ESTIMATION PAR L'IMAGERIE SATELLITAIRE DU COURANT DE SURFACE DES EAUX DU PLATEAU CONTINENTAL IVOIRIEN : L'APPROCHE DE LA MÉTHODE DU MAXIMUM DE CORRÉLATION CROISÉE

B. A. MOBIO[1]*, K. AFFIAN[1], E. V. DJAGOUA[1], E. M. ROBIN[2] et K. A. KOUAME[1]

[1] Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (C.U.R.A.T.) ; Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody ; 22 BP 801 Abidjan 22 Côte d'Ivoire ; Tel : (225) 22445270 ; Fax : (225) 22445270 ; e-mail : mobiobrice@yahoo.fr (B. A. MOBIO), k_affian@yahoo.fr (K. AFFIAN), vdjagoua@yahoo.fr (E. V. DJAGOUA), adonisdamien@yahoo.fr (K. A. KOUAME).

[2] LETG (UMR 6554 CNRS), Laboratoire Géolittomer, Institut de Géographie et d'aménagement régional de l'Université de Nantes ; BP 81227, 44312 Nantes cedex 3 ; e-mail : marc.robin@univ-nantes.fr (E. M. ROBIN).

Soumis le 22 mai 2009 ; accepté le 14 novembre 2009 - © *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n° 2, p. 112-128

Résumé :

Dans le but de comprendre la circulation des masses d'eau du plateau continental ivoirien, qui conditionne dans une certaine mesure la répartition des espèces pélagiques, et l'élaboration d'un plan d'intervention en cas de déversement accidentel de polluants, le courant de surface du littoral marin ivoirien est estimé.

L'estimation du courant de surface est effectuée par l'application de la technique du maximum de corrélation croisée à la concentration de chlorophylle extraite des images MODIS du satellite AQUA de résolution de 1.1 km. Les images MODIS acquises couvrent les quatre saisons marines du littoral ivoirien. Cette technique a servi à produire des vecteurs de courant qui sont par la suite filtrés et utilisés pour générer des images composites de vecteurs de courant qui soulignent la direction de déplacement des masses d'eau. Le champ de courant généré à partir de cette technique a permis de mettre en évidence la présence simultanée à la surface du littoral marin ivoirien du courant de Guinée qui porte vers l'Est et la manifestation possible du contre courant de Guinée qui survient généralement en sub-surface et qui porte vers l'Ouest. Cette probable présence simultanée des deux courants à la surface du littoral se produit au cours de la deuxième moitié de l'année constituée de la Grande Saison Froide, de la période de Transition et de la Petite Saison Chaude.

***Mots-clés** : Télédétection, couleur de l'océan, maximum de corrélation croisée, courant de surface, plateau continenal ivoirien.*

Estimation of Ivorian Continental Shel Surface Current Using Remote Sensing: a Maximum Cross Correlation Approch.

Abstract

The study of shelf sea water movement in the Gulf of Guinea is key in understanding the pelagic species distribution, and the propagation of poluant across the Ivorian Continental Shelf. In this study the Maximun Cross Correlation (MCC) method is applied on selected MODIS satellite imagery scenes, wich were acquired from the orbiting AQUA satellite at 1,1 km resolution. The technique is used to study the chlorophyle concentration variation at this given resolution. A velocity vector agglomeration of two major opposite surface currents were generated. Further the velocity vector output was filtered to produce a composite vector-map depicting the distribution of sea surface velocities. The genereted current field map highlighted the eastward Guinea current mainly occuring at a shallow depth, and the westward current wich generally occure in a much deeper water layer simultaneously. These apparently simultaneous antagonistic current motion along the coastline occurs mainly in the major cold season, the period of transition and the small hot season of the year.

***Keywords**: climate remote sensing, ocean color, current, continental shelf, Côte d'Ivoire.*

1. INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un des axes de recherche du CURAT (Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection) qui se focalise sur la connaissance de la circulation des masses d'eau dans le Golfe de Guinée. La compréhension des courants est d'autant plus pertinente qu'elle permet d'anticiper sur le parcourt des hydrocarbures déversés accidentellement en mer en même temps qu'elle peut aider à améliorer la performance des pêcheurs de poisson pélagique.

