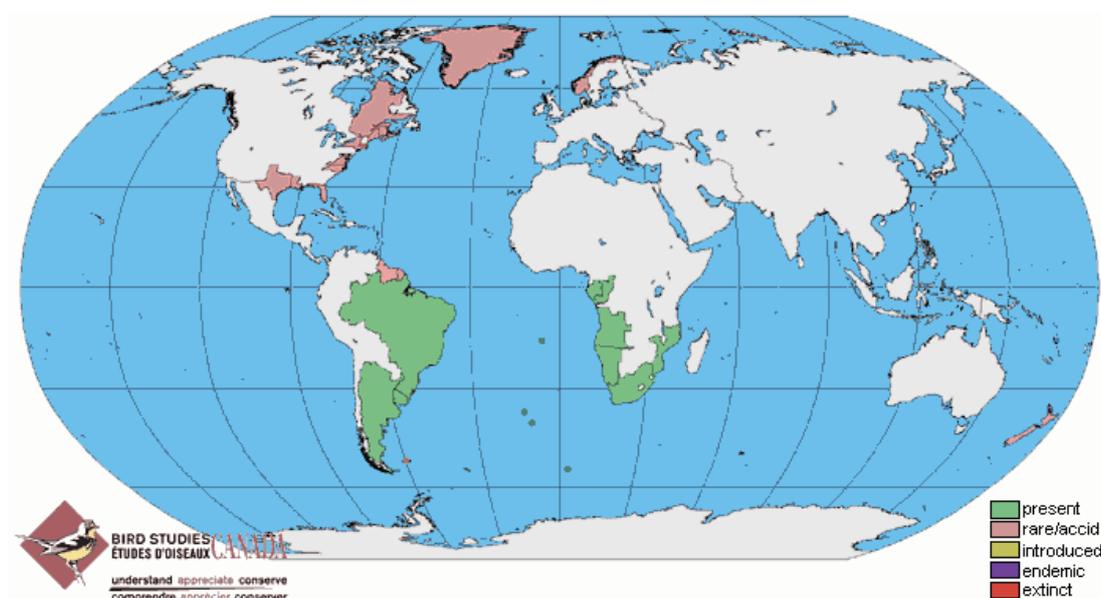
Hors saison de reproduction, c'est une espèce pélagique qui recherche des eaux plus chaudes que la plupart des autres espèces d'albatros. On le trouve dans l'océan Atlantique sud, au large des côtes de l'Argentine, du Brésil. Il est également observé à Sainte-Hélène et dans le Golfe de Guinée.

Occasionnellement, il parvient jusqu'en Nouvelle-Zélande, en Amérique du Nord et en Norvège. Ainsi, un albatros à bec jaune a été repéré à plusieurs reprises à partir de la mi-avril 2006 et fin avril 2007 le long de la côte est des Etats-Unis. Ces individus vagabonds sont surtout des oiseaux non reproducteurs.

Il est noté rare ou accidentel en Guyane (Avibase, 2010).

Sa répartition est figurée sur la **Figure 4.12** (Avibase, 2010).

Figure 4.12. Répartition de l'albatros à bec jaune (Avibase, 2010)



Les données satellites sur cette espèce (ACAP, 2009) permettent d'appréhender le comportement des individus, nicheurs et non nicheurs.

Figure 4.13. Suivi satellite d'un albatros à bec jaune adulte nicheur (ACAP, 2009)

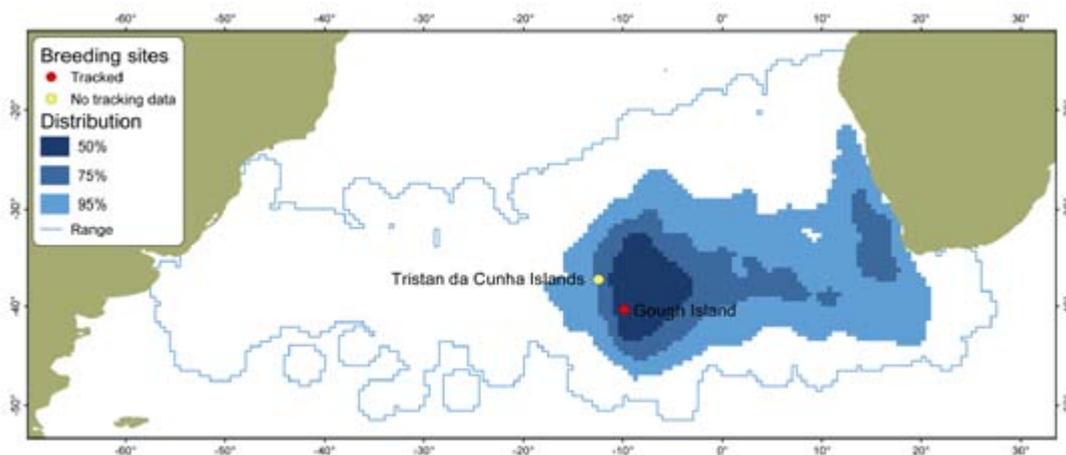
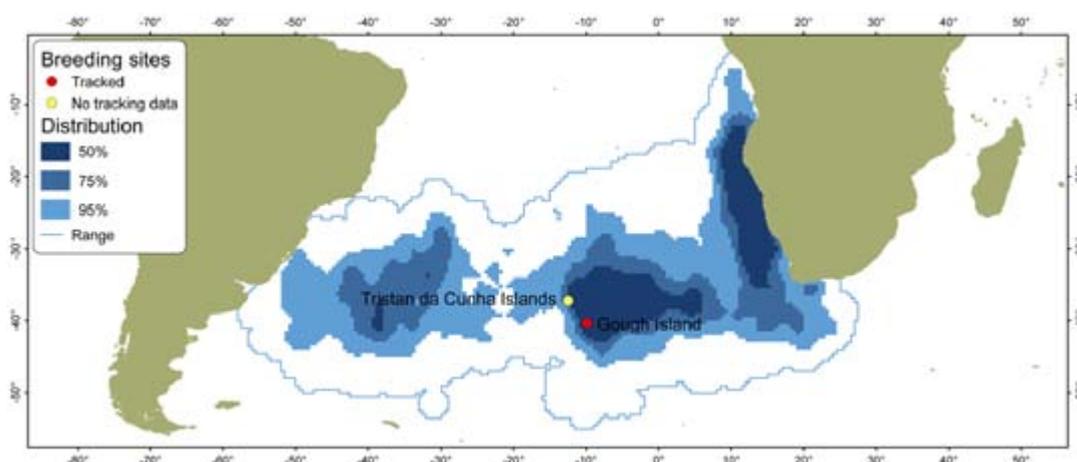


Figure 4.14. Suivi satellite d'un albatros à bec jaune adulte non nicheur (ACAP, 2009)



Dans les deux cas, l'adulte fréquente principalement une zone de 1 000 km à l'Est de l'île où il réside, ainsi que la zone du courant froid de Benguela, le long des côtes occidentales de l'Afrique du Sud (zone très poissonneuse due à un upwelling). Sa présence au-dessus de zones comparables à celles du projet, pied du talus continental sans ressource en poissons significative, est très nettement plus faible (cf. présence du sud Brésil au nord Argentine).

Du fait, d'une part, de la faible probabilité de présence au large de la Guyane et, d'autre part, des très grandes surfaces prospectées chez les individus non nicheurs, l'effet du projet sur cette espèce est jugé nul à négligeable.

