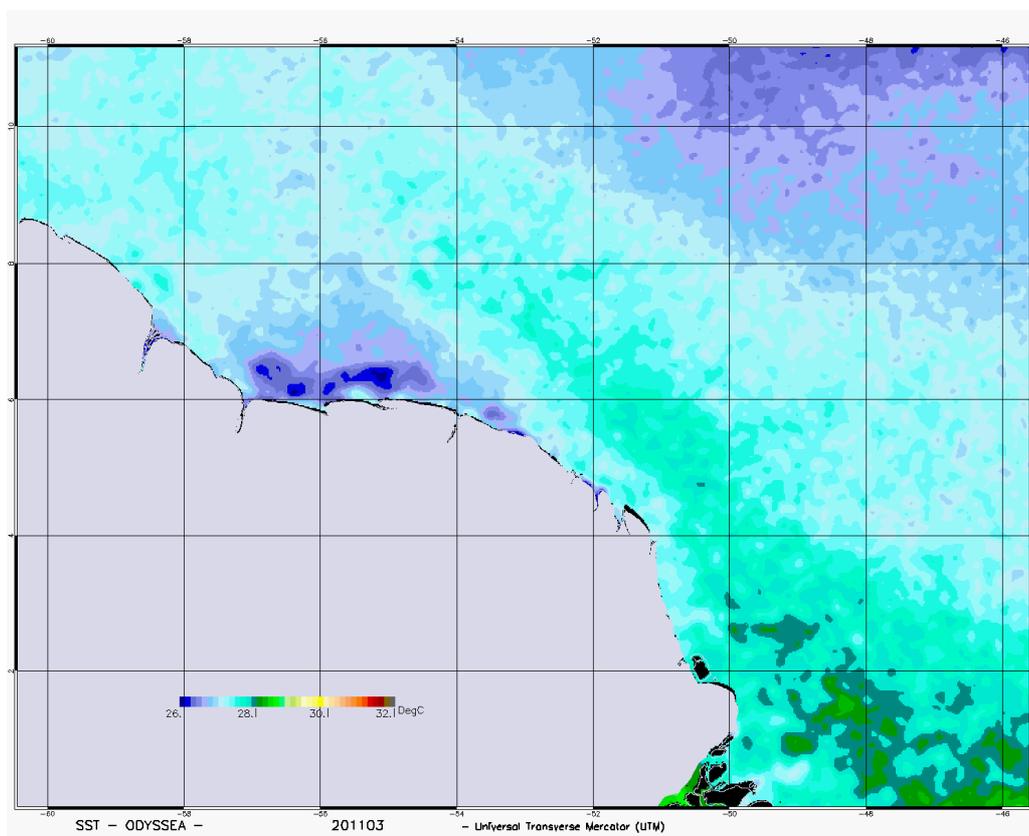


# Etude sur la température de surface de la mer des eaux guyanaises dans le contexte DCE



*Produit Sea Surface Temperature (SST) de la plateforme ODYSSEA pour le mois de mars 2011*







# SOMMAIRE

---

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>METHODES</b> .....	<b>1</b>
<i>Images utilisées</i> .....	<i>1</i>
<i>Valeur moyenne par secteur</i> .....	<i>2</i>
<i>Valeur moyenne par radiale</i> .....	<i>2</i>
<i>Valeur moyenne par zone DCE</i> .....	<i>3</i>
<i>Tests statistiques</i> .....	<i>4</i>
<b>RESULTATS</b> .....	<b>5</b>
<i>Vision régionale de la SST en Guyane</i> .....	<i>5</i>
<i>Evolution pluriannuelle par secteur</i> .....	<i>6</i>
<i>Evolution pluriannuelle par radiale</i> .....	<i>9</i>
<i>Zoom sur la zone côtière à partir de radiales</i> .....	<i>11</i>
<i>Evolution spatiale</i> .....	<i>11</i>
<i>Saisonnalité</i> .....	<i>12</i>
<i>Zoom sur la masse d'eau côtière MEC découpé par zone de pêche</i> .....	<i>14</i>
<i>Températures moyennes par zone</i> .....	<i>14</i>
<i>Homogénéité des zones</i> .....	<i>15</i>
<b>DISCUSSION-CONCLUSION</b> .....	<b>17</b>
<i>Contexte régional</i> .....	<i>17</i>
<i>Représentativité de la zone 4</i> .....	<i>17</i>
<i>Découpage de la masse d'eau côtière MEC</i> .....	<i>19</i>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>21</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>22</b>
I. <i>Température moyenne de surface mensuelle en 2011 (Odyssea)</i>	
II. <i>Anomalies de température de surface annuelles</i>	
III. <i>Valeurs des moyennes mensuelles par zone</i>	



# Température de surface de la mer des eaux guyanaises dans le contexte DCE

Cette étude fait partie des livrables définis dans la fiche Onema « Etude de la variation des paramètres température, biomasse (Chla) et turbidité (MES) sur plus de 10 années dans les eaux marines guyanaises par imagerie satellite » présentée par l'Ifremer et validée par l'Onema en 2014.

## INTRODUCTION

La mise en place de la directive européenne « Directive cadre sur l'eau » (DCE) s'est heurtée rapidement au problème du manque de données existant sur la Guyane permettant de sectoriser les eaux côtières en masses d'eau homogènes. C'est ainsi qu'une seule masse d'eau côtière (MEC) a été définie entre les embouchures du Maroni et de l'Oyapock.

Il se pose alors, la question de la pertinence de ce découpage. Sans disposer des données environnementales des eaux côtières guyanaises la tâche devient impossible. L'une des façons de contourner ce problème est de faire appel aux données acquises par les satellites. Depuis plus de vingt années, des capteurs embarqués permettent d'obtenir la température, la concentration en chlorophylle ou la turbidité avec une définition croissante. C'est en créant une base de données qui concerne les eaux guyanaises à partir des images satellite que nous essaierons de confirmer ou proposer un découpage des masses d'eau côtières en fonction des paramètres environnementaux. Cette première étude concerne la température de surface de la mer (SST).

## METHODES

### Images utilisées

Pour réaliser cette étude nous avons utilisé les images satellite générées lors des projets PENECLIM (Ifremer) et OSE GUYAMAPA (IRD). Pour ces deux projets il a fallu récupérer et traiter des images journalières, puis composer les moyennes mensuelles et annuelles. Les sources des images satellite et traitements composites ont été aussi diverses que possible (MODIS [Aqua, fait par CLS], Odyssea, GHRSSST, OSTIA,...).

Pour faciliter la tâche dans l'étude de cette zone (400 km de linéaire de côtes), nous avons découpé les eaux guyanaises en quatre secteurs. Nous avons choisi les découpages des secteurs historiques de la pêche guyanaise (figure 1) pour lesquels existent de nombreuses données liées à la pêche depuis les années 1980. Nous pouvons alors accéder aux moyennes générales par secteur, mais également aux moyennes par secteur sur une radiale côte-large afin d'apprécier l'évolution de ce paramètre au fur et à mesure que l'on s'éloigne des côtes.

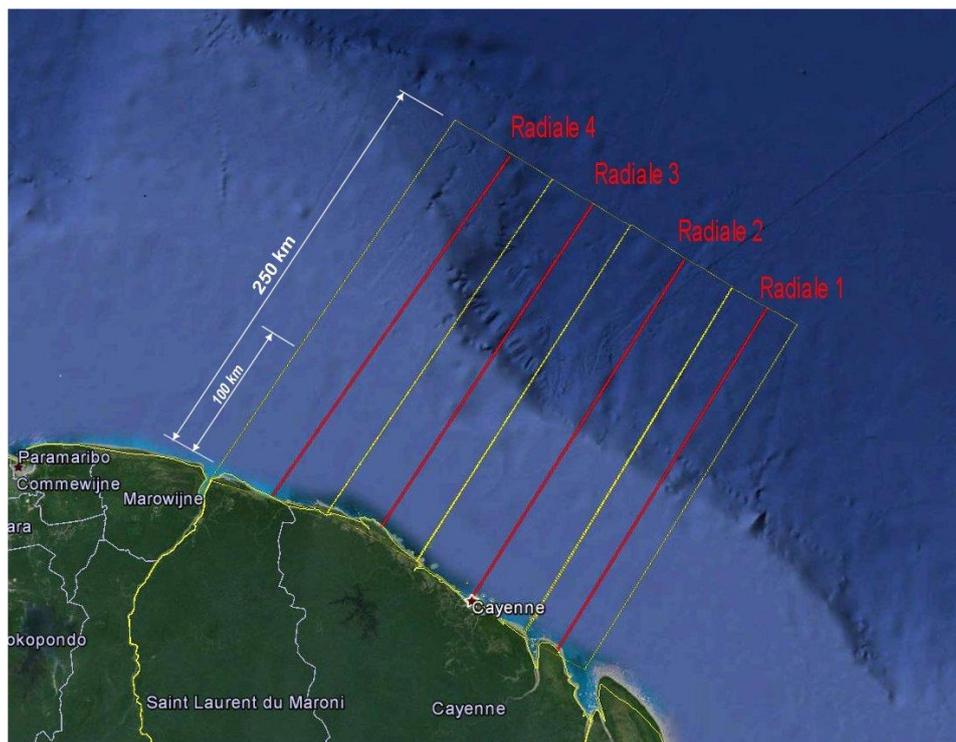


Figure 1 : Positionnement des radiales et sectorisation des eaux guyanaises pour l'étude satellitaire

### Valeur moyenne par secteur

Les valeurs des moyennes par secteur sont calculées sur la largeur de chaque secteur et sur une distance à la côte d'environ 100 km. Ces moyennes peuvent être calculées par mois, par année ou par saison.

### Valeur moyenne par radiale

La valeur moyenne par secteur calculée précédemment réduit la quantité d'information à un point au milieu du secteur. Pour avoir une image du gradient « côte-large » il a été calculé, pour chaque secteur, la moyenne sur une radiale médiane. Nous obtenons ainsi une valeur moyenne de température tous les 4 km entre la côte et une distance d'environ 250 km, ce qui fait 62 valeurs par radiale. Pour calculer cette radiale, une bande de 4 pixels (chaque pixel fait environ 1x1 km) perpendiculaire à la radiale est prise sur toute la largeur du secteur (figure 2).