Les travaux qui ont trait au courant du Golfe de Guinée se sont appuyés pour la plupart sur des méthodes classiques de mesures directes (Lemasson et Rebert 1973, Morliere 1970, Colin *et al.* 1993). Ces méthodes ne s'appuient pas sur des données de télédétection pour produire les courants de surface mais plutôt sur des méthodes de mesure ponctuelle et *in situ* de courant de surface à partir de courantomètre Anderaa et des bouées de surface dérivantes ou ancrées. Ces mesures in situ sont éparses et leur mise en œuvre coûteuse, ce qui ne permet malheureusement pas d'accéder aux données d'ensemble sur le courant dans ce milieu présentant une variabilité spatiale et temporelle des conditions environnementales. L'utilisation de la télédétection se présente donc comme un bon complément aux méthodes traditionnelles dans la mesure où elle offre une densité d'informations spatiale et temporelle élevée à un coût nettement inférieur aux nombreuses mesures *in situ*, toutefois limitée à des valeurs de surface.

Des travaux à travers le monde traitant de la circulation des eaux à partir de l'imagerie satellitaire ont été réalisés. La méthode du maximum de corrélation croisée (MCC), originalement développée en météorologie pour le suivi des nuages (Leese et *al*. 1971) à été appliquée avec succès aux images thermiques de résolution 1,1 km x 1,1 km pour la cartographie du courant Est australien (Bowen et *al*., 2002), du Gulf Stream (Emery et *al.*, 1992), du courant de Californie (Tokmakian et *Al*., 1990) et des eaux côtières de British Columbia (Emery et *al.*, 1986). Toutefois, il y a lieu de signaler que l'application de la méthode du MCC aux images thermiques, en plus de la limitation due au couvert nuageux, est inopérante lorsque les gradients thermiques de surface sont faibles, ce qui est courant dans notre zone d'étude. Face à cette contrainte d'utilisation des images thermiques, les images de concentration de chlorophylle en constituent des données alternatives ou supplémentaires sur les déplacements des masses d'eau, grâce à leur plus grande richesse en structures frontales. Ainsi Garcia et Robinson (1989) ainsi que Tokmakian et *Al.* (1990) ont calculé avec succès les vitesses de surface des eaux par application de la méthode du MCC aux concentrations de chlorophylle extraites des images de la bande du visible CZCS (Costal Zone Color Scanner). De même, Crocker (2007) et Crocker et *al.* (2007) ont appliqué avec succès la méthode du MCC aux images MODIS de 1,1 km x 1,1 km de résolution pour décrire les courants de surface océanique des côtes de Californie et du golfe de Mexique, par l'utilisation conjointe de la température et de la chlorophylle de surface. La précision de l'estimation du courant basée sur la méthode du MCC appliquée à la concentration de la chlorophylle (comme pour la température) est liée à la proximité dans le temps des images retenues pour faire les calculs.

Le présent article a pour but de tenter d'estimer, pour la première fois, le courant de surface océanique du plateau continental ivoirien à l'aide d'images du capteur MODIS de AQUA. La méthode d'évaluation utilisée est basée sur le suivi du déplacement des pigments chlorophylliens sur deux images successives à partir de la technique du maximum de corrélation croisée.

2. LA ZONE D'ÉTUDE

Le littoral ivoirien est compris dans le grand écosystème marin du golfe de Guinée qui s'étend de la Guinée Bissau au cap Lopez au Gabon (figure 1). Ce golfe est délimité par la façade maritime de plus de quatorze pays dont un pays insulaire (Sao Tomé et Principe). La zone d'intérêt prise en compte dans cette étude s'étend au Nord de la latitude 4° N et entre les longitudes 7° W et 4° W (figure 1).

La connaissance de la circulation générale des eaux du golfe de Guinée a fait l'objet de plusieurs travaux (Varlet ,1958 ; Longhurst, 1962 ; Lemasson et Rebert, 1968 et 1973, Ingham, 1970; Bakun, 1978; Hisard et al. 1986; Binet 1997). Ces travaux montrent en particulier l'existence sur le plateau continental de la Côte d'Ivoire, d'un courant de surface dirigé vers l'Est, dont la vitesse atteint parfois 0,8 m/s sur une épaisseur d'environ 30 m (Aka, 1991), et un contre courant dirigé vers l'Ouest situé sous le courant de Guinée, entre 15 et 80m de profondeur dont le vitesse varie entre 0,3 et 0,8 m/s (Lemasson et Rebert 1968).

La température de surface de la mer (TSM) le long du littoral ivoirien est caractérisée par des variations saisonnières importantes. Ces variations thermiques ont permis de définir quatre saisons marines (Morlière 1970) : la petite saison froide (PSF), de Janvier à Février ; la grande saison chaude (GSC), de Mars à Juin ; la grande saison froide (GSF), de Juillet à Septembre et la petite saison chaude (PSC), de Novembre à Décembre. Entre la GSF et la PSC, il y a une période dite de Transition qui est le mois d'Octobre. La GSF se caractérise par la présence d'un upwelling intense le long de la côte.