4.2.5.5 - Gros plan sur les cétacés

Comme pour les tortues marines, les effets du projet sur les cétacés et leur probabilité de présence sont passés en revue.

a) Interférence des supports nautiques avec les cétacés

Pour un cétacé, les moyens nautiques, et notamment le support de forage, représentent des sources de bruit et des obstacles à leur déplacement.

Bruits

Les bruits typiques des supports nautiques se situent dans les basses fréquences, entre 16 et 250 Hz. A proximité du support de forage, les intensités sonores maximales sont de 174 dB re 1 μ Pa à 1 m de la source. Cette intensité décroît rapidement avec l'éloignement : l'intensité est de 159 dB à 5 m, 150 dB à 12 m, 130 dB à 100 m et 110 dB à 800 m.

Les cétacés à dents (ou odontocètes : dauphins, cachalots, orques) utilisent les sons pour leurs déplacements (écholocation), pour leur recherche de nourriture et pour communiquer. Leur gamme d'audition se situe entre 75 Hz et 250 kHz, avec une sensibilité accrue de 10 à 20 kHz. Les bruits générés par le navire recourent en partie leur spectre d'audition, mais ne sont pas dans la plage de sensibilité maximale. A faible distance, les bruits du navire peuvent ainsi interférer très partiellement avec leur capacité d'audition, pouvant entraîner une réaction d'évitement. Les intensités où apparaissent des gênes chez les grands dauphins sont de l'ordre de 150 dB (Taylor *et al*, 1997). Les dauphins devraient donc éviter les quelques mètres autour du navire.

Les cétacés à fanons (ou mysticètes) ont un spectre de communication beaucoup plus bas que les dauphins : il se situe entre 10 Hz et 10 kHz, avec une sensibilité accrue autour de 1 kHz. Le recouvrement avec les bruits induits par les moteurs est donc significativement plus important que pour les odontocètes.

L'intensité du signal est aussi un facteur d'évitement. Richardson *et al*, 1995 rapporte le comportement des baleines grises au voisinage d'un navire de forage à positionnement dynamique. 90% des baleines grises observées ont évité une zone où l'intensité était supérieure à 122 dB. Ces réactions surviennent moins fréquemment pour des intensités plus faibles : ainsi, 10% des baleines grises ont évité des zones à 110 dB. On peut en déduire

que des baleines éventuellement présentes autour du navire, dans un rayon allant jusqu'à 800 m, seront gênées par l'intensité des bruits et quitteront en partie cette zone. Les intensités fortes peuvent entraîner une perte temporaire, voire définitive en cas d'exposition répétée, d'audition chez les baleines. La bibliographie suggère qu'une exposition prolongée à des niveaux de l'ordre de 120 dB entraînerait des dommages auditifs (Davis *et al*, 1990). Quant à la perte définitive d'audition, elle surviendrait entre 180 et 220 dB (Verboom), c'est-à-dire pour une intensité supérieure à celle émise par le support de forage (174 dB). Ce risque semble donc écarté.

En résumé, les bruits générés par le support de forage interfèrent avec les fréquences utilisées par les cétacés. Les intensités des sons sont inférieures au seuil de perte d'audition, mais supérieures au seuil de gêne près du support de forage ; des comportements d'évitement dans un rayon de plusieurs centaines de mètres sont attendus.

Obstacles

Les obstacles peuvent être constitués par les navires ou les lignes d'ancrage du navire en stand-by. L'évitement des supports nautiques est en partie lié avec le niveau de bruit généré (cf. § précédent). La présence d'une seule ligne, voire de deux lignes d'ancrage rend négligeable l'interférence avec un cétacé en plongée.

b) Exposition des cétacés aux contaminants des rejets liquides et solides

Le calcul des concentrations induites par l'activité d'exploration pétrolière découle des quantités de produits qui seront utilisées, de la hauteur d'eau du site et des conditions de courants qui dispersent les contaminants. Au vu de la brièveté du forage d'exploration au regard de la longévité des cétacés, on ne peut pas parler d'exposition chronique à ces contaminants. Par ailleurs, la compagnie Tullow Oil s'engage à sélectionner les produits nécessaires à la réalisation du forage parmi ceux qui présentent le moins d'effets sur l'environnement.

c) Cas particulier de l'éventuel rejet accidentel d'hydrocarbures

Les ruptures de flexible lors du remplissage de cuve d'hydrocarbure restent exceptionnelles. Il s'agit donc d'un évènement rare, donnant lieu pendant quelques jours à un panache de faible volume qui s'étale avec le temps. Les effets sont maximaux au moment de la rupture de la cuve, quand la fraction volatile ne s'est pas encore évaporée. En effet, les hydrocarbures les plus légers peuvent être inhalés quand le cétacé fait surface au milieu du rejet accidentel et occasionner des lésions pulmonaires. Les calculs de densité maximale en

cétacés dans la zone du panache indiquent une présence potentielle de 0,6 à 8,9 individus. Les effets d'une contamination accidentelle d'un volume d'une centaine de m³ sont faibles.

d) Probabilité de présence des cétacés

Les eaux sont très peu productives (teneurs en nutriments faibles, peu de chlorophylle-a et donc de phytoplancton) pour la période retenue pour le forage, à l'exception du mois de mai pour lequel une remontée des concentrations en chlorophylle-a est observée. La densité de proies pour les cétacés est globalement faible par rapport au plateau continental proche. La probabilité de présence de cétacés sur le site est très faible à faible, mais non nulle, comme l'ont montré les observations sur site.

e) Conclusion

De par la faible densité en cétacés et de l'intensité négligeable à faible des impacts du projet, l'analyse conduit à des impacts dont la magnitude est négligeable à faible sur ces espèces protégées.

4.2.5.6 - Gros plan sur la pêche

Les zones potentielles de pêche à la crevette vont au maximum à l'aplomb de fonds de 1 000 m ; ils sont plus souvent cantonnés sur le plateau continental. L'emplacement du site de forage, par 2 389 m de hauteur d'eau est donc en dehors de ces zones.

Les courants sont forts sur le site, entraînant une rapide dilution des rejets dans la colonne d'eau. Les courants au niveau du site de forage ont des résultantes vers le nord-ouest ou vers l'ouest. Aussi, les effets liés aux rejets liquides et solides du navire interfèrent de manière marginale avec les zones de pêche, qui sont au plus près à 40 km en aval de GM-ES-1 (par rapport aux courants marins).

La seule source potentielle d'impact pour les zones de pêche, c'est l'éventuel rejet accidentel d'hydrocarbures. En effet, ceux-ci ne se diluent pas, s'évaporent partiellement, se dégradent lentement et leur propagation obéit aussi à l'action du vent puisque que ceux-ci, moins denses que l'eau de mer, sont en surface. La rupture de cuve de carburant est un évènement rare lors d'un forage.

En fonction des conditions de vent et de courant, le déplacement de la nappe varie. Aussi deux séries de modélisations ont été menées avec les conditions de vent et de courant de chaque jour d'avril 2005. A partir des 30 simulations, on définit une courbe enveloppe qui entoure les 30 trajets de nappes (cf. **Figure 4.8**). Une nappe survenant en avril se déplacera

à l'intérieur de la courbe enveloppe d'avril, **mais n'en occupera qu'une petite partie**. En effet, la nappe, qui s'étale avec le temps, occupe une surface comprise entre 3 et 250 km², à comparer avec la courbe enveloppe qui mesure 71 600 km², soit moins de 0,04% de l'enveloppe.