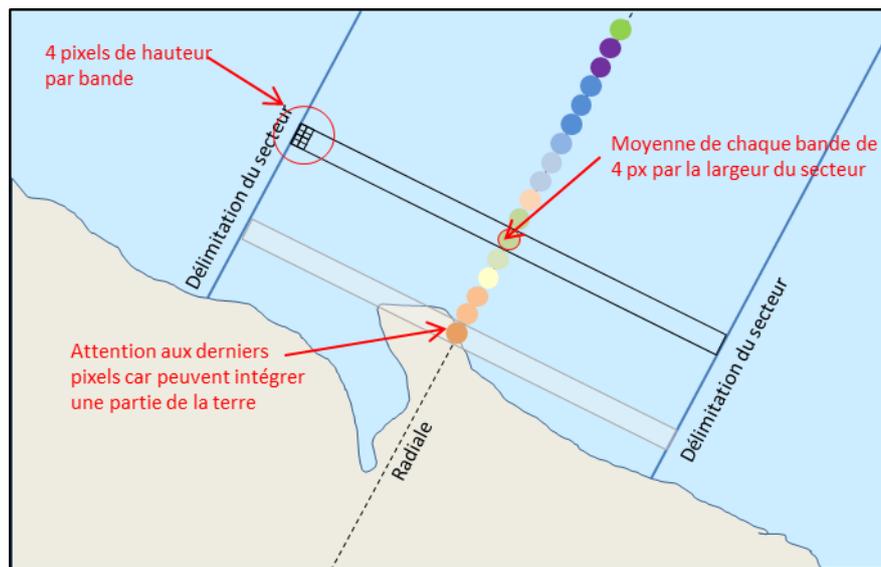


Figure 2 : Détail de l'intégration des valeurs par pixel dans la moyenne de chaque radiale

### Valeur moyenne par zone DCE

La masse d'eau côtière MEC a été divisé en quatre secteurs correspondant aux limites des zones de pêche (figure 3). Les valeurs de la température de surface de la mer (SST) ont été extraites pour chacune de ces zones à partir des fichiers en NetDCF générés par CLS pour le projet OSE Guyamapa. Il s'agit des fichiers avec les moyennes mensuelles de température entre 2002 et 2012.

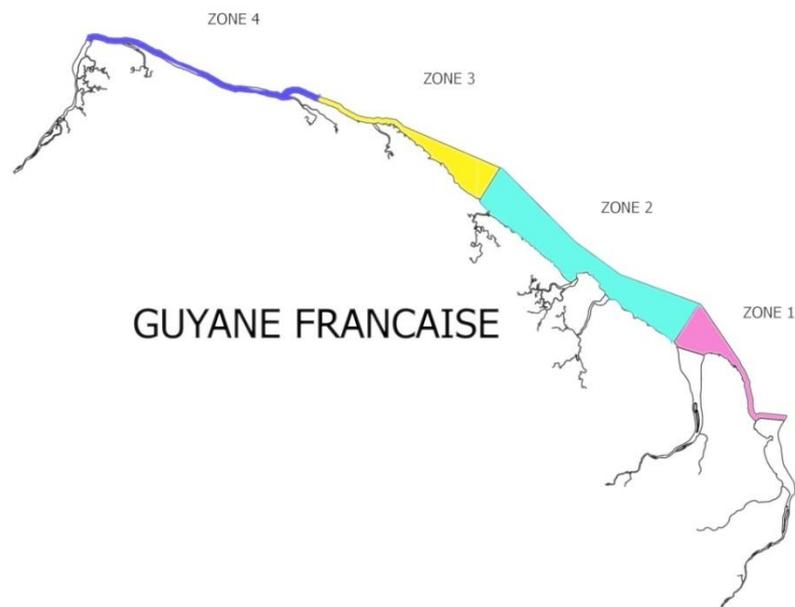


Figure 3 : Découpage de la masse d'eau côtière MEC 1 en quatre secteurs

## Tests statistiques

Afin de valider l'homogénéité des zones, des tests d'égalité de moyenne (test ANOVA) seront réalisés si les conditions de homoscedasticité et normalité le permettent. Autrement sera appliqué le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Si des différences sont constatées lors des tests, un deuxième test de rangs de Wilcoxon, avec ajustement de « holms », sera réalisé afin de déterminer quelles sont les zones que présentent des différences significatives (Sherrer 1984 ; Millot 2011).

Tous les tests, extractions et regroupement de données par pixels des images satellite ont été réalisés à l'aide de scripts codés pour le logiciel libre « R » (version 3.0.1.). Les packages R « Shapefile » et « ncdf » ont été utilisés pour les images satellite au format NetCDF.

# RESULTATS

## Vision régionale de la température de surface de la mer en Guyane

Par couverture régionale nous désignons le Plateau des Guyanes jusqu'à la rupture du plateau continental. Au niveau de la Guyane française cette distance peut aller au-delà de 100 km de la côte. C'est le lieu des processus de mélange et du passage des tourbillons de méso échelle de grande taille qui impactent la zone côtière (Ffield 2005 ; Fratantoni et Glickson 2002 ; Baklouti et al. 2007 ; Lampert 2012). Il est donc de première importance de connaître le fonctionnement de ce système avant de regarder de plus près ce qui arrive dans la zone d'influence de la DCE. Cette zone DCE est en théorie limitée à 1 mille nautique (MN) des côtes, cependant avec la présence des îlets proches des côtes cette zone peut aller au-delà de 1 MN. En Guyane, la zone DCE s'étend sur plus de 10 km de large entre Kourou et l'Oyapock (figure 4).



Figure 4 : Découpage des masses d'eau côtière (MEC) et masses d'eau de transition (MET) sur les eaux guyanaises.

## Evolution pluriannuelle par secteur

Les données obtenues par la plateforme GHRSSST, bien que disposant d'une plus faible définition du pixel que les autres séries de données (pixel d'environ 25x25 km), permettent d'obtenir une longue série qui commence en 1986 (figure 5).

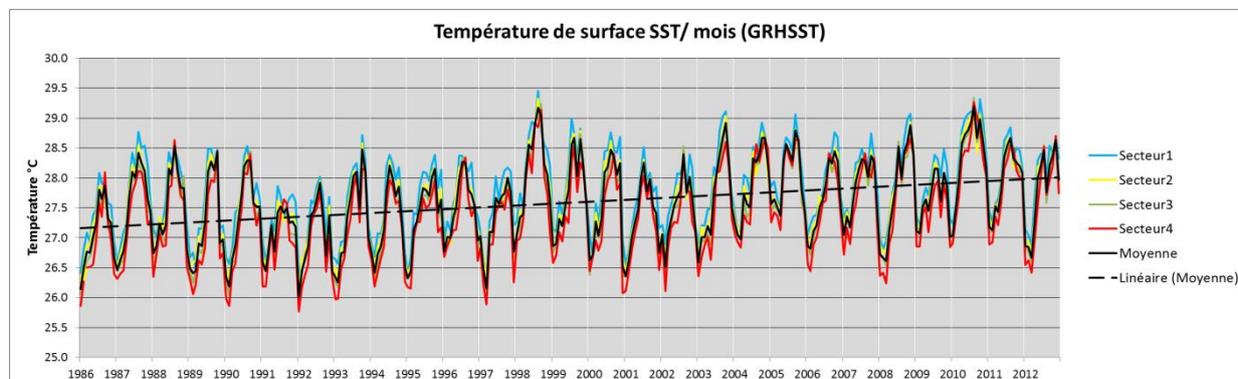


Figure 5 : Evolution mensuelle de la température par secteur entre 1986 et 2013

L'évolution de la température présente une tendance positive d'environ 0.8 °C sur 27 années, mettant en évidence le réchauffement des eaux de surface guyanaises. Il est intéressant de constater les deux plus fortes températures mensuelles enregistrées. Elles ont eu lieu en 1998 et en 2010. Nous constatons également que les plus basses températures minimales ont été observées avant 2003. Cette évolution est plus clairement visible sur la figure des valeurs annuelles (figure 6), où l'on remarque la régularité des différences de température entre chaque secteur.

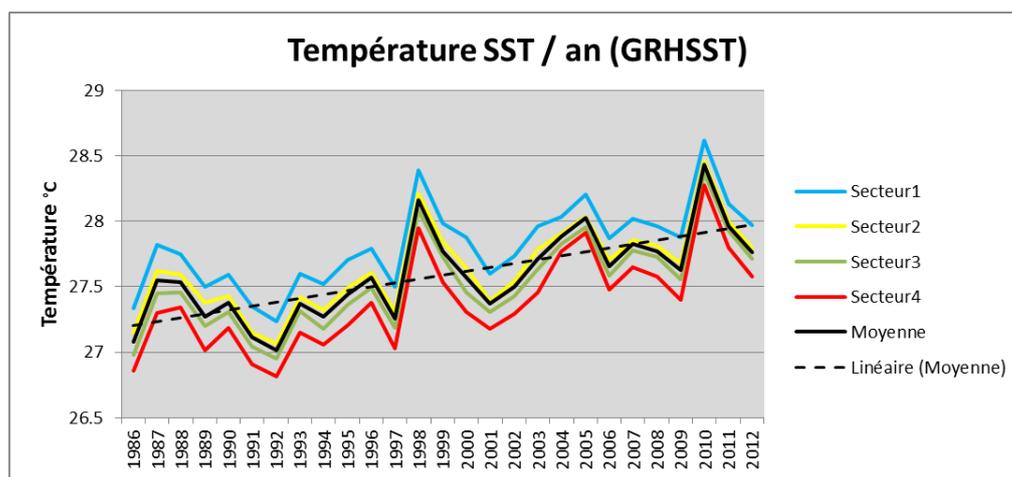


Figure 6 : Evolution annuelle de la température par secteur entre 1986 et 2012

Les températures moyennes par secteur diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure de l'Amazonie. La différence de température moyenne entre le secteur 1 (frontière brésilienne) et le secteur 4 (frontière surinamienne) oscille entre 0.3 à 0.5 °C.

Cependant cet écart évolue également dans le temps et présente une diminution entre 1986 et 2012 (figure 7).

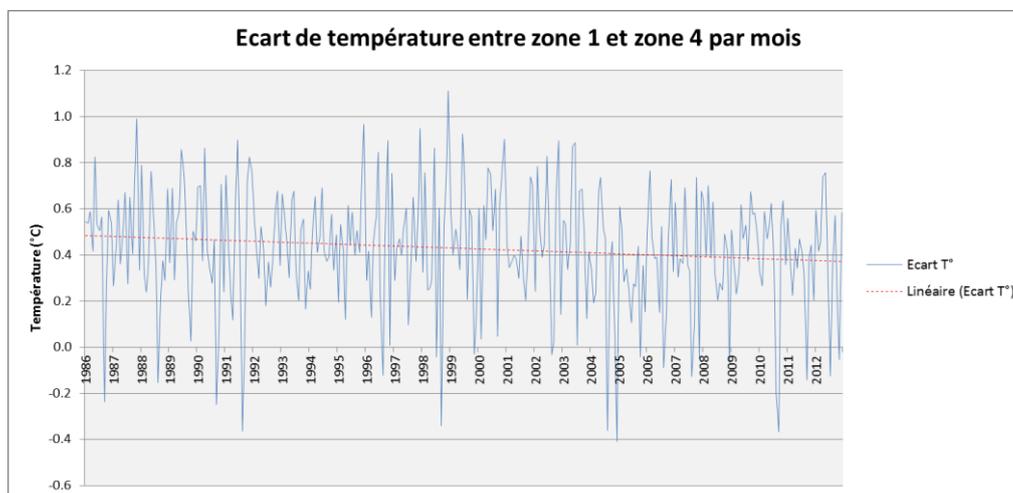


Figure 7 : Evolution de l'écart de température mensuel entre les secteurs 1 et 4

En observant l'évolution de températures mensuelles par secteur, nous constatons que le gradient thermique entre les secteurs 1 à 4 est perturbé parfois à l'automne (figure 8). Le secteur 1, qui est historiquement plus froid, a été le plus chaud au mois d'octobre 2010 et il est de même en 2011 pour les derniers trois mois de l'année. Cependant, cette anomalie n'est pas observée en 2009.