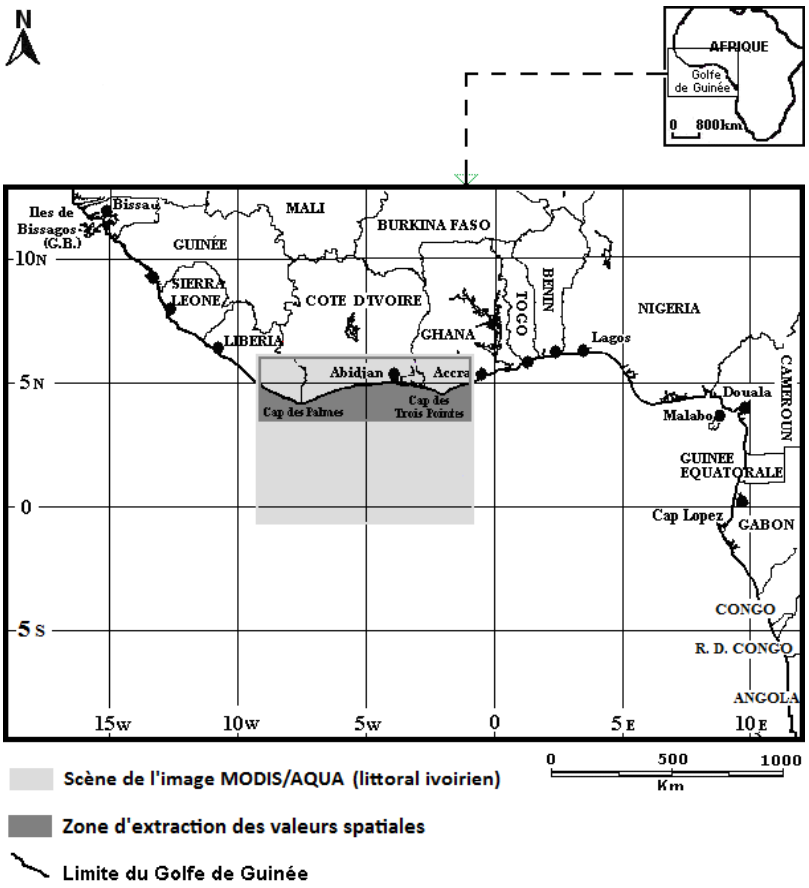


Figure 1. Localisation du littoral ivoirien par rapport au golfe de Guinée
Localization of ivoirian coastal in to the Gulf of Guinea

3. MATERIEL ET METHODES

3.1. Matériel

Les données utilisées dans cette étude sont les images de la concentration de la chlorophylle de niveau 2 (L2) de 1,1 km de résolution spatiale provenant du capteur MODIS du satellite AQUA. Ces images ont une taille de 1024 pixels sur 1024 lignes. MODIS est un capteur permettant de mesurer la réflectance dans 36 bandes spectrales (de 0.4 à 14 µm).

Les images de concentration de chlorophylle de niveau L2 sont acquises sur le site de la NASA (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov). En raison de la distribution géométrique des valeurs observées, les données sont transformées suivant l'équation 1 :

$$X = \ln(chl_concentration+1) \quad (1)$$

où chl_concentration est la concentration chlorophyllienne exprimée en mg/m3.

Les dates des données utilisées sont: Février 2007 pour la PSF ; Mai 2005 et Juin 2003 pour la GSC ; Juillet 2003, Juillet 2007 et Septembre 2007 pour la GSF ; Octobre 2006 pour la période de Transition et Novembre 2004 et Novembre 2007 pour la PSC.

3.2. Méthode

3.2.1. Technique du maximum de corrélation croisée

La technique du maximum de corrélation croisée (MCC), est basée sur l'utilisation de paires d'images satellitaires successives de chlorophylle. La méthode part du principe que le déplacement des concentrations de chlorophylle est induit par le déplacement des masses d'eau de surface qui les portent. Par conséquent, connaissant la période de temps entre les concentrations chlorophylliennes en des endroits différents, il est possible d'en déduire la vitesse et la direction du courant.

Le déplacement de structures océaniques entre les deux images est estimé en calculant les corrélations croisées de la concentration chlorophyllienne entre une fenêtre de départ, sur la première image, et une série de fenêtres de même taille (fenêtre d'arrivée) que la fenêtre de départ à l'intérieur des fenêtres de recherches dans la seconde image. La

translation des structures contenues dans la fenêtre de départ correspond alors au vecteur reliant le centre de la fenêtre de départ au centre de la fenêtre d'arrivée pour laquelle la corrélation est maximale (figure 2).