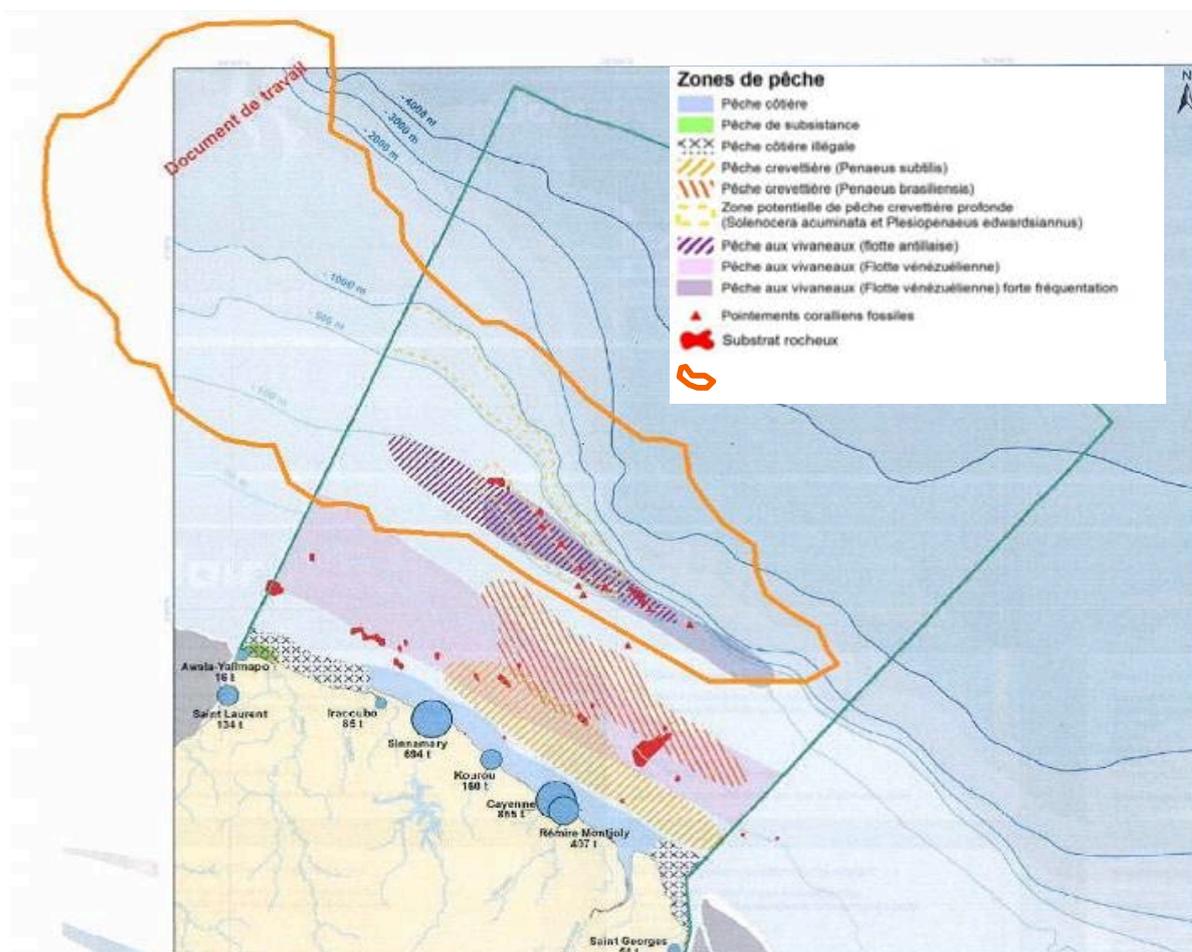
Courbe enveloppe maximale de la nappe d'hydrocarbures

L'impact sur les zones de pêche peut prendre deux aspects :

- Soit la présence d'une nappe d'hydrocarbures condamne un périmètre qui correspond à l'emplacement de la nappe à un moment donné (hypothèse minimum),
- Soit, dans l'hypothèse maximale, on vient à considérer que la pêche n'est pas possible à l'intérieur de la courbe enveloppe.

Cette seconde hypothèse peut être superposée sur les zones de pêches guyanaises, afin de voir les zones qui seraient potentiellement touchées (**Figure 4.15**).

Figure 4.15. Recouvrement entre les zones de pêches et la courbe enveloppe maximale où pourrait se trouver la nappe d'hydrocarbures, conditions d'avril 2005 (d'après AAMP, 2010)



Les zones potentiellement affectées sont donc la zone très fréquentée pour la pêche au vivaneau, et les zones potentielles de crevettes profondes. En revanche, les zones de pêches des crevettes pénéides, les seules exploitées à ce jour, ne sont pas impactées.

Le résultat de la superposition avec les zones de pêche est donné dans le **Tableau 4.20**.

Tableau 4.20. Evaluation des l'interaction d'un éventuel rejet accidentel avec les zones de pêche en Guyane

Hypothèse	Superficie considérée pour l'effet (km ²)	Pêche	Superficie des zones de pêches (km ²)	% impacté en Guyane
Minimale (panache seul)	3	Pénéides	11 000	0,00%
	250	Pénéides	11 000	0,00%
Minimale (panache seul)	3	Crevette profonde	4 215	0,07%
	250	Crevette profonde	4 215	5,93%
Minimale (panache seul)	3	Vivaneau	20 600	0,01%
	250	Vivaneau	20 600	1,21%
Maximale (courbe enveloppe d'avril 2005)	0	Pénéides	11 000	0%
	4 215	Crevette profonde	4 215	100%
	5 500	Vivaneau	20 600	27%

L'hypothèse d'un effet limité au panache seul conduit à des effets négligeables sur les zones de pêche. En revanche, l'hypothèse maximale qui consiste à considérer la totalité de la courbe enveloppe conduit à des effets significatifs. La superposition de la courbe maximale avec les zones de pêche est moyen à fort en considérant les conditions d'avril 2005, représentatives de la période du forage.

L'impact attendu sur le tonnage pêché devrait être différent des valeurs issues de la comparaison des surfaces. D'une part, les zones potentiellement touchées sont principalement les zones les plus au large des domaines de pêche. Or, du fait de l'augmentation du coût du carburant, il a été constaté que les unités de pêche sortaient moins loin en mer : la flotte de pêche s'est rapprochée des côtes. L'effort de pêche au large s'en trouve amoindri. Mais, d'autre part, la zone principale de pêche au vivaneau est celle la plus au large. On peut néanmoins estimer que l'effet attendu sur la pêche est moyen à fort pour les conditions d'avril.

4.3 - Mesures d'atténuation des effets

Les mesures d'atténuation du projet peuvent être déclinées sous deux angles :

- d'une part, des mesures destinées à supprimer ou minimiser certains des effets négatifs du projet sur l'environnement, à des coûts économiquement acceptables,
- d'autre part, quand il n'est pas envisageable de supprimer un effet significatif, de proposer des mesures de compensation.

4.3.1 - Mesures de réduction des impacts

Les mesures d'intégration sont destinées à supprimer, ou tout au moins à minimiser de manière significative les effets sur l'environnement.

4.3.1.1 - Mesures destinées à réduire les émissions vers l'environnement

a) Mise en œuvre stricte des consignes HSE

La mise en œuvre d'un système de gestion Hygiène, Sécurité et Environnement (HSE) est fondamentale, aussi bien pour les personnels qui seront amenés à participer au forage d'exploration que pour limiter les émissions vers l'environnement. TULLOW OIL évalue les différents prestataires et sous-traitants qui postulent pour tout contrat sur des critères, dont leur gestion des questions HSE (cf. **Annexe 7**).