Pour vérifier l'exactitude de ces valeurs nous avons fait appel aux résultats des plateformes Odyssea et OSTIA (figures 9 et 10), où nous constatons le même phénomène.

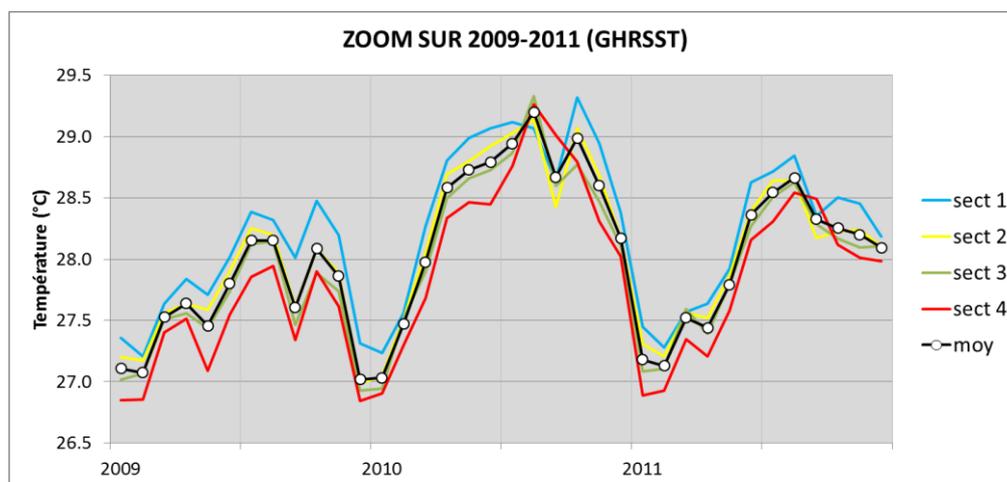


Figure 8 : Evolution des températures moyennes par secteur et par mois (GHRST) de 2009 à 2011

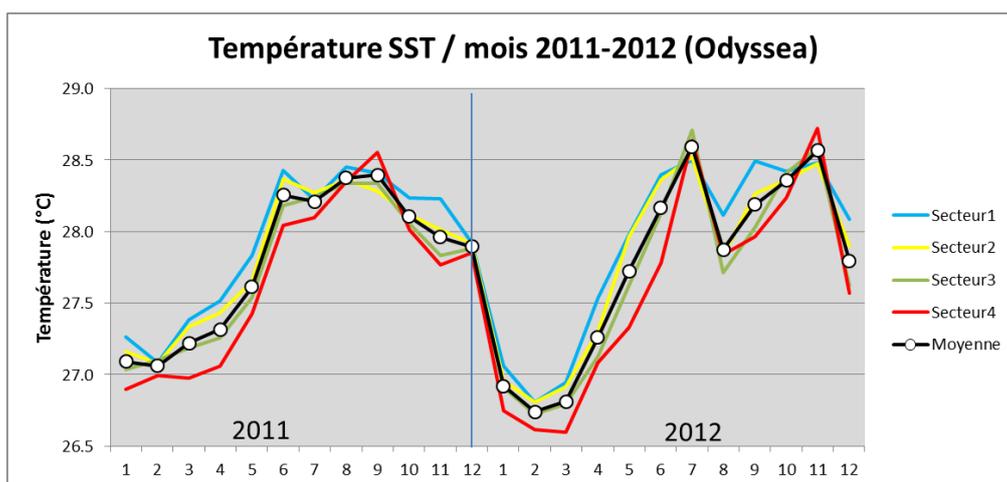


Figure 9 : Evolution des températures moyennes par secteur et par mois (Odyssea) pour 2011 et 2012

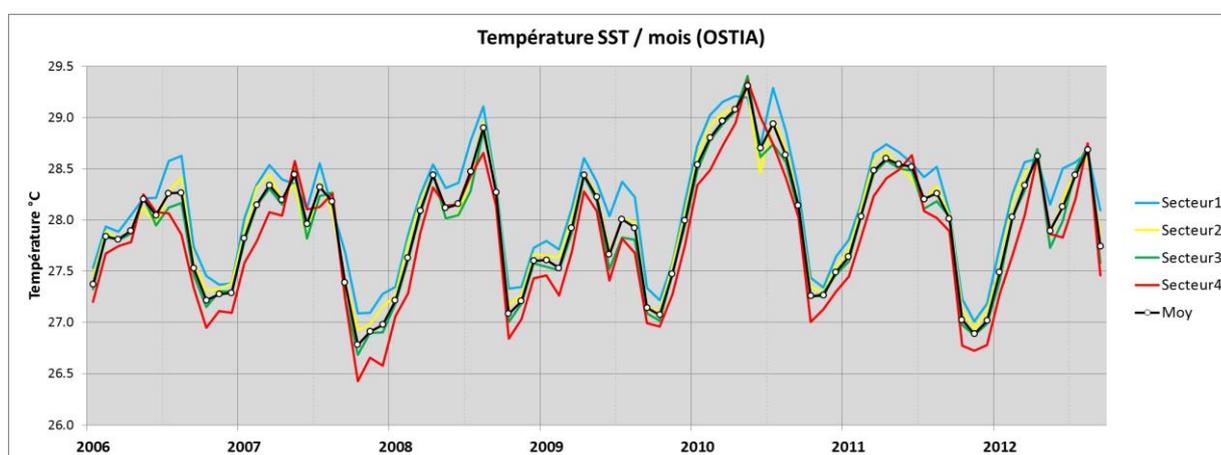


Figure 10 : Evolution des températures moyennes par secteur et par mois (OSTIA) de 2006 à 2012

En regardant de près la figure 8, nous observons que l'évolution saisonnière de la température des secteurs n'est pas monotone, croissante ou décroissante, mais évolue en dents de scie (figure 8 année 2009).

Ce phénomène suggère le passage de masses d'eau plus froides à un moment donné, ce qui pourrait coïncider avec le passage des tourbillons de méso échelle, caractéristiques sur le bord du talus continental.

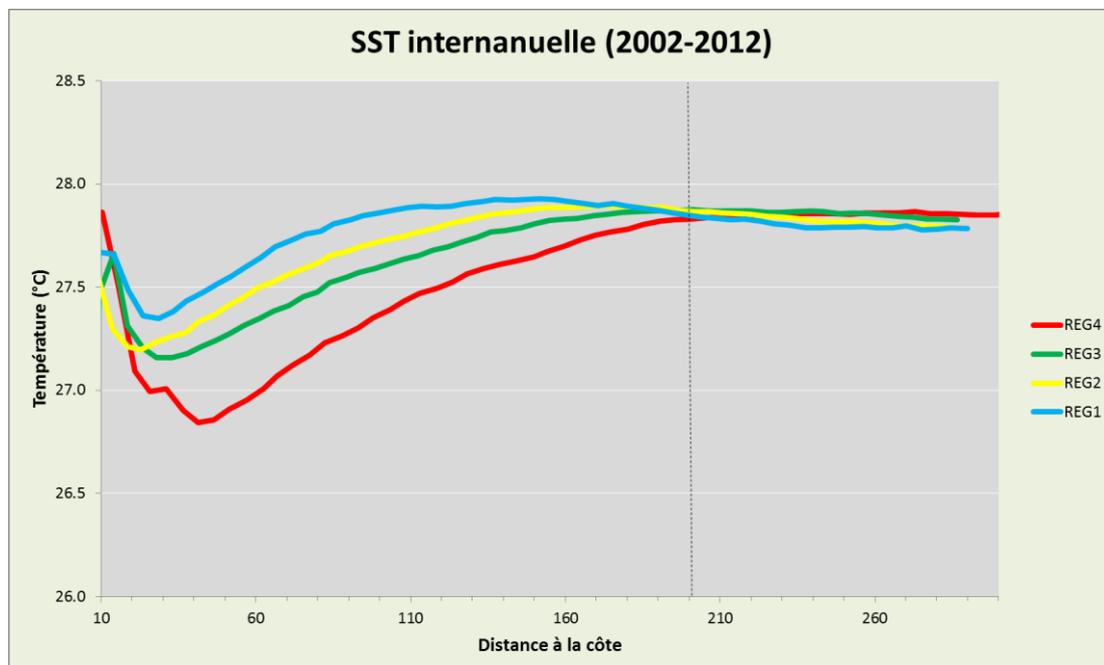
La forme de la côte guyanaise joue également un rôle important dans la distribution des masses d'eau véhiculées par le courant du nord-Brazil (CNB) (Froidefond, Pujos et Andre 1988 ; Froidefond et al. 2004 ; Gardel 2011). Les images mensuelles obtenues avec la plateforme Odyssea montrent des eaux guyanaises toujours plus froides probablement à cause de la convexité de la côte (Annexe 1). Cette poche d'eau froide concerne toute la Guyane Française ainsi que le Surinam et elle est présente en permanence sur les images de 2002 à 2012.

Le caractère atypique de l'année 2010, et en moindre mesure de 2008, est mis en évidence dans les images des anomalies de température. Il s'agit des différences de température par rapport à la moyenne 2002-2012 (Annexe 2).

## Evolution pluriannuelle par radiale

L'étude de l'évolution des moyennes par secteur vue précédemment permet d'avoir une vision globale des températures sur une grande zone (environ 100x100 km), ce qui donne le cadre de l'évolution du paramètre. Pour améliorer l'interprétation de la variabilité de la température, nous allons maintenant nous intéresser non pas à la valeur moyenne de chaque secteur mais à la radiale qui met en évidence le gradient côte-large pour chaque secteur (figure 1).

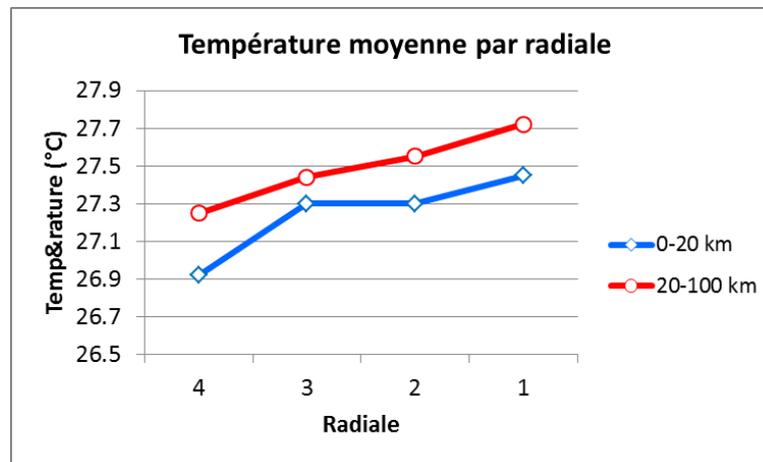
Les températures moyennes par radiale présentent toujours les zones plus chaudes près de l'embouchure de l'Amazonie par rapport à celles plus froides proches du Suriname (figure 11).