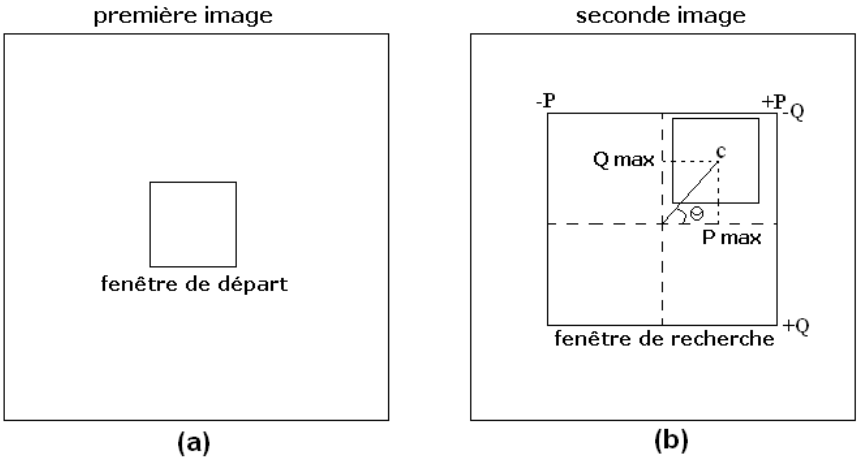


Figure 2. Schéma de la technique du Maximum de Corrélation Croisée
Illustration of the Maximum Cross-Correlation technical

(a) fenêtre de départ sélectionnée dans la première image ; (b) fenêtre de recherche sélectionnée dans la seconde image, dans laquelle s'observe le déplacement *P max* et *Q max*, correspondant à la région où la corrélation est maximale.

3.2.2. Production de vecteurs de courant

La méthode du MCC est exécutée à partir d'un ensemble de programmes développés par le Colorado Center for astro-dynamics Research de l'université du Colorado Boulder. Le premier de ces programmes, permet de produire les vecteurs de courant à partir de deux images successives de surface. Ce programme définit une fenêtre de départ de taille 22x22 pixels sur la première image. Dans la seconde image, il définit une fenêtre de recherche de plus grande taille (64x64 ou 126x126 pixels) dans laquelle se déplace la fenêtre de départ à la recherche de la fenêtre qui a le maximum de corrélation avec elle. Sur la base des travaux de Crocker (2007) et notre expérience personnelle, il s'avère que la fenêtre de 22x22 pixels est la meilleure dimension de fenêtre (taille minimale) pour contenir des structures océanographiques et produire des vecteurs cohérents.

La fenêtre de recherche est déplacée dans la seconde image avec un recouvrement de 11 pixels (moitié de la taille de la fenêtre de départ), valeur choisie pour s'assurer que la majeure partie de toute structure qui serait à cheval sur deux fenêtres de 22x22 pixels soit prise en compte.

L'opération de recherche de structure se répète dans toutes les fenêtres de recherches. Le programme retient enfin la fenêtre avec la plus forte corrélation dans toute l'image et produit un vecteur du déplacement de la structure océanique dans l'espace. A partir de la distance de déplacement et du temps séparant les deux images, il détermine les vitesses zonales, méridionales puis résultantes qui ne sont ni plus ni moins que les composantes Est, Nord et la résultante du vecteur courant généré.

La dimension en pixels de la fenêtre de recherche doit être choisie en veillant à ce que la plus grande vitesse connue qui est ici de 0,8 m/s puisse la contenir. Cette taille est de 63 pixels pour les images séparées de 24 Heures, ou 126 pixels pour les images séparées de 48 Heures. Le choix du temps de séparations de 48 heures est motivé par la grande couverture nuageuse de la zone d'étude qui rend difficile l'obtention de deux scènes dépourvues de nuages sur deux jours successifs.

Des valeurs minimale et maximale de pixel sont utilisées pour discriminer les pixels qui représentent les concentrations chlorophylliennes des pixels qui représentent les nuages. Ainsi, tout pixel ayant une valeur en dehors de l'intervalle 0 (valeur minimale) et 100000 (valeur maximale) est considéré comme nuageux.