Le système HSE, au travers de consignes et de rapports, encadre chaque activité à bord du support nautique. Parmi les activités visées, la bonne gestion des déchets est une source de lutte contre les rejets non contrôlés et contre les comportements inappropriés (déchets jetés par-dessus bord).

Le fonctionnement du système HSE inclut une évaluation interne du prestataire. Cette évaluation peut amener, le cas échéant, à modifier les pratiques à bord afin de minimiser les effets sur l'environnement. En plus de l'évaluation en interne, il pourrait être recommandé que Tullow Oil réalise un audit externe, vu le caractère sensible de ce projet.

b) Entretien régulier

L'entretien régulier des moteurs, compresseurs, groupes électrogènes, batteries et flexibles est un moyen préventif de lutte contre les accidents et contre les rejets dans l'environnement qui peuvent en résulter (carburants, fluides hydrauliques, etc.).

c) Matériel de lutte contre les rejets accidentels et personnels qualifiés et formés

Si, en dépit des règles HSE et de l'entretien, un rejet accidentel survenait, il est très important de disposer de moyens de lutte appropriés et de personnels formés à leur mise en œuvre, de manière à confiner et résorber le rejet. Les consommables utilisés (chiffons, absorbants, etc.) sont ensuite à intégrer dans la filière de tri et de traitement des déchets industriels spéciaux.

Des matériels de lutte anti-pollution seront présents à bord des moyens nautiques, ainsi que du personnel habitué à les mettre en œuvre.

4.3.1.2 - Mesures destinées à réduire les effets sur la faune

a) Mise en route progressive du forage

La mise en route progressive du forage génère des bruits d'intensité croissante. Si des vertébrés se trouvent à proximité, cette augmentation progressive devrait entraîner un déplacement des individus, limitant ainsi les effets.

b) Pas d'éclairage dirigé vers l'eau.

L'attraction des individus par la lumière est essentiellement due aux éclairages dirigés vers l'eau. Les poissons sont attirés et, avec eux, leurs prédateurs.

Ce phénomène peut avoir un effet négatif en attirant des animaux dans un périmètre où les eaux sont localement contaminées (eaux usées, rejets accidentels).

Il est recommandé de s'en tenir aux éclairages nécessaires pour le balisage de navigation et pour la sécurité de l'équipage.

c) Choix de la période d'intervention

La présence des vertébrés marins n'est pas uniforme tout au long de l'année au large de la Guyane. Ainsi, les tortues olivâtres sont potentiellement rencontrées toute l'année, en faible densité, dans l'emprise du projet. A l'inverse, les femelles de tortues vertes et luths qui pondent sur les plages depuis l'est du Surinam jusqu'à Cayenne quittent le littoral entre fin mars et fin juillet pour les premières, et de mai à fin août pour les secondes. De même, la présence de cétacés migrateurs n'est pas identique au cours de l'année.

Le **Tableau 4.21** reprend les périodes de présence potentielle des tortues marines et cétacés, dont les densités sont faibles ou présumées comme telles sur le site de GM-ES-1.

Tableau 4.21. Présence potentielle de tortues et cétacés aux alentours de GM-ES-1

Espèces	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tortue luth												
Tortue verte												
Tortue olivâtre												
Cétacés												

Quasi-absence	Présence faible	Présence faible à moyenne	Présence moyenne

En dehors de la tortue olivâtre, présente à l'année, les enjeux de conservations de ces espèces protégées sont légèrement différents suivants le moment de la réalisation du forage :

- La tortue olivâtre est présente tout au long de l'année,
- En janvier, la présence est minimale, avec des eaux très pauvres en nutriments, d'où une absence de chaîne trophique et donc peu de vertébrés,
- En février apparaissent au voisinage du site les femelles des tortues luths et vertes,
- Aux mois de mars et d'avril, les tortues sont moins présentes et les cétacés sont absents, toujours en raison d'eaux pauvres en nutriments,

- En mai, il y a à nouveau des passages soutenus de tortues marines, notamment l'essentiel des tortues vertes quitte la Guyane ; les eaux de GM-ES-1 sont alimentées par l'Amazone, ce qui permet un certain développement de la chaîne trophique et la faible présence de cétacés.

4.3.1.3 - Mesures destinées à réduire les effets sur les usages

Le principal effet significatif sur les usages, c'est le rejet accidentel d'hydrocarbures. Ce phénomène peu fréquent peut, durant la période prévue pour le forage, se déplacer vers les zones potentielles de pêche de Guyane et du Surinam.

Si un déversement accidentel se produit, les hydrocarbures vont se présenter sous la forme de flaques huileuses coalescentes. L'agitation due à la houle qui règne habituellement sur le site et l'aspect éparpillé du panache ne favorisent pas son confinement et sa récupération. Cependant, le volume restant à la surface de la mer est diminué du phénomène naturel d'évaporation.

4.3.2 - Mesures compensatoires

Les mesures compensatoires sont mises en œuvre quand il n'est pas possible à des coûts économiquement acceptables de réduire, voire de supprimer l'effet sur l'environnement. Il s'agit alors de compenser les effets qui n'ont pas pu être suffisamment atténués.

Ainsi, lors d'une phase précédente, une campagne de sismique 3D constituait une source d'impact significatif sur les tortues marines et les cétacés. Comme il n'était pas possible de diminuer les perturbations acoustiques générées par la sismique, il a été accepté de compenser ce risque par des suivis scientifiques avant, pendant et après la campagne sismique de 2009-2010. C'est à cette occasion qu'une campagne de survols a été initiée en septembre 2009.

Pour la phase actuelle de forage de puits d'exploration, la mise en œuvre des mesures de réduction des effets apparaît suffisante pour garantir la compatibilité du forage avec l'environnement. Les effets résiduels sont généralement jugés comme faibles. **Aussi, aucune mesure compensatoire n'est proposée pour le forage d'exploration GM-ES-1.**

5 - ANALYSE DES METHODES UTILISEES POUR EVALUER LES EFFETS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT

La méthode utilisée pour évaluer la magnitude des impacts spécifiques du projet sur l'environnement naturel et humain a été effectuée en trois étapes successives.

5.1 - Intensité des effets

Dans un premier temps, l'intensité des impacts de ce projet sur l'eau, sur les sédiments, sur l'air et sur les usages a été abordée successivement.

L'intensité des effets a consisté à simuler ou calculer, chaque fois que cela a été possible, l'effet sur les variables physiques et biologiques. Pour cela, des calculs de dilution, des modèles physiques simplifiés et un modèle de dérive de nappe d'hydrocarbures en 3 dimensions (logiciel Mike 3D) ont été utilisés. Quand une telle approche n'était pas possible, le dire d'expert a été utilisé.

L'aspect lié à la présence et la densité des espèces repose sur des données bibliographiques, d'observations sur le site de GM-ES-1 ou celui de Kawana, situé à 24 km au sud-est et qui présente des hauteurs d'eau similaires, ou de **modélisations de la présence en mer**. En ce qui concerne les tortues marines, la modélisation a été réalisée dans le cadre de cette étude par le Professeur Marc Girondot de l'Université Paris Sud. La modélisation s'appuie sur des données statistiques de ponte sur les littoraux de Guyane française et de l'est du Surinam, sur le comportement en mer d'individus équipés de balises et sur les données de survol de la zone. Pour les mammifères marins, le Centre de Recherche des Mammifères Marins (CRMM) de La Rochelle a procédé, en se basant sur des données issues de survols, à la réalisation de modèles spatiaux de la distribution des animaux, dans le cadre de l'étude de distribution et d'abondance des cétacés dans la zone économique exclusive de Guyane française, pour l'Agence des Aires Marines Protégées.