**Figure 11 : Evolution des températures moyennes 2002-2012 des radiales entre la côte et le large**

Les premières valeurs de température ont été prises à environ 10 km du point de départ de la radiale afin d'éviter les interactions avec des pixels terrestres. Les températures moyennes entre 2002 et 2012 oscillent entre 27.5 et 27.8 °C au plus près des côtes, puis elles diminuent (sauf pour le secteur 3) de 0.5 à 1°C sur les premiers 20 à 40 km. En s'éloignant davantage vers le large il est observé une augmentation des températures, dépassant parfois les valeurs initiales près des côtes. L'écart de températures entre les radiales devient minimal dès le kilomètre 200, puis oscillent autour de 27.8 °C dans une plage restreinte de 0.1 °C. Ceci met en évidence une zone plus froide entre les eaux du large (au-delà de 100 km des côtes) et celles très côtières (premiers kilomètres).

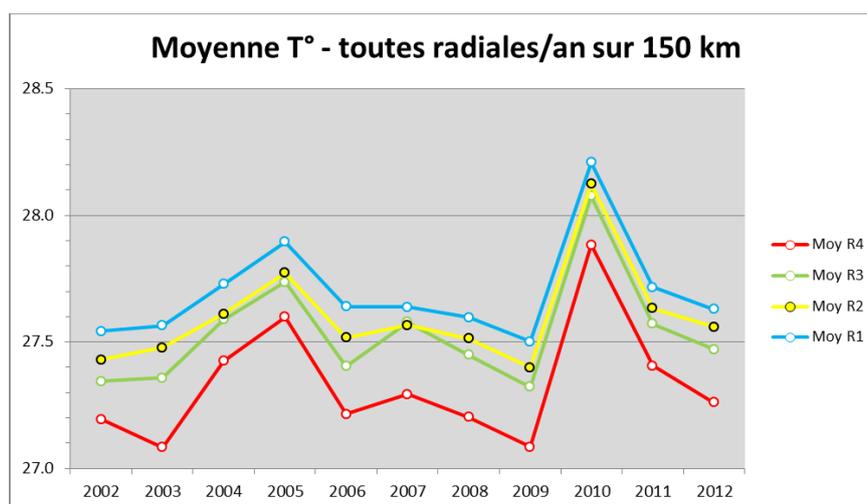
En sectorisant les températures par leur distance à la côte en deux tranches (0-20 km et 20-100 km), nous observons une augmentation plus régulière de la température moyenne sur la tranche externe (20-100 km), au fur et à mesure que l'on s'approche de l'embouchure de l'Amazonie (figure 12).



**Figure 12 : Evolution des températures moyennes annuelles (2002 à 2012) des radiales entre la côte et 20 km, puis 20 km et 100 km**

Sur les premiers 20 km, le gradient est moins linéaire, avec un point relativement plus chaud sur la radiale 3, mais qui est à prendre avec précaution car il s'agit des différences de 0.1° à 0.2°C maximum.

L'évolution annuelle de chaque radiale sur les premiers 150 km est présentée dans la figure 13. Les valeurs exceptionnelles de l'année 2010 sont bien représentées par les radiales. Les radiales 1 à 3 présentent la même évolution avec des valeurs très proches. La radiale 4 se détache de ces trois dernières, ce qui pourrait suggérer une sectorisation possible entre les radiales 1, 2 et 3 d'une part et la radiale 4 d'autre part.



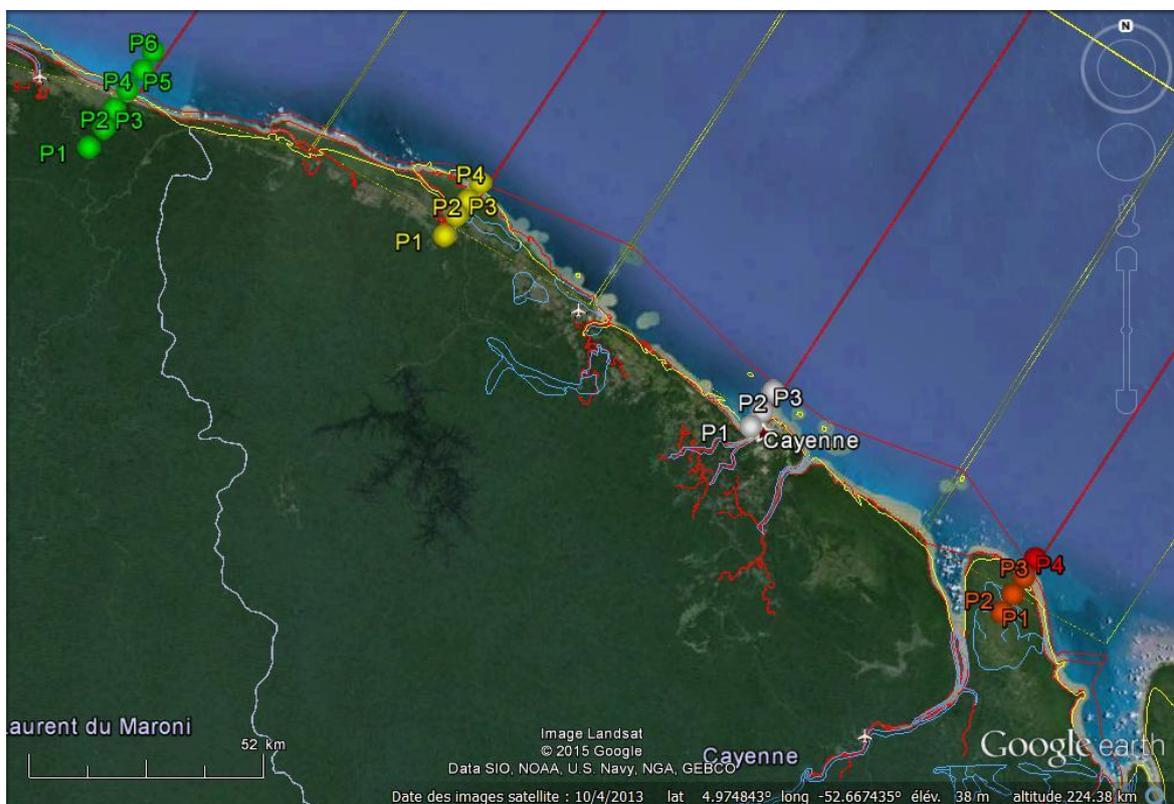
**Figure 13 : Evolution des températures moyennes annuelles (2002 à 2012) des radiales entre la côte et 150 km au large**

## Zoom sur la zone côtière à partir des radiales

### Evolution spatiale

La zone qui intéresse la DCE est très côtière et s'étend jusqu'à un maximum d'environ 15 km vers le large au niveau des îlets (figure 4).

Pour cette zone nous disposons de beaucoup moins de pixels pour calculer des moyennes, surtout dans la partie nord-ouest, où la masse d'eau côtière n'est que d'un mille nautique de large (environ 2 km). Pour l'utilisation des radiales nous devons d'abord définir à partir de quels points nous pouvons avoir la certitude de ne pas prendre des pixels terrestres, car la perpendiculaire à chaque radiale est d'environ 80 km de large et la forme de la côte fait que certains des premiers points des radiales sont un mélange de pixels maritimes et terrestres.



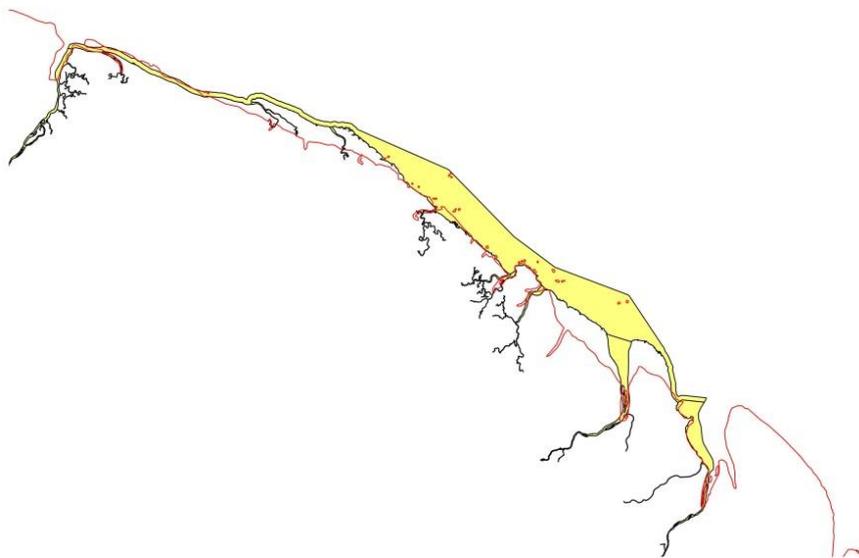
**Figure 14 : Côte guyanaise avec les secteurs, masse d'eau côtière et les premiers points des radiales**

Dans la figure 14 sont présentés les premiers points de chaque radiale avec le contexte des terres littorales. Nous prendrons les premiers points selon le tableau 1.

**Tableau 1 : Premiers points de chaque radiale (Figure 14) à prendre en compte pour être certains de ne prendre que des pixels marins**

Radiale	Point (Px)
1	P4
2	P3
3	P4
4	P6

Au problème des radiales, où la perpendiculaire de chaque zone peut prendre des pixels terrestres, vient s'ajouter la forte variabilité du trait de côte guyanais qui change très rapidement (Gardel 2011). Les images générées par CLS dans le cadre du projet OSE Guyamapa utilisent le masque GSHHS-fine (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html>) qui présente des différences par rapport au trait de côte actuel (figure 15). A l'échelle régionale du plateau ceci n'a pas d'impact dans les moyennes calculées, mais à la petite échelle de la DCE il peut produire des erreurs significatives si l'on ne tient pas compte de ce facteur. Le trait de côte fourni par la DEAL de Guyane s'accorde bien avec celui obtenu par les images Google Earth.



**Figure 15 : Masses d'eau DCE (en jaune), trait de côte actuel (noire) et trait de côte ancien issu de la base GSHHS (rouge)**

### Saisonnalité

Les températures moyennes par radiale (2002-2012) ont été scindées par saison (figure 16). La saison humide, qui s'étend de décembre à juin/juillet et la saison sèche, entre juin/juillet et novembre. Dans les eaux du large, l'évolution spatiale présente une phase de décroissance lente en saison humide au-delà du talus continental. Les écarts de température entre les deux saisons se situent entre 0.5 et 1°C. Cet écart est plus fort au large, où il peut dépasser parfois 1°C. Dans la zone plus côtière l'évolution pluriannuelle des températures moyennes présente les mêmes tendances évolutives. Les différences de température entre les deux saisons sont plus restreintes qu'au large et dépassent rarement 0.5°C.

Sur les deux radiales situées aux extrémités (R1 et R4) la diminution de la température observée sur les premiers kilomètres est moins marquée, et pratiquement inexistante en saison humide.