3.2.3. Filtrage de vecteurs de courant

Le deuxième programme permet de filtrer les vecteurs de courant pour éliminer les valeurs non corrélées. En effet, le fichier brut produit par la technique du MCC contient beaucoup de vecteurs. Certains de ces vecteurs n'indiquent pas le sens réel de déplacement des structures océaniques et doivent être éliminés. Ainsi sont éliminés les vecteurs de faible corrélation, les vecteurs voisins spatialement incohérents et les vecteurs de très grande vitesse.

Pour être valide, tout vecteur doit correspondre à une forte corrélation (supérieure à 0,8) et avoir une vitesse inférieure ou égale à une vitesse maximale connue (0,8 m/s). En outre, au moins 2 des 8 vecteurs entourant le vecteur concerné doivent avoir une vitesse d'au plus 0,1 m/s de plus ou de moins que la vitesse du vecteur concerné.

Nous avons choisi une corrélation minimale de 0,8 car les images utilisées contiennent beaucoup de nuage ce qui entraîne la production de nombreux vecteurs dont les corrélations n'atteignent pas 0,8 d'après plusieurs tests effectués.

3.2.4. Image de vecteurs de courant composites

Après le filtrage, une image composite est constituée par la superposition des vecteurs individuels pour décrire le courant le plus représentatif des différentes périodes. La superposition d'images individuelles a pour objet de diminuer l'effet néfaste de la couverture nuageuse qui empêche d'extraire un nombre important de vecteurs par image individuelle. Ce procédé permet d'obtenir une image mensuelle constituée d'un nombre assez important de vecteurs de courant qui servira à décrire le comportement du courant de surface mensuel.

3.2.5 Méthode de validation des résultats

Des données in-situ de courant de surface de type ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) issues des campagnes océanographiques de l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) ont été acquis et comparés à nos résultats pour tenter de les valider.

4. RESULTATS

4.1. Mouvements saisonniers des masses d'eau

4.1.1. Petite Saison Froide (PSF)

La figure 3 est l'image de vecteurs courants du mois de Février 2007. Cette images montre très peu de vecteurs courants et représente à elle seule la PSF du fait de la couverture nuageuse qui masque le déplacement de structures visibles à travers la concentration en chlorophylle. Cette figure présente des vecteurs courants portant vers l'Est (qui se dirigent de l'Ouest vers l'Est) avec une vitesse moyenne d'environ 0,3 m/s et une direction générale de 79,26°N (tableau 1).

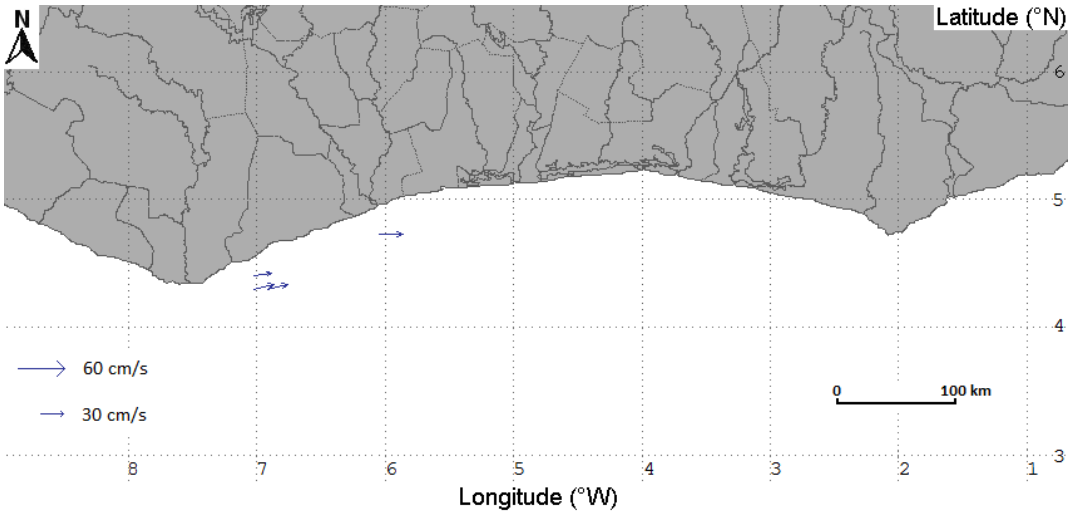


Figure 3. Vecteurs de courants de Février 2007
Vector fields of February 2007

Tableau 1. Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Février 2007
February 2007 vector fields velocity and direction