L'intensité de l'effet est évaluée en se référant à des seuils de qualité, des valeurs écotoxicologiques ou à des données de la littérature scientifique. Ces dernières sont peu nombreuses, par exemple pour ce qui est de l'effet des bruits du forage sur les vertébrés

marins, et leurs conclusions, quoique globalement convergentes, pourraient nécessiter d'être étoffées par des données scientifiques.

5.2 - Fréquence et durée des effets

Le paramètre temporel (fréquence et durée de l'effet) est renseigné. Par exemple, la durée de l'effet du largage de déblais de forage sur la turbidité se base sur les vitesses de chute verticale des particules composant les déblais, au moyen d'un modèle physique simplifié.

5.3 - Sensibilité des composantes environnementales

La sensibilité du milieu touchée est déterminée différemment sur le milieu physique, sur le milieu biologique et sur les usages.

La sensibilité du **milieu physique** est liée à la capacité de disperser une perturbation. La sensibilité du **milieu biologique** est liée à la notion de chaîne trophique, et à la capacité de bioaccumulation des divers biotes en fonction des différents contaminants. La sensibilité d'un **usage** est liée aux répercussions pouvant résulter du projet.

5.4 - Notation globale d'un effet

Chaque couple effet/composante est noté sur les 3 critères d'intensité, de fréquence/durée et de sensibilité. Une note est attribuée pour chaque critère en fonction des grilles d'évaluation définies aux paragraphes précédents. La note finale est obtenue par multiplication des 3 notes. Le total est alors comparé à la grille d'évaluation globale suivante.

Tableau 5.1. Grille d'évaluation globale des effets

Description	Note globale
Effet nul ou positif	< 3
Effet négligeable à faible	3 à 8
Effet faible à moyen	9 à 16
Effet moyen à fort	17 à 30
Effet fort à très fort	>30

6 - REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AAMP [Agence des Aires Marines Protégées], 2010

Guyane – Analyse stratégique régionale. *Document réalisé par l'Agence des Aires Marines Protégées, 156 p., 2010*

ACAP [Agreement on the Conservation of Albatrosses and Petrels], 2009

Species Assessments, Atlantic Yellow-nosed Albatross.
<http://www.acap.aq/acap-species/>

ADEME, 2005

Bilan Carbone® - Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées (version 3.0). *Rapport pour l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie et la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre, 194 p., avril 2005.*

Anonym, 1999

Satellite Tracking Our Turtles.
http://www.oneocean.org/ambassadors/track_a_turtle/satellite/.

Artigas, L. F. & Guiral, D., 2002

Seasonal dynamics of microplankton biomasses along a dilution gradient from the Kaw River to the coastal waters off French Guiana. *Communication lors du congrès international ECOLAB VI, Belém, Brésil, 2002.*

Artigas, L.F., Vendeville P., Leopold M., Guiral, D. & Ternon J.F., 2003

Marine biodiversity in French Guyana: estuarine, coastal and shelf ecosystems under the influence of Amazon Riverian waters. *Gayana 67 (2): 302-326, 2003.*

AVIBASE, 2010

The World Bird Database.
<http://www.bsc-eoc.org/avibase/avibase.jsp?lang=FR>

Beavers, S. C., & Cassano, E. R., 1996

Movements and dive behavior of a male sea turtle (*Lepidochelys olivacea*) in the eastern tropical Pacific. *Journal of Herpetology* 30:97-104.

Berrocal, J., Assumpção, M., Antezana, R., Dias Neto, CM, França, H. & Ortega, R., 1983

Seismic activity in Brazil in the period 1560-1980. *Earthquake Prediction Research, Tokyo-Japan, 2: 191-208.*

BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2010

Species fact sheets. <http://www.birdlife.org/datazone/species/index.html>

Bjorndal, K. A., 1997

Foraging ecology and nutrition of sea turtles. In Lutz PL, Musick JA (eds) *The biology of sea turtles, Vol 1, CRC Press, Boca Raton, FL, USA: 199-231.*

Blake, J. A., & Hilbig, B. 1994

Dense infaunal assemblages on the continental slope off Cape Hatteras, North Carolina. *Deep-Sea Research II* 41: 875-899

Bouillet, S., 2002

Etude du *Sotalia fluviatilis* (Cétacé Delphinidé) en Guyane Française. Rapport de l'Association KWATA, Cayenne, Guyane française, 2002.

BRGM

Carte géologique de la Guyane française. *Deuxième édition.*

BRGM, 2006

Le séisme du 8 juin 2006 survenu en Guyane Française. *Note d'information : BRGM, Service Aménagement et Risques Naturels, Orléans, le 9 juin 2006.*

Carpenter, K.E., 2002

The living resources of the Western Atlantic, volume 1: Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes and chimaeras. *FAO species identification guide for fishery purposes, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2002*

CENTRE D'ETUDES BIOLOGIQUES DE CHIZE [CEBC], 2003

Voyager en frégate... en permanence dans les airs.

http://www.cebc.cnrs.fr/Fr_tAAF/GPzoo_FS.html

CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE DE GUYANE [CCIG]

Chambre de Commerce et d'Industrie de la Guyane. www.guyane.cci.fr/

CENTRE DE RECHERCHE DES MAMMIFERES MARINS [CRMM], 2009

Distribution et abondance des CETacés dans la zone économique Exclusive de la Guyane française par Observation aérienne. Campagne EXOCET-Guyane pour l'Agence des Aires Marines Protégées, avec la collaboration de SeaVida, de SEPANMAR. *Rapport final – mai 2009*

Chevalier, C. & Lerat, J., 2002

Modélisation de la circulation océanique sur le plateau continental de la Guyane.

Journal Recherche Océanographique 2002, vol. 27, n°1 : 14-22.

Chevalier, J., 2010

Etat des connaissances sur la distribution spatiotemporelle et l'abondance de l'avifaune du talus continental et la zone océanique de la Guyane française. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, juillet 2010.*

Choubert, B., 1974

Le Précambrien des Guyanes. *Mémoires BRGM, n° 21. 204 p., cartes et annexes.*

Cremers, G. & Hoff, M., 2003

Guide de la flore des bords de mer de Guyane française. *Patrimoines Naturels 59, Publications Scientifiques du Muséum, IRD Editions, Paris, 2003, 212 p.*

CREOCEAN, 2004 a

Entretien des profondeurs du chenal du Dégrad des Cannes – Dossier d'Autorisation au titre de la loi sur l'Eau. *Rapport pour la DDE Guyane.*

CREOCEAN, 2004 b

Etude de faisabilité du maintien des accès au terminal de Saint-Laurent du Maroni. Port de l'Ouest.