En prenant uniquement les premiers points des radiales (tableau 1) nous aurons une meilleure image de ce qui arrive dans la masse d'eau côtière concernant la DCE (figure 17). Sur les premières trois radiales (R1 à R3) nous observons de très faibles variations en saison sèche et pratiquement aucune en saison humide. Les différences entre les deux saisons oscillent entre 0.6 et 0.9°C avec une évolution des deux courbes de température très similaire. Sur la radiale R4 nous observons une chute de la température moyenne de plus de 0.5°C par rapport à la radiale R3.

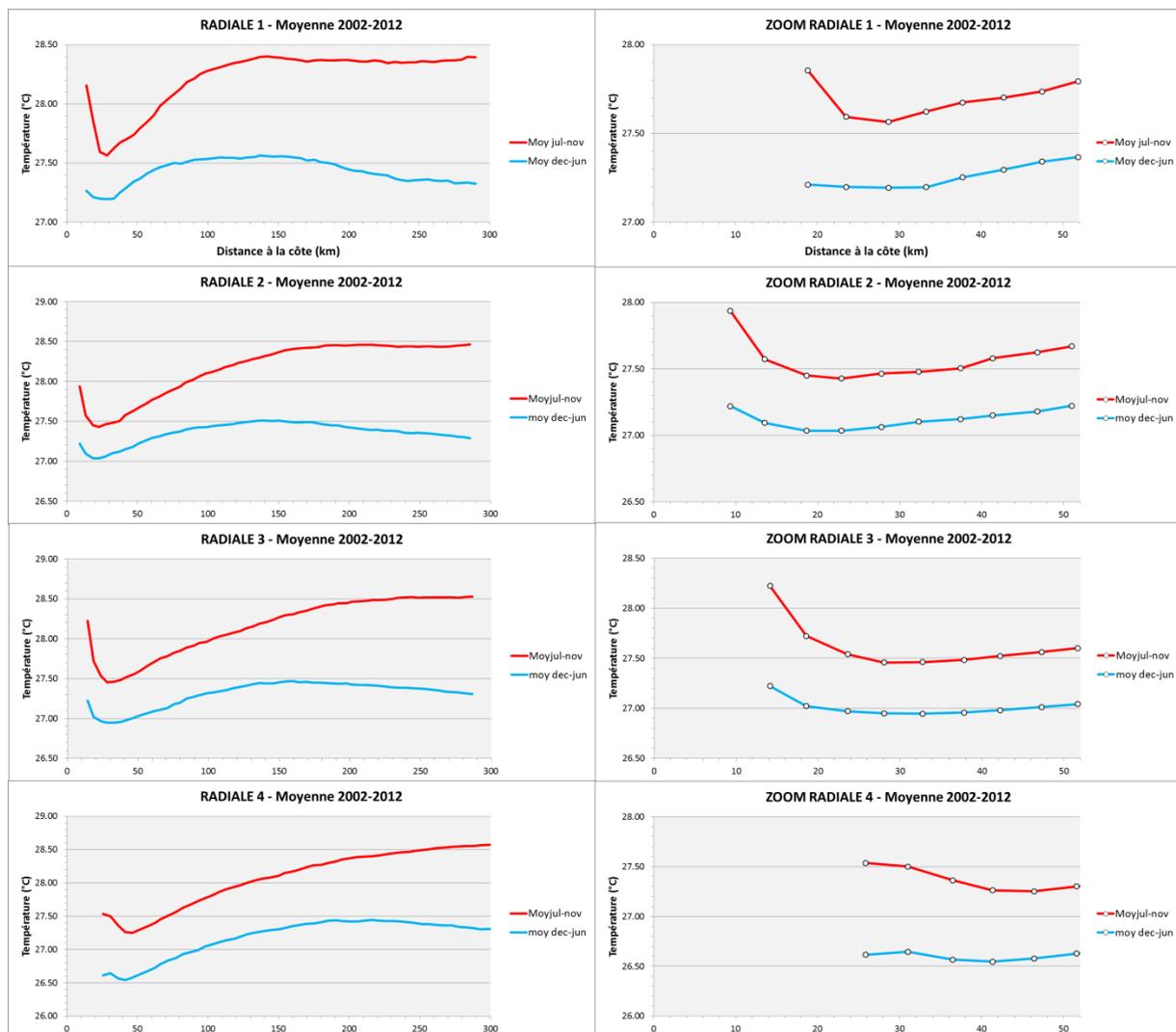


Figure 16 : Température moyenne pluriannuelle des radiales jusqu'au bout du plateau (colonne de gauche) et un zoom sur les premiers kilomètres (colonne de droite). Le point de départ (0 km) n'est pas le bord de mer

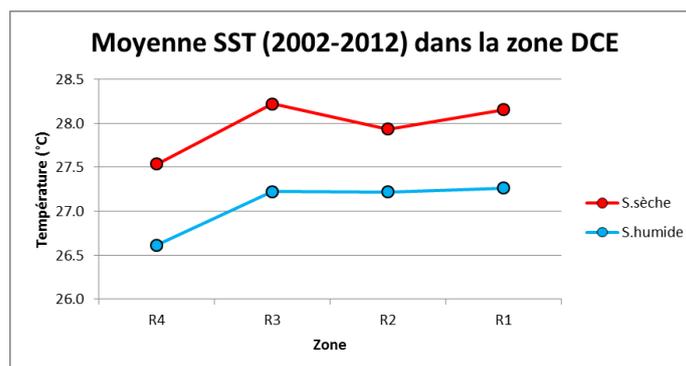


Figure 17 : Températures moyennes pluriannuelles (2002-2012) pour les premiers points des radiales (zone DCE – tableau 1) en saison humide et saison sèche

## Zoom sur la masse d'eau côtière MEC découpée par secteurs de pêche

### Températures moyennes par zone

L'approche par radiales que nous venons de voir dans le paragraphe ci-dessus présente l'avantage de mieux apprécier l'évolution du paramètre au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte, mais pourrait être critiqué sur sa représentativité sur la zone très côtière et surtout pour la zone 4. Pour pallier à ce problème nous appliquerons le masque de découpage de la MEC (figure 3) sur les images satellite mensuelles au format NetDCF générées par CLS. Nous récupérerons ainsi tous les pixels mensuels disponibles pour chaque zone.

Tableau 2 : Valeurs moyennes obtenues par secteur à partir des images de température (SST) mensuelles, entre 2002 et 2012

zone	pixTOT	pixOK	pixVIDE	%pixVIDE	Tmoy	Tmin	Tmax
zone1	246	170	76	31	27.59	26.34	28.83
zone2	904	688	216	24	27.57	26.23	29.06
zone3	310	214	96	31	27.58	25.75	28.86
zone4	145	34	111	76	27.59	25.98	28.71

Dans le tableau 2 et l'annexe 3 nous observons la distribution du pourcentage moyen de pixels non valides dans le calcul des températures. Il existe une nette différence entre les zones 1 à 3 et la zone 4, où 75% des pixels ne sont pas valides. Ceci peut devenir un facteur limitant car la zone 4 est la plus étroite, avec une disponibilité maximale de 145 pixels de 1x1 km. Dans les zones 1 à 3 le pourcentage de pixels non valide se situe aux alentours de 30%.

La température moyenne par zone sur la période 2002-2012 est très stable et varie entre 27.57° et 27.59°C. L'étendue des variations des températures maximales et minimales est plus forte que celle des moyennes interzones et varie de 2.5° à 3°C (tableau 2).

La deuxième figure de l'annexe 3 présente les températures moyennes mensuelles de 2002 à 2012. La zone 4 est le plus souvent la plus froide en saison humide et la plus chaude en saison sèche. Nous constatons également que la variabilité des températures minimales est plus forte que celle des températures maximales (Annexe 3, deux dernières figures).

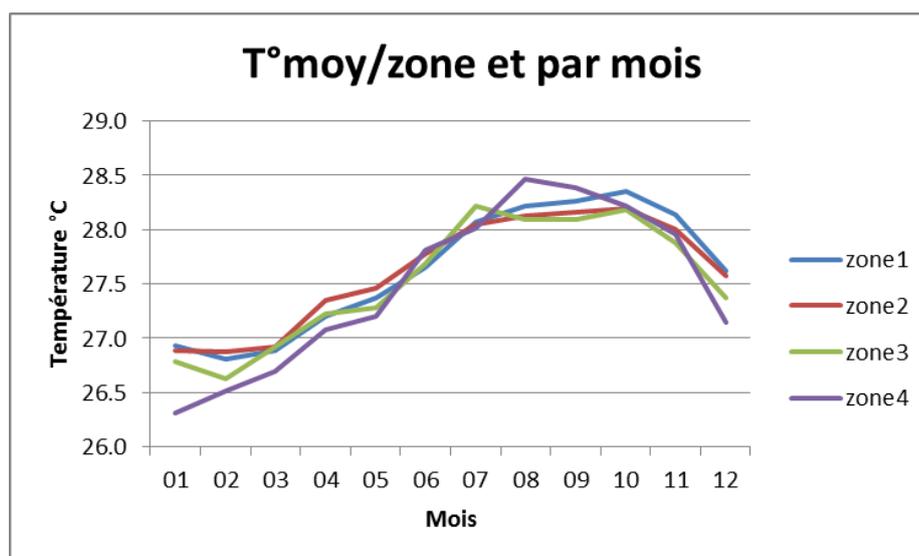


Figure 18 : Température moyenne par zone et par mois sur la période 2002-2012

La différence de températures entre la zone 4 et les trois précédentes est plus marquée en janvier et en août (figure 18). L'écart saisonnier observé sur les 4 zones n'excède pas les 2°C, avec un minimum autour de 26.5°C en janvier et février et un maximum de 28.5°C en août et septembre.

### Homogénéité des zones

Afin de vérifier l'homogénéité des températures moyennes entre chaque zone, nous avons procédé à une série de tests de comparaison des températures entre chaque zone. D'abord en comparant les moyennes de chaque zone sur toute la série pluriannuelle (janvier 2002 à décembre 2012), puis en prenant les 4 zones, mois par mois (par exemple janvier 2002 à janvier 2012,...) et année par année (tout 2002, 2003,...).

Le test d'homoscédasticité de Bartlett a rejeté l'hypothèse  $H_0$  d'égalité de variances et ainsi invalidé les statistiques paramétriques ( $p.value=0.00098$ ,  $\alpha=5\%$ ). Nous avons donc opté pour l'utilisation du test non paramétrique de Kruskal-Wallis pour toute la série de tests.

La comparaison des séries pluriannuelles complètes sur les 4 zones ne présente pas de différences significatives ( $p.value=0.89$ ,  $\alpha=5\%$ ) et donc nous ne pouvons pas conclure à une différence des températures par zone en considérant l'ensemble de valeurs mois par mois et sur toute la période (2002-2012).

En prenant les données de température année par année (tous mois confondus) aucune différence significative n'a été mise en évidence non plus sur les années 2002 à 2012 (tableau 3). Par contre, en prenant les séries mois par mois, toutes années confondues, l'hypothèse  $H_0$  a été rejetée au seuil  $\alpha=5\%$  pour les mois d'août et septembre ( $p.values = 0.017$  et  $0.023$ ).