Longitude (°W)	**Latitude (°N)**	**Vitesse zonale (m/s)**	**Vitesse méridionale (m/s)**	**Vitesse résultante (m/s)**	**Orientation (°N)**	**Coefficient de corrélation**
6,01	4,73	0,31	0,01	0,31	88,10	0,96
6,98	4,41	0,22	0,03	0,22	82,23	0,81
6,98	4,29	0,25	0,07	0,26	74,35	0,94
6,88	4,29	0,22	0,07	0,23	72,35	0,87
Moyenne		0,25	0,05	**0,26**	**79,26**	

4.1.2. Grande Saison Chaude (GSC)

La première image de vecteurs courants représentative de la GSC est celle de Mai 2005 (figure 4). Cette image montre sur le littoral (sauf au centre où il n'y a pas de données) des vecteurs courants portant vers l'Est avec une vitesse moyenne d'environ 0,3 m/s et une direction générale de 88,70°N (tableau 2).

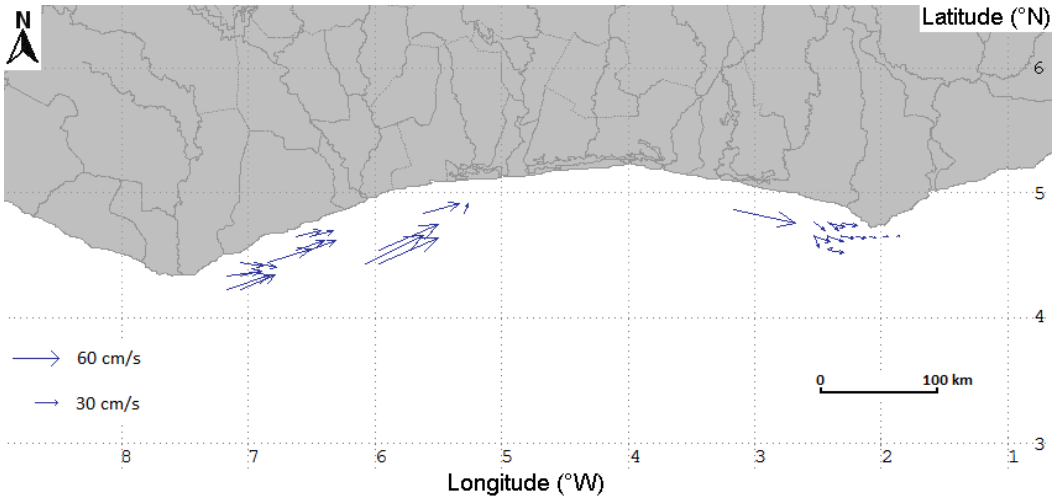


Figure 4. Vecteurs courants composite de Mai 2005
May 2005 vector fields

Tableau 2. Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Mai 2005
May 2005 vector fields velocity and direction

Longitude (°W)	**Latitude (°N)**	**Vitesse zonale (m/s)**	**Vitesse méridionale (m/s)**	**Vitesse résultante (m/s)**	**Orientation (°N)**	**Coefficient de corrélation**
5,58	4,84	0,46	0,12	0,48	75,37	0,88
5,25	4,84	0,49	0,12	0,50	76,20	0,89
6,58	4,65	0,31	0,08	0,32	75,53	0,97
6,48	4,65	0,29	0,08	0,30	74,58	0,98
6,58	4,54	0,35	0,13	0,37	69,67	0,97
6,48	4,54	0,32	0,12	0,34	69,19	0,98
5,94	4,54	0,73	0.33	0,80	66,44	0,80
6,04	4,44	0,72	0,35	0,80	64,04	0,87
5,94	4,44	0,74	0,31	0,80	65,81	0,88
7,02	4,45	0,27	-0,04	0,27	98,43	0,97
6,92	4,45	0,27	-0,05	0,27	100,48	0,98
6,81	4,45	0,53	0,17	0,56	72,19	0,98
7,13	4,34	0,43	0,07	0,44	80,72	0,94
7,02	4,34	0,25	0,07	0,26	74,33	0,98
7,13	4,23	0,55	0,20	0,49	69,99	0,98
7,02	4,23	0,43	0,19	0,47	66,13	0,95
2,50	4,77	0,14	-0,11	0,18	128,14	0,95
2,40	4,77	0,14	-0,11	0,18	128,14	0,90
2,50	4,66	0,06	-0,15	0,16	158,17	0,94
2,40	4,55	0,06	0,02	0,06	71,53	0,94
3,13	4,87	0,77	-0,17	0,79	102,44	0,88
2,37	4,76	0,20	-0,04	0,20	101,31	0,87
2,27	4,76	0,18	-0,03	0,19	99,46	0,87
2,48	4,65	0,19	-0,06	0,19	107,51	0,94
2,37	4,65	0,19	-0,06	0,19	107,51	0,91
2,27	4,65	0,14	-0,02	0,14	98,13	0,93
2,16	4,65	0,12	-0,02	0,12	99,46	0,92
2,05	4,65	0,08	-0,01	0,08	97,12	0,94
1,95	4,65	0,06	0,01	0,06	80,51	0,96
1,84	4,65	0,03	0,01	0,03	71,54	0,96
2,38	4,54	0,19	-0,03	0,19	98,97	0,92
Moyenne		0,28	0,04	**0,33**	**88,70**	