CREOCEAN, 2006

Déclaration d'ouverture de travaux de recherche de mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux. Site de Kawana. Pièce n°3 : Etude d'impact. *Rapport pour la société Hardman, novembre 2006*

CREOCEAN, 2009

Appel à projets Biodiversité Marine en Guyane française, année 2009. Réalisation d'une campagne d'inventaire de la faune benthique (endogée et épigée) et démersale, sur les fonds marins du plateau continental guyanais. *Rapport pour la Direction Régionale de l'Environnement de Guyane, octobre 2009*

Davis, R.A, Richardson, W.J., Theile, L., Dietz, R. & Johansen, P., 1990

State of the Arctic Environment Report on Underwater Noise. *Finnish initiative on protection of the Arctic environment.*

DDAF Guyane, 2006

Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt.
<http://daf973.agriculture.gouv.fr/>

Delamare, A., 2005

Estimation des captures accidentelles de tortues marines par les fileyeurs de la pêche côtière en Guyane. *MS dissertation, Agro-campus de Rennes (Fr) / WWF Guyane, p. 42*

DHI [DANISH HYDRAULIC INSTITUTE]

Présentation du logiciel Mike 3. <http://www.dhi.fr/Logiciels/Mike3/>

DIREN Guyane, 2006

Direction Régionale de l'Environnement. www.guyane.ecologie.gouv.fr/

Do Rosario Marinho, I., Artigas, L.F., Ternon, J.F. & Guiral, D., 2004

Distribution du phytoplancton et bactérioplancton en zone littorale et côtière équatoriale sous différentes conditions trophiques. *Communication lors du congrès international ECOLAB VII, Cayenne, Guyane française, 2004.*

DRIRE Antilles-Guyane, 2006

Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement Antilles-Guyane. www.ggm.drire.gouv/.

ESA

Agence Spatiale Européenne, www.esa.int/

Etkin, D. S., 2001

Analysis of oil spill trends in the United States and worldwide. *International Oil Spill Conference, 2001*

ETOPO-2

2-Minute Gridded Global Relief Data. *World Data Center for Marine Geology & Geophysics, Boulder, Colorado*

Ferraroli, S., 2004

Etude des déplacements en mer des tortues luths nidifiant sur le plateau des Guyanes : contribution à leur conservation. *Thèse présentée à l'Université Louis Pasteur-Strasbourg I en vue de l'obtention du titre de docteur d'université, soutenue le 12 mars 2004*

Fossette, S., Kelle, L., Girondot, M., Goverse, E., Hilterman, M.L., Verhage, B., de Thoisy, B. & J.Y. Georges, 2008

The world's largest leatherback rookeries: A review of conservation-orientated research in French Guiana/Suriname and Gabon. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 356, pp. 69-82

Fretey, J., 1981

Tortues marines de Guyane. *Editions du Léopard d'or, France.*

Froidefond, J.M., Gardel, L., Guiral, D., Parra, M. & Ternon, J.F., 2002

Spectral remote sensing reflectances of coastal waters in French Guiana under the Amazon River influence. *Remote Sensing of Environment* 80 (2002) 225-232.

Fromard F., 1998

L'écosystème Mangrove : biodiversité, fonctionnement, restauration et gestion. *Bois et Forêts des Tropiques*, 256 (2) : 80-86.

Fugro Geos Ltd, 2005

French Guyana Exploration Drilling Metocean Criteria. *Rapport Fugro Geos C50361/3775/R1 pour Peak Group, November 2005*

Gaspar P., Georges J.-Y., Fossette S., Lenoble A., Ferraroli S. & Le Maho Y., 2006

Marine animal behavior: neglecting ocean currents can lead us up the wrong track. *Proc Roy Soc-B*, doi 10.1098.rspb.2006.3623.

GEPOG [Groupe d'Etude et de Protection des Oiseaux en Guyane], 2006

<http://www.gepog.org/>

Geraci, J.R. & St. Aubin D.J., 1982

Study of the effects of oil on cetaceans. *Final report to the US Department of Interior, BLM contract AA551 CT9 29. 274pp.*

Geraci, J.R. & St. Aubin D.J., 1985

Effects of offshore oil and gas development on marine mammals and turtles. pp. 587-617. In: *D.F. Boesch and N.N. Rabalais (eds.) Long-term Environmental Effects of Offshore Oil and Gas Development. Elsevier Applied Science, New York. 711 pp.*

Geraci, J.R., 1990

Physiologic and toxic effects on cetaceans. pp. 167-97. In: *J.R. Geraci and D.J. St Aubin (eds.) Sea Mammals and Oil: Confronting the Risks. Academic Press, San Diego. xvi+282pp.*

Geraci, J.R. & St. Aubin D.J., 1990

Sea Mammals and Oil: Confronting the Risks. *Academic Press, San Diego*. xvi+282pp.

Girard C., Sudre J., Benhamou S., Roos D. & Luschi P., 2006

Homing in green turtles *Chelonia mydas*: oceanic currents act as a constraint rather than as an information source. *Mar Ecol-Prog Ser 322*: 281-289.

Girondot, M. & L. Ponge, 2006

Survols aériens au large des côtes de Guyane française – Avril-Juillet 2006. *Rapport Université Paris Sud, CNRS, ENGREF – UMR C8079 pour CREOCEAN, 31 août 2006*.

Girondot, M. & M. Russo, 2009a

Synthèse des données des survols obtenues en septembre 2009 – Rapport intermédiaire. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, 25 juin 2010*.

Girondot, M. & M. Russo, 2009b

Synthèse des données des survols obtenues en octobre 2009 – Rapport intermédiaire. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, 25 juin 2010*.

Girondot, M. & M. Russo, 2009c

Synthèse des données des survols obtenues en décembre 2009 – Rapport intermédiaire. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, 25 juin 2010*.

Girondot, M., 2010a

Modélisation de la distribution des tortues luths (*Dermochelys coriacea*), des tortues olivâtres (*Lepidochelys olivacea*) et des tortues vertes (*Chelonia mydas*) au large des côtes de Guyane française. Nouvelle paramétrisation et modèle individu centré. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, 9 juillet 2010*.

Girondot, M., 2010b

Distribution temporelle des cétacés sur les côtes de Guyane française. Premières

analyses. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, 11 juillet 2010.*

Girondot, M., 2010c

Données des survols effectués en février 2010 – Rapport intermédiaire. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, 25 juin 2010.*

Girondot, M., 2010d

Données des survols effectués en mars 2010 – Rapport intermédiaire. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, 26 juin 2010.*

Girondot, M., 2010e

Données des survols effectués en avril 2010 – Rapport intermédiaire. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, 26 juin 2010.*

Girondot, M., 2010f

Données des survols effectués en mai 2010 – Rapport intermédiaire. *Rapport Université Paris Sud, AgroParisTech et CNRS pour Tullow Oil, 19 juin 2010.*

GRUPE RADIOECOLOGIE NORD-COTENTIN [GRNC], 2002

Volet chimique, Rapport détaillé, volume 3 : Evaluation des risques pour l'environnement. *Rapport pour l'IRSN, Décembre 2002*

Guéguen F., 1991

Les crevettes profondes du talus continental de la Guyane française. - Résultats des deux campagnes de prospection réalisées en 1990 (août et novembre). *Rapport IFREMER, 66 pp.*

Guéguen F., 2000

Captures accidentelles de tortues marines par la flottille crevettière de Guyane française. *Bull. Soc. Herp. Fr. (2000) 93 : 27-36.*

Hall, R. J., Belisle, A. A. & Sileo L., 1983

Residues of petroleum hydrocarbons in tissues of sea turtles exposed to the Ixtoc I oil spill. *Journal of Wildlife Diseases, 19(2), 1983, pp. 106-109.*

IFEN

Institut Français de l'Environnement. www.ifen.fr/

IFREMER

Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la mer. www.ifremer.fr/

IFREMER, 2003

Extraplac, programme français d'extension du plateau continental. Campagne Guyaplac. <http://www.extraplac.fr/FR/campagnes/guyaplac.php>

INERIS, 2005

Le cuivre et ses dérivés. *Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques INERIS-DRC-25590-02DF54, version N°1-5 - février 2005*

IRD [INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT], 2006

Herbier de Guyane. <http://www.cayenne.ird.fr/aublet2/>

IUCN, 2010

IUCN Red List of Threatened Species.