**Tableau 3 : p.value des résultats des statistiques (Kruskal-Wallis)**

année par année		mois par mois	
année	p.value	mois	p.value
2002	0.893	1	0.498
2003	0.986	2	0.838
2004	0.996	3	0.871
2005	0.764	4	0.583
2006	0.893	5	0.890
2007	0.995	6	0.956
2008	0.965	7	0.478
2009	0.952	8	0.017
2010	0.853	9	0.023
2011	0.996	10	0.165
2012	0.993	11	0.430
		12	0.335

Afin de mettre en évidence les zones qui ont des différences significatives en août et septembre, nous avons soumis les données au test de rang de Wilcoxon (tableau 4). Les résultats montrent que c'est la médiane de la zone 4 qui est en cause. Ce résultat doit cependant être pris avec précaution, car un post traitement avec la correction de « Holm » présente de résultats contradictoires, car aucune différence significative n'est observée entre les zones après correction des tests 2x2. Ce type de situations arrive parfois dans les tests et nous optons pour la solution de ne pas tenir compte de la correction de « Holm » (Millot 2011, dans # 5.3.3.).

**Tableau 4 : p.value des résultats des statistiques de Wilcoxon des mois d'août et septembre**

Mois : août			
	zone1	zone2	zone3
zone2	0.076	-	-
zone3	0.898	0.171	-
zone4	<i>0.034</i>	<i>0.023</i>	<i>0.010</i>

Mois : septembre			
	zone1	zone2	zone3
zone2	0.116	-	-
zone3	0.562	0.401	-
zone4	<i>0.034</i>	<i>0.013</i>	<i>0.028</i>

## DISCUSSION - CONCLUSION

La disponibilité des données satellitaires issues des projets OSE Guyamapa (IRD) et PENECLIM (Ifremer) permet d'aborder une première étude sur la possible sectorisation de la masse d'eau côtière guyanaise selon le paramètre « température de surface de la mer ». L'échelle mensuelle semble la plus pertinente car les images journalières restent trop bruitées par la couverture nuageuse. Bien que la température soit le paramètre qui présente la plus faible variabilité dans le contexte équatorial, il ne manque pas d'intérêt du fait qu'il n'ait jamais été abordé par d'autres études dans cette région et à cette échelle.

### Contexte régional

Le Plateau des Guyanes est fortement influencé par le débit du fleuve Amazone et tout particulièrement près des côtes. Le Courant du Brésil (CNB) oppose deux situations :

- une saison humide (décembre-juin) avec un flux continue SE-NW qui est le siège des tourbillons de méso-échelle très actifs. Ces tourbillons (jusqu'à 400 km de diamètre) se déplacent sur le bord du talus et ils ont une forte influence sur tout le plateau,
- Une saison sèche (juillet-novembre) où la rétroflexion dévie le flux du courant CNB et les eaux amazoniennes vers l'Afrique (figure 19). Il est alors possible d'avoir des eaux plus claires jusqu'aux côtes en provenance du large dans les secteurs au nord de Kourou.

Chlorophyll-A Concentration - Case 1 waters

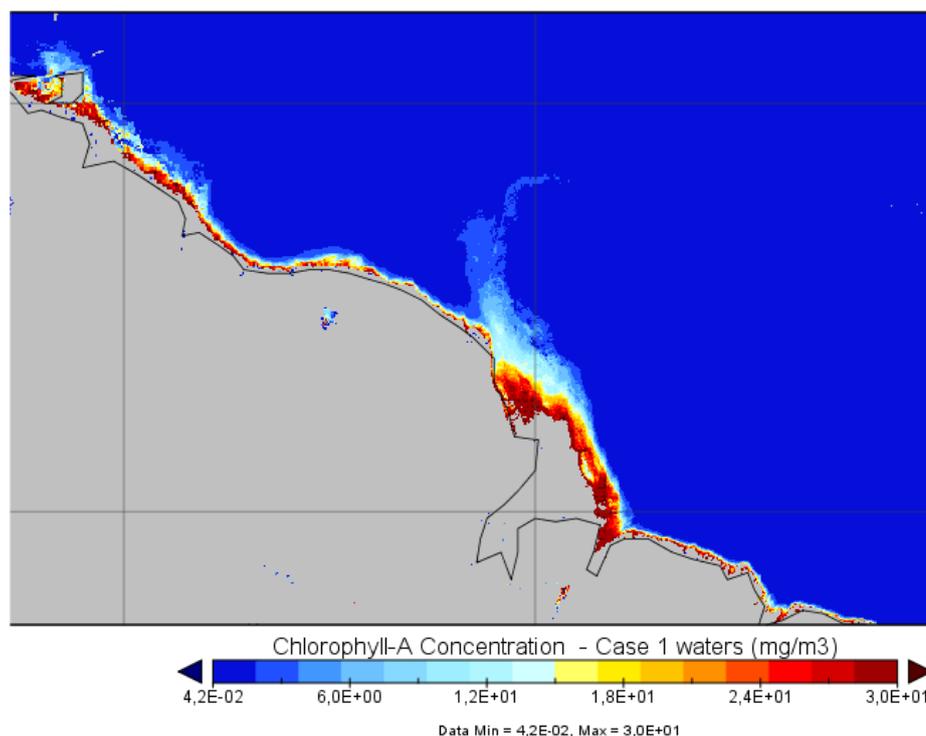


Figure 19 : Moyenne de chlorophylle d'août 2008 pour les eaux du CAS 1 (Envisat-MERIS/CLS)

A cause des phénomènes tourbillonnaires, ces deux situations sont parfois masquées par la complexité des échanges entre les masses d'eau. Il y a cependant une masse d'eau plus froide visible sur toutes les images de 2002 à 2012. Elle se situe au niveau de la Guyane et du Surinam et peut s'étaler à plus de 100 km des côtes (Annexe 1). La bande très côtière, d'une dizaine de kilomètres, semble cependant un peu plus chaude que cette structure froide (figure 11). Aucune étude n'existe sur ce phénomène et il est probablement la conséquence de la géométrie côtière.

Il est à remarquer également les années particulièrement chaudes de 2005 et surtout 2010, et les années plutôt à tendance froide comme 2002 et 2003. Cette variabilité pluriannuelle s'inscrit cependant dans un contexte de réchauffement climatique qui a fait évoluer les eaux de surface du plateau guyanais d'environ 0.8°C sur 27 années.

Une différence de température est constatée entre les saisons humide et sèche. Cette différence reste cependant modérée, aux alentours 1°C (figures 16 et 17). L'écart maximum observé entre les moyennes mensuelles n'excède pas 2°C (minimum en janvier-février et maximum en août-septembre).

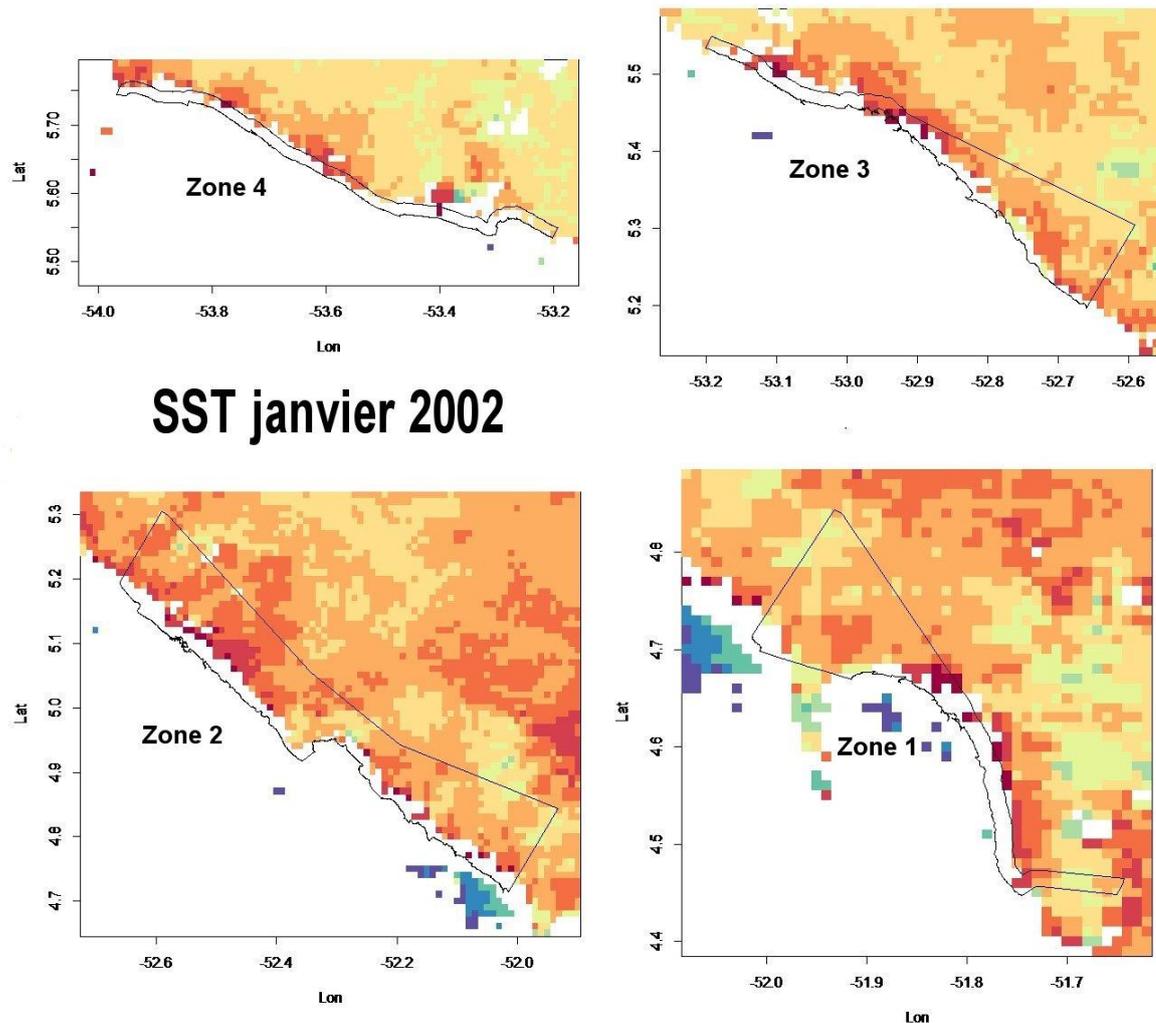
#### Représentativité de la zone 4

Les zones définies (figure 3) n'ont pas la même surface à cause des îlets, qui font étendre au-delà de 10 km la zone d'influence de la DCE. De ce fait, la zone 2 dispose de davantage de pixels pour réaliser une moyenne (tableau 5). La zone 4, d'une largeur régulière de 1 mille de large, dispose d'un faible nombre de pixels disponible, ce qui augmente l'incertitude de la moyenne calculée.