La seconde image représentative de cette période est l'image de Juin 2003 (figure 5) qui fait observer à l'Ouest du littoral des vecteurs courants qui portent vers l'Est avec une vitesse moyenne d'environ 0,2 m/s et une direction générale de 62,98°N (tableau 3).

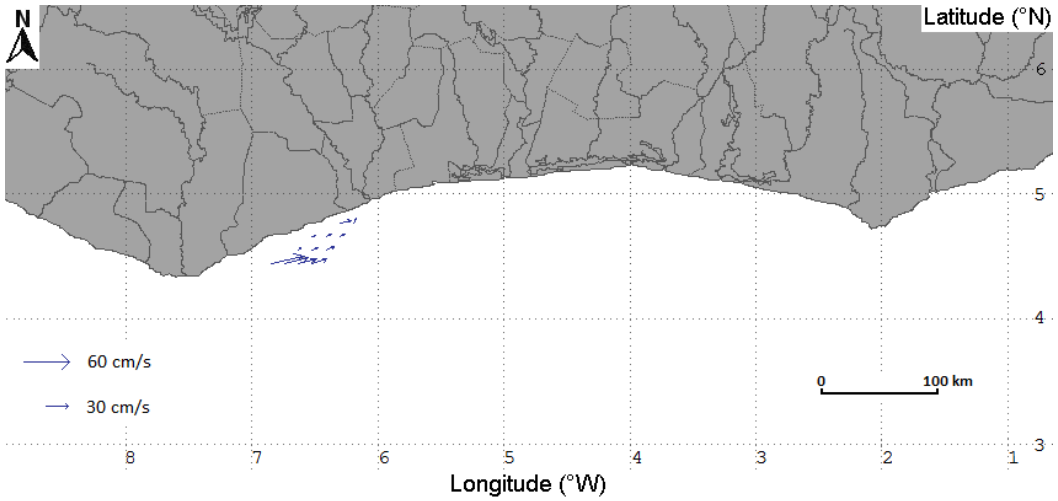


Figure 5. Vecteurs courants composite de Juin 2003
June 2003 vector fields

Tableau 3. Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Juin 2003
June 2003 vector fields velocity and direction

Longitude (°W)	**Latitude (°N)**	**Vitesse zonale (m/s)**	**Vitesse méridionale (m/s)**	**Vitesse résultante (m/s)**	**Orientation (°N)**	**Coefficient de corrélation**
6,27	4,77	0,15	0,04	0,16	75,04	0,80
6,16	4,77	0,04	0,07	0,08	29,73	0,80
6,48	4,66	0,04	0,01	0,04	75,93	0,81
6,37	4,66	0,07	0,04	0,08	60,23	0,80
6,27	4,66	0,07	0,04	0,08	60,23	0,80
6,59	4,55	0,03	0,04	0,05	36,85	0,80
6,48	4,55	0,07	0,04	0,08	60,23	0,87
6,37	4,55	0,11	0,05	0,12	65,53	0,87
6,81	4,45	0,40	0,11	0,41	74,59	0,84
6,70	4,45	0,29	0,08	0,30	74,55	0,91
6,59	4,45	0,23	0,07	0,24	73,04	0,96
6,48	4,45	0,19	0,07	0,20	69,75	0,97
Moyenne		0,14	0,06	**0,15**	**62,98**	

4.1.3. Grande Saison Froide (GSF)

La figure 6 est la première image représentative de la GSF. Cette image de Juillet 2003 présente des vecteurs courants portant vers l'Ouest (qui se dirigent de l'Est vers l'Ouest) avec dans la partie centre-ouest une vitesse moyenne d'environ 0,4 m/s et une direction générale de 261,29°N (tableau 4) et dans la partie est une vitesse moyenne d'environ 0,7 m/s et une direction générale de 238,29°N (tableau 4).