<http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/search>

KOMEX, 2005

Etude d'impact environnemental, étude sismique par forage intercalaire. *Rapport final pour Hardman Resources Ltd, juillet 2005.*

Lahet, F., Polidori, L. & Petit, M.

Apports de l'imagerie SPORT-HRV pour le suivi de la zone côtière sous l'influence de l'Amazon Rivere.

Le Lœuff P. & von Cosel, R., 2000

Aperçu sur la macrofaune benthique du plateau continental de la Guyane française. *Document scientifique et technique du Centre IRD de Bretagne – n°86, 2000, 39 pp.*

Lentz, S. A. & Felleman F., 2003

Oil Spill Prevention: a Proactive Approach. *Special Session of the International Oil Spill Conference, 2003*

Léopold, M., 2005

Poissons de mer de Guyane. *Guide illustré. Ifremer, 216 p.*

Lescure, J.-P. & Tostain, O., 1989

Les mangroves guyanaises. *Bois et Forêts des Tropiques, 220 : 35-42.*

Licari M.L., 1998

Système d'aide à l'interprétation des données benthiques en milieu marin et lagunaire. *Rapport IARE / Région PACA / Agence de l'Eau RMC : 315 p*

Lutcavage, M. E, Lutz, P. L., Bossart, G. D. & Hudson D. M., 1995

Physiologic and clinicopathologic effects of crude oil on loggerhead sea turtles. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology 28: 417-422, May 1995*

McCauley R. D., J. Fewtrell, A. J. Duncan, C. Jenner, M.-N. Jenner, J. D. Penrose, R. I. T. Prince, A. Adhitya, J. Murdoch, and K. McCabe, 2000

Marine seismic surveys - a study of environmental implications. *APPEA Journal: 692-708.*

MERCATOR OCEAN

Mercator Océan, prévision océanique opérationnelle. <http://www.mercator-ocean.fr/>

Mestellan G., 1996

La recolonisation des déblais de forage. Interprétation de données issues du suivi du champ de pétrole et de gaz d'Alwyn Nord. *Mémoire de DESS Pollutions chimiques et Environnement, 1996*

Météo France, 2005

Fiche climatique de la Guyane. *Site Internet www.meteofrance.com*

Météo France, 2010

Rose des vents pour la station de Cayenne. *Site Internet www.meteofrance.com*

METOCEAN, 1996

The physical and biological effects of processed oily drill cuttings. *E&P Forum Report No. 2.61/202, April 1996*

MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE [MEDD], 2002

Zonage du risque sismique en France. *MEDD/DPPR/SDPRM, 2002.*

MINISTERE EN CHARGE DE LA SANTE, 2010

Qualité des eaux de baignades. <http://baignades.sante.gouv.fr/>

Moein, S. E., Musick, J. A., Keinath, J. A., Barnard, D. E., Lenhardt, M. & George, R. H., 1994

Evaluation of seismic sources for repelling sea turtles from hopper dredges. *Virginia Institute of Marine Science.*

Montoya, M. & Pascal, M., 2004

Dos nuevos registros para la avifauna de la Isla del Coco, Costa Rica. *Zeledonia 8(2): 7-11.*

Moore, S.E. & Clarke, J.T., 2002

Potential impacts of offshore human activities on gray whales (*Eschrichtius robustus*). *J. CETACEAN RES. MANAGE. 4(1):19-25, 2002.*

Musick, J. A., & Lutz, P. L. editors, 1997

The biology of sea turtles. *CRC Press, Boca Raton.*

NATIONAL OCEANIC and ATMOSPHERIC ADMINISTRATION [NOAA], 2003

ADIOS®2: Automated Data Inquiry for Oil Spills. *NOAA's National Ocean Service, Office of Response and Restoration, Hazardous Materials Response Division, 2006.* <http://archive.orr.noaa.gov/software/adios/pdf/adios.pdf>.

NATURESERVE, 2005

The Nature Conservancy - Migratory Bird Program, Conservation International - CABS, World Wildlife Fund - US, and Environment Canada - WILDSPACE.

Neves, T.S. & Olmos, F., 2001

Albatross mortality in fisheries off the coast of Brazil. *In Albatross biology and conservation* (G. Robertson and R. Gales, eds.), pp. 214-219. Beatty and Sons, Chipping Norton, Surrey, England.

Nikiéma, O. & Bourret, A., 2004

Modélisation de la circulation côtière sur une marge continentale soumise à un apport fluvial important : application au cas du plateau guyanais. *Communication lors du congrès international ECOLAB VII, Cayenne, Guyane française, 2004.*

OBSERVATOIRE REGIONAL DE L'AIR DE GUYANE [ORA], 2010

Indice de la qualité de l'air, année 2009. <http://www.ora-guyane.org/>

O'Hara, J., 1990

Avoidance responses of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) to low frequency sound. *Copeia* 1990: 564-567.

Olmos, F., Neves, T.S. & Bastos, G.C.C., 2001

A pesca com espinhéis e a mortalidade de aves marinhas no Brasil. *In J. Albuquerque, J. F. Cândido, F. C. Straube & A. Roos (orgs.) Ornitologia e Conservação: da Ciência às Estratégias.* SBO, UNISUL/CNPq, Tubarão, pp. 327-337.

OISEAUX.NET, 2006

Les oiseaux de France, fiches descriptives.
<http://www.oiseaux.net/liste/oiseaux.france.html>

Polidori L., Betouille J.-L., Lechevalier D., Marmoret M.-A. & Panechou K., 1999

Cartographie des zones humides du littoral guyanais : spatialisation des connaissances actuelles sur les milieux dans la perspective d'un développement durable des activités de carrières. *Convention IRD-DIREN n° 9046. Rapport final, Centre IRD de Guyane. Décembre 1999.*

Ponge, L. & Girondot, M., 2006

Faune pélagique observée lors de la prospection sismique effectuée en Guyane française par le Polar Princess. *Rapport pour CREOCEAN, Laboratoire Ecologie, Systématique et Evolution, UMR C8079 – CNRS / ENGREF, Université Paris-*

Sud, janvier 2006

Ponge, L., 2008

Faune pélagique observée lors de la campagne de reconnaissance par méthode électromagnétique, sur le site de prospection sismique effectuée en Guyane française par GDF a bord du navire SIEM MOLLIE. *Rapport pour CREOCEAN, janvier 2008*

Reichart, H. A., & Fretey, J., 1993

WIDECAST sea turtle recovery action plan for Surinam. *Volume CEP Technical Report No. 24. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston, Jamaica.*

Renaud, H., 2004

Peuplements, traits écologiques et habitats de juvéniles (poissons et crustacés) sur les fonds du littoral guyanais. *Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies « Environnement tropical et valorisation de la biodiversité », Université des Antilles et de la Guyane. Stage au sein de l'IFREMER, Direction des ressources vivantes et ressources halieutiques à Cayenne, soutenu le 12 juillet 2004.*