**Tableau 5 : Surfaces des secteurs de la MEC découpés selon les zones de pêche**

Zone →	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Surface (km <sup>2</sup> ) →	303	1121	383	177
Nbre pixels max dispo →	246	904	310	145

Dans la figure 20 nous pouvons apprécier les difficultés liées à l'utilisation des pixels dans la bande côtière de 1 mille nautique dans la zone 4. Les incertitudes du trait de côte limitent la pleine exploitation des pixels disponibles. De plus, pour les capteurs « couleur de l'eau » cette proximité des côtes augmente l'influence des aérosols et des photons réfléchis sur la terre, affectant directement la qualité des données. La vitesse de changement de la morphologie des côtes guyanaises aggrave la situation, car des changements de la position du bord de mer de plus de 100m est une situation couramment observée.



**Figure 20 : Carte avec les valeurs de température (SST) par secteur où l'on apprécie la distribution des pixels utilisables (couleur) et inutilisables (blanc)**

Avec les capteurs MODIS, MERIS et SeaWiFS en « couleur de l'eau », la taille du pixel est d'environ 1.15 km. Les zones 1 à 3 ont une surface suffisante pour permettre des moyennes robustes malgré les incertitudes liées aux nuages, traits de côte ou erreurs de pixels. La zone 4 avec une largeur de moins de 2 km se trouve à la limite des possibilités de ce type d'images. Le passage aux images de plus haute résolution telles que « MERIS 300m » permettrait d'augmenter l'échantillonnage. En moyenne, il est possible d'incrémenter de 14 fois le nombre de pixels par rapport à un seul pixel de 1.15 km.

### Découpage de la masse d'eau côtière MEC

A partir des données de température de surface de la mer il n'a pas été possible de conclure à une quelconque sectorisation. Seul les mois d'août et septembre ont montré une différence significative entre les zones proposées. Le paramètre température n'est pas suffisamment discriminant pour aborder la variabilité de la MEC, car trop homogène à cette latitude

équatoriale. L'utilisation de la biomasse chlorophyllienne (Chlorophylle-*a*) et de la turbidité devrait être plus pertinente et fera l'objet de la suite de cette étude.

## Bibliographie

- Baklouti, M., J.-L. Devenon, A. Bourret, J.-M. Froidefond, J.-F. Ternon, et J.-L. Fuda. 2007. « New insights in the French Guiana continental shelf circulation and its relation to the North Brazil Current retroflection » 112 (C020023): 1-18.
- Ffield, Amy. 2005. « North Brazil current rings viewed by TRMM Microwave Imager SST and the influence of the Amazon Plume ». *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 52 (1): 137-60. doi:10.1016/j.dsr.2004.05.013.
- Fratantoni, David M., et Deborah A. Glickson. 2002. « North Brazil Current Ring Generation and Evolution Observed with SeaWiFS\* ». *Journal of Physical Oceanography* 32 (3): 1058-74.
- Froidefond, J. M., F. Lahet, C. Hu, D. Doxaran, D. Guiral, M. T. Prost, et J. -F. Ternon. 2004. « Mudflats and mud suspension observed from satellite data in French Guiana ». *Marine Geology* 208 (2-4): 153-68. doi:10.1016/j.margeo.2004.04.025.
- Froidefond, J.M, M Pujos, et X Andre. 1988. « Migration of mud banks and changing coastline in French Guiana ». *Marine Geology* 84 (1-2): 19-30. doi:10.1016/0025-3227(88)90122-3.
- Gardel, Antoine. 2011. *Géomorphologie et aménagement des littoraux à sédiments hétérogènes. Approche combinant télédétection et mesures in situ. Le cas du littoral de la Guyane française. Volume 2 – Annexes*. Mémoire présenté en vue de l’Habilitation à Diriger des Recherches. Wimereux: Université du Littoral Côte d’Opale.
- Lampert, Luis. 2012. *Actualisation de connaissances du domaine marin en Guyane Française*. Scientifique et technique RBE/BIODIVHAL 2012-4. Cayenne: IFREMER.
- Millot, Gaël. 2011. *Comprendre et réaliser les tests statistiques à l’aide de R : Manuel de biostatistique*. 2e édition. De Boeck.
- Sherrer, Bruno. 1984. *Biostatistiques*. Montréal: Gaëtan Morin.

## Liens internet

GHRSS : <https://www.ghrsst.org/>

GSHHS : <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html>

ODYSSEA : <http://cersat.ifremer.fr/thematic-portals/projects/medspiration/visualization/quicklooks/odyssea-brazil-sst-analysis-daily-002-resolution>

OSE GUYAMAPA : <http://www.ose-guyamapa.org/web/guest/littoral>

OSTIA : [http://ghrsst-pp.metoffice.com/pages/latest\\_analysis/ostia.html](http://ghrsst-pp.metoffice.com/pages/latest_analysis/ostia.html)

# ANNEXES

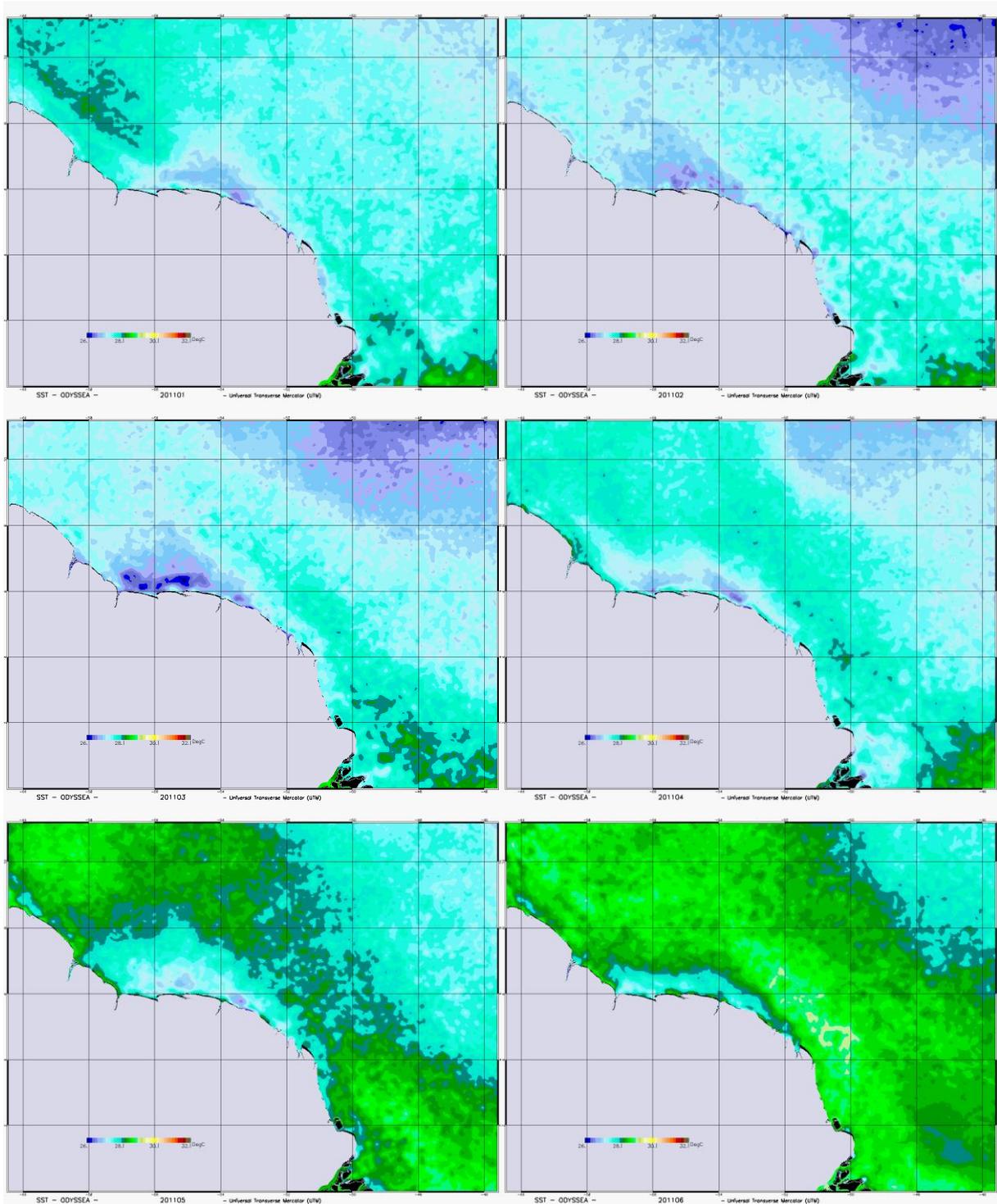
**ANNEXE 1 : Température moyenne de surface mensuelle en 2011 (Odyssea)**

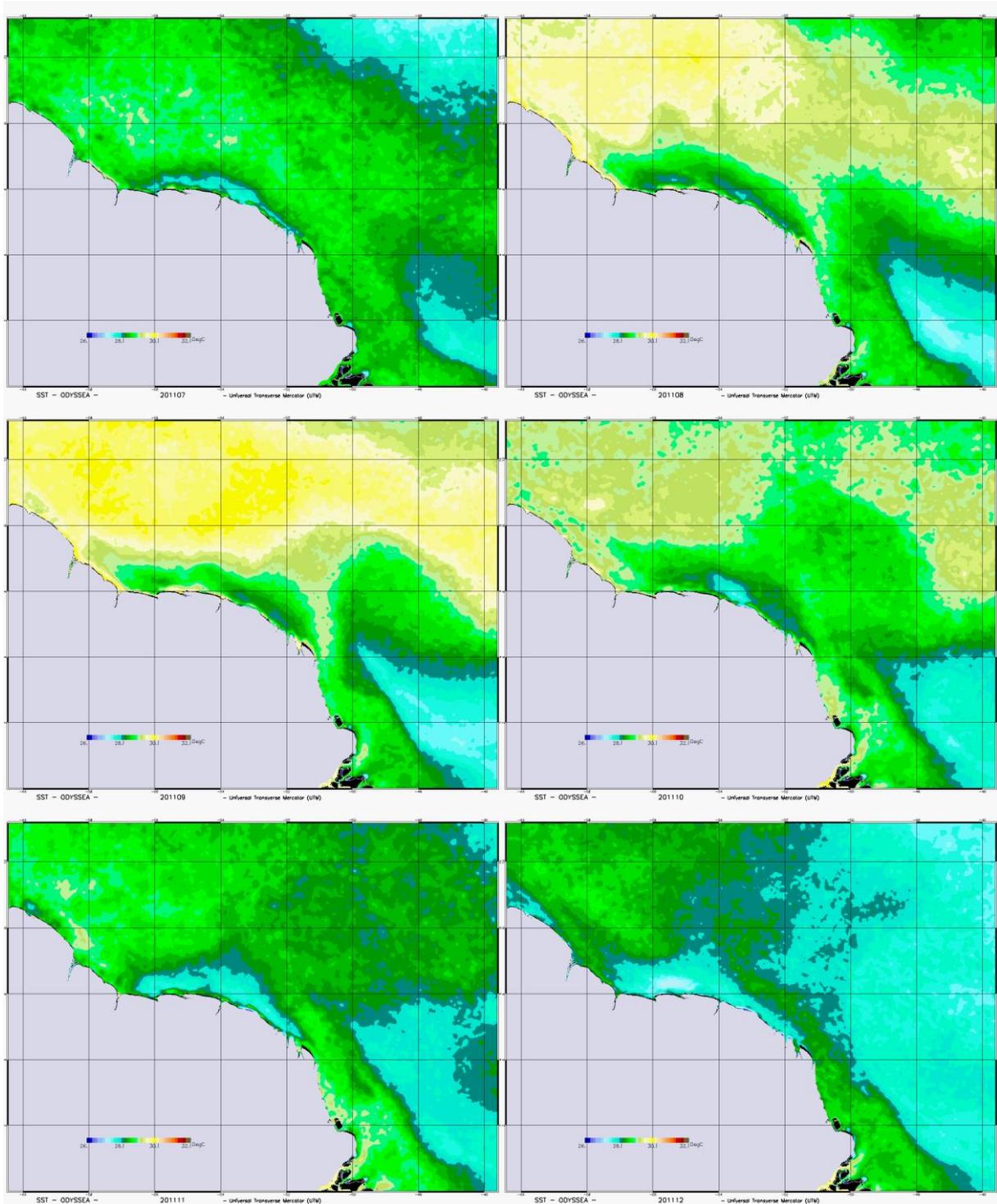
**ANNEXE 2: Anomalies de température de surface annuelles**

**ANNEXE 3: Valeurs des moyennes mensuelles par zone (figure 3)**

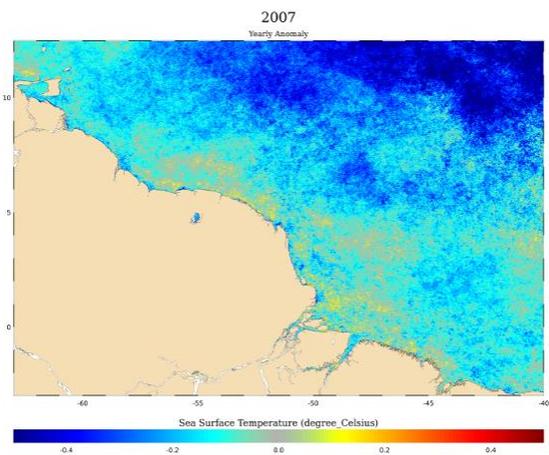
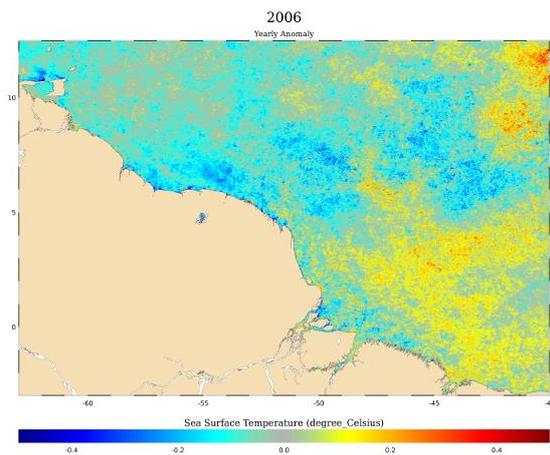
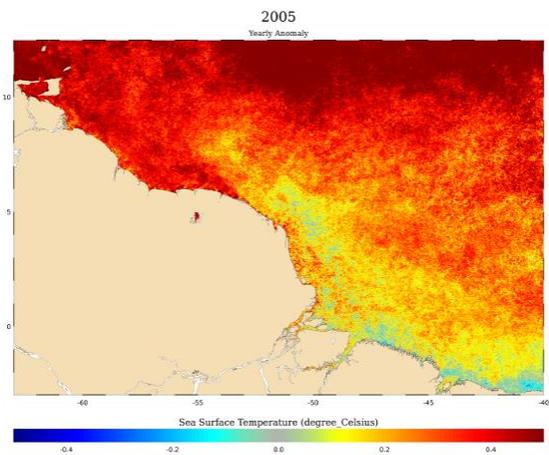
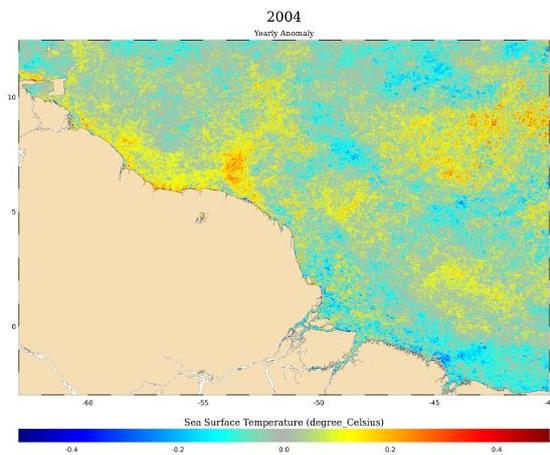
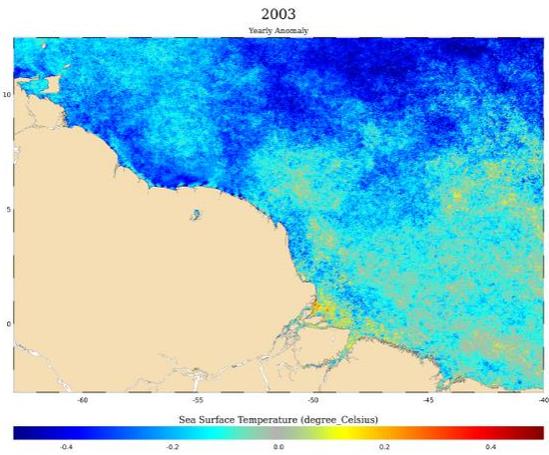
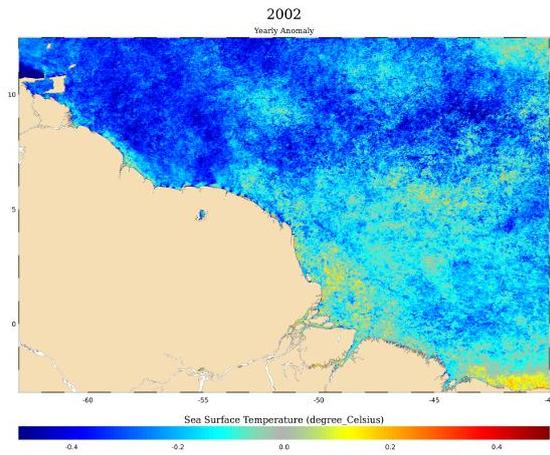


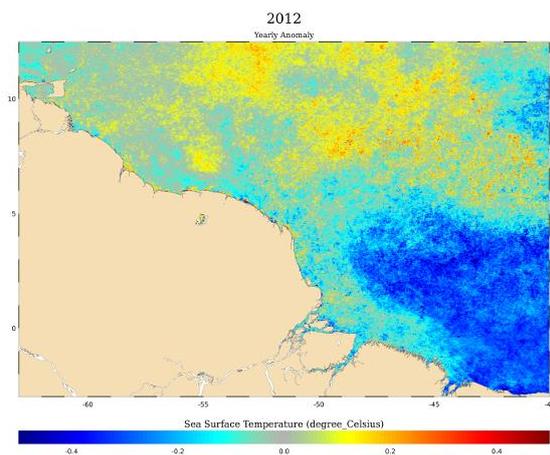
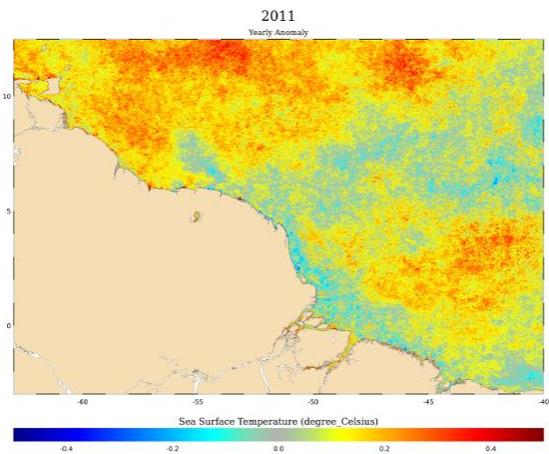
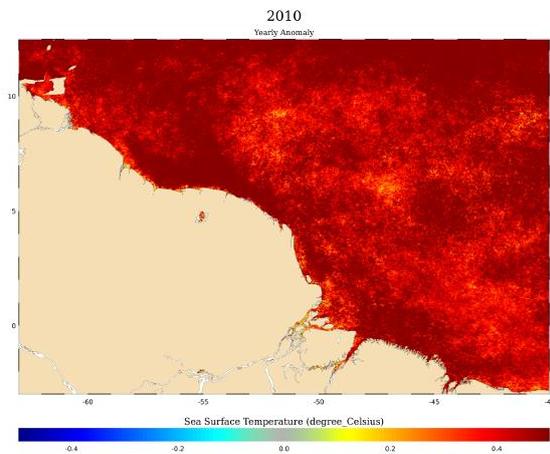
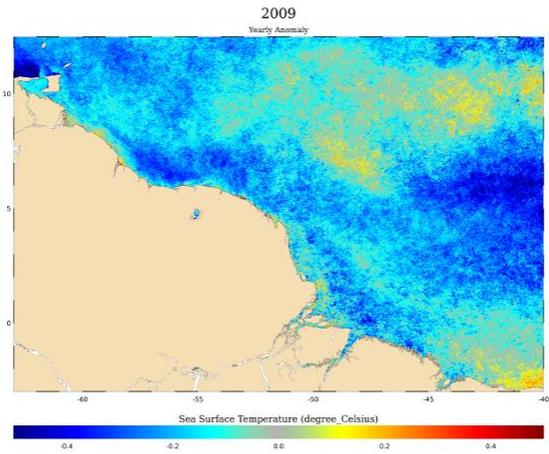
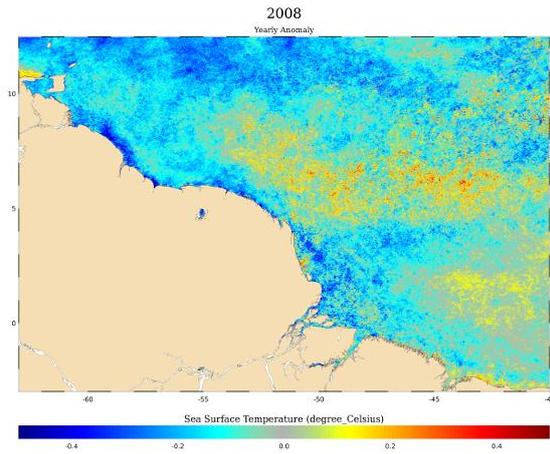
**ANNEXE 1 : Température moyenne de surface mensuelle en 2011 (Odyssea)**





**ANNEXE 2: Anomalies de température de surface annuelles**





**ANNEXE 3: Valeurs des moyennes mensuelles par zone (figure 3)**