RESEAU NATIONAL DE SURVEILLANCE DES PORTS MARITMES [REPOM]

Richardson, W.J., Greene, C.R. Jr, Malme, C.I. & Thomson D.H., 1995

Marine mammals and noise. *Academic Press Inc, San Diego.*

Ridoux, V., Lafontaine, L., Bustamante, P., Caurant, F., Dabin, W., Delcroix, C., Hassani, S., Meynier, L. Pereira da Silva, V., Simonin, S. Robert, M., Spitz, J. & Van Canneyt, O., 2004

The impact of the Erika oil spill on pelagic and coastal marine mammals: Combining demographic, ecological, trace metals and biomarker evidences. *Aquatic Living Resources 17, 379-387 (2004)*

Rivalan, P., Briane, J.-P., Caut, S., d. Dijn, B., Ferraroli, S., Goverse, E., Gratiot, J., Hiltermann, M., Johannesen, E., Langin, S., Lieutenant, S., Macé, F., Marmet, J., Maros, A., Merton, Y., Nolibos, I., Viseux, B., Wongsopawiro, R. & Girondot, M., 2004

Modeling marine turtles nesting season: a meta-analysis for 16 nesting beaches covering 600 km of coast line for 3 species in the Guianas region during the 2002 nesting season. Pages In press in *Proceedings of 24th Annual Symposium on*

Sea Turtle Conservation and Biology. In press.

Salmon, M., Jones, T. T. & Horch, K. W., 2004

Ontogeny of Diving and Feeding Behavior in Juvenile Sea turtles: Leatherback Sea Turtles (*Dermochelys coriacea* L) and Green Sea turtles (*Chelonia mydas* L) in the Florida Current. *Journal of Herpetology* 38:36-43.

SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX DE GUYANE, 2000

Ministère de l'Environnement Guyane, Comité de Bassin de Guyane, 2000

SCHEMA DE MISE EN VALEUR DE LA MER [SMVM], 2006

Schéma de Mise en Valeur de la Mer. *Schéma d'Aménagement Régional – Diagnostic et objectifs – Version n°3, Livre III*

Schulz, J.P., 1975

Sea turtles nesting in Surinam. *Zoologische Verhandelingen. Leiden, E.J. Brill, the Netherlands. No.143.*

SHOM

Cartes Marines

Numéro de carte	Nom	Année
6131	Côte de la Guyane française	1955
6814	Côte Nord-est d'Amérique du Sud	2004
7179	Du Golfe de Paria à Cabo Cassiporé	2004

Carte Géologique des fonds marins

Numéro de carte	Nom	Année
6131G	Côte de la Guyane française	1996

Simmonds, M., Dolman, S. & Weilgart, L., 2004

Oceans of noise. *A Whale and Dolphin Conservation Society Science Report*

SISFRANCE, 2010

Sismicité de la France. Antilles, Guyane, Mer des Caraïbes. Catalogue général des séismes par ordre chronologique

http://www.sisfrance.net/Antilles/donnees_dates.asp

Skalski, J.R., Pearson, W.H. & Malme, C.I., 1992

Effects of sounds from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (*Sebastes spp.*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49, 1357-1365

Smith, M.E., Kane, A.S. & Popper, A.N., 2004

Noise-induced stress response and hearing loss in goldfish (*Carassius auratus*). *J. Exp. Biol.* 207, 427-435

Spielberger, T., 2002

Analysis of a habitat used by Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in French Guyana. *Diplomarbeit am Lehrstuhl für Vegetationsökologie, Technische Universität München*, 11, Februar 2002.

Takeda, M. & Okutani, T., 1983

Crustaceans and molluscs trawled off Surinam and French Guiana. *Japanese Marine Fishery Resource Research Center [JAMARC], Tokyo*, 1983, 354 pp.

Taylor, V.J., Johnston, D.W. & Verboom, W.C., 1997

Acoustic harassment device (AHD) use in the aquaculture industry and implications for marine mammals. *Proc. Symposium on Bio-sonar and Bioacoustics, Loughborough University, UK*.

Ternon, J.F., Guiral, D. & Lefebvre, J.P., 2001

Caractérisation physico-chimique des eaux du plateau continental de Guyane : distribution spatiale et variabilité temporelle. *XXVII Colloque de l'Union des Océanographes de France, Ecosystèmes côtiers : flux et dynamique, Villeneuve d'Ascq – 5, 6 et 7 septembre 2001*.

Ternon, J.F., Lefebvre, J.P. & Guiral, D., 2002

The influence of Amazon Riverian waters over the French Guiana continental shelf: the Chico program. *Communication lors du congrès international ECOLAB VI, Belém, Brésil, 2002*.

Ternon, J.F., Baklouti, M. Astor, Y., Guiral, D., Marec, C., Fuda, J.L. & Nikiéma O., 2004

Observation of the distribution of physical and biogeochemical properties over the French Guianan continental shelf at two opposite seasons. *Communication lors du congrès international ECOLAB VII, Cayenne, Guyane française, 2004.*

Verboom, W.C.

Estimation of cetacean hearing criteria levels. *NATO unclassified report* (<http://enterprise.spawar.navy.mil/nepa/whales/pdf/doc2-7.pdf>)

WWF, 2008

Where are the leatherback turtles?

http://wwf.panda.org/what_we_do/endangered_species/marine_turtles/lac_marine_turtle_programme/projects/leatherback_tracking_project/tracking_logs/

7 - ANNEXES

Liste des annexes :

Annexe 1 : Caractéristiques du fluide Vassa LP 90 OA

Annexe 2 : Profils de courant (vitesse et direction) pour les mois de janvier à mai 2005 sur le site de Kawana

Annexe 3 : Modélisation de la distribution des tortues luths (*Dermochelys coriacea*), des tortues olivâtres (*Lepidochelys olivacea*) et des tortues vertes (*Chelonia mydas*) au large des côtes de la Guyane française (Girondot, 2010a)

Annexe 4 : Etat des connaissances sur la distribution spatiotemporelle et l'abondance de l'avifaune du talus continental et de la zone océanique de Guyane française (Chevalier, 2010)

Annexe 5 : Distribution temporelle des cétacés sur les côtes de la Guyane française ; Premières analyses (Girondot, 2010b)

Annexe 6 : Conventions internationales sur la faune sauvage marine applicables en Guyane française

Annexe 7 : Politique HSE (français) et gestion des sous-traitants incluant un volet HSE (anglais) de Tullow Oil

Annexe 1 : Caractéristiques du fluide Vassa LP 90 OA

**Annexe 2 : Profils de courant (vitesse et direction) pour les mois de janvier à
mai 2005 sur le site de Kawana**

Annexe 3 : Modélisation de la distribution des tortues luths (*Dermochelys coriacea*), des tortues olivâtres (*Lepidochelys olivacea*) et des tortues vertes (*Chelonia mydas*) au large des côtes de la Guyane française (Girondot, 2010a)

Annexe 4 : Etat des connaissances sur la distribution spatiotemporelle et l'abondance de l'avifaune du talus continental et de la zone océanique de Guyane française (Chevalier, 2010)

**Annexe 5 : Distribution temporelle des cétacés sur les côtes de la Guyane
française ; Premières analyses (Girondot, 2010b)**

**Annexe 6 : Conventions internationales sur la faune sauvage marine
applicables en Guyane française**

**Annexe 7 : Politique HSE (français) et gestion des sous-traitants incluant un
volet HSE (anglais) de Tullow Oil**