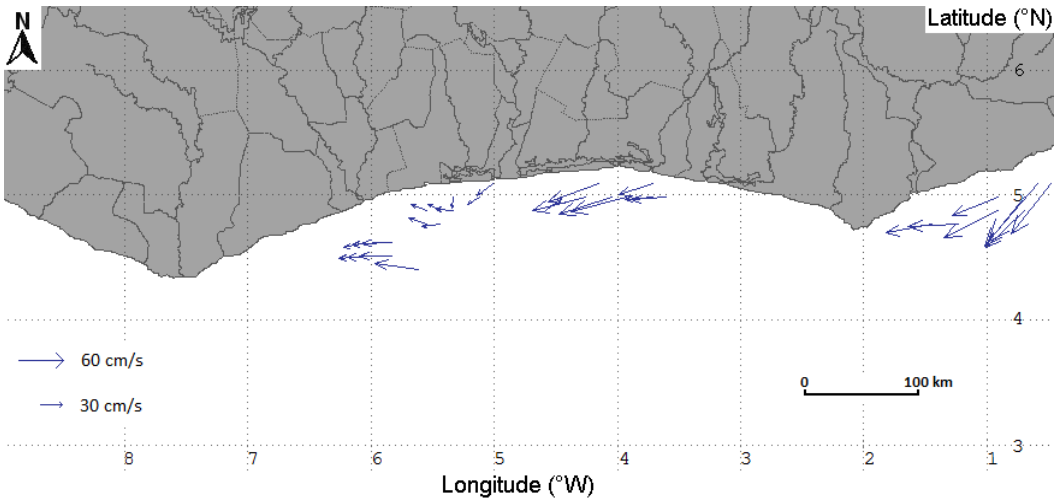


Figure 6. Vecteurs courants composite de Juillet 2003
July 2003 vector fields

Tableau 4. Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Juillet 2003
July 2003 vector fields velocity and direction

	Longitude (°W)	Latitude (°N)	Vitesse zonale (m/s)	Vitesse méridionale (m/s)	Vitesse résultante (m/s)	Orientation (°N)	Coefficient de corrélation
	4,98	5,09	-0,21	-0,15	0,26	234,44	0,81
	4,11	5,09	-0,65	-0,23	0,69	250,49	0,91
	3,68	5,09	-0,43	-0,14	0,45	251,94	0,92
	5,29	4,98	-0,01	-0,14	0,14	184,08	0,93
	5,08	4,98	-0,16	-0,09	0,18	240,62	0,92
	4,22	4,98	-0,69	-0,17	0,71	256,13	0,88
	4,00	4,98	-0,69	-0,21	0,72	253,04	0,93
	3,89	4,98	-0,72	-0,19	0,74	255,19	0,89
	3,68	4,98	-0,36	-0,04	0,36	263,63	0,89
	3,57	4,98	-0,44	-0,04	0,44	264,77	0,91
	5,29	4,88	-0,20	0,07	0,21	289,28	0,85
	4,54	4,88	-0,15	0,09	0,17	300,95	0,91
	0,88	4,88	-0,21	0,02	0,21	275,44	0,94
	5,51	4,77	-0,23	0,07	0,24	286,92	0,94
	5,41	4,77	-0,23	-0,02	0,23	264,99	0,94
	6,01	4,62	-0,27	-0,06	0,28	257,44	0,85
	5,91	4,62	-0,35	-0,03	0,35	256,07	0,80
	5,80	4,62	-0,38	-0,01	0,38	268,56	0,80
	6,01	4,51	-0,33	-0,02	0,33	266,50	0,94
	5,91	4,51	-0,40	-0,01	0,40	268,53	0,93
	5,80	4,51	-0,41	0,01	0,41	271,43	0,84
	5,58	4,41	-0,56	0,09	0,57	279,13	0,80
PARTIE OUEST	**Moyenne**		-0,38	-0,05	**0,39**	**261,29**	
	0,55	5,09	-0,63	-0,73	0,96	220,78	0,86
	0,45	5,09	-0,50	-0,62	0,80	218,87	0,89
	0,88	4,98	-0,59	-0,23	0,63	248,67	0,89
	0,66	4,98	-0,51	-0,62	0,80	219,42	0,87
	0,88	4,88	-0,69	-0,33	0,76	244,41	0,91
	0,66	4,88	-0,49	-0,46	0,67	226,79	0,80
	1,42	4,77	-0,58	-0,11	0,59	259,23	0,93
	1,20	4,77	-0,64	-0,02	0,64	268,17	0,84
PARTIE EST	**Moyenne**		-0,58	-0,39	**0,73**	**238,29**	

La seconde image de cette période qui est celle de Juillet 2007 (figure 7) permet d'observer deux groupes de vecteurs courant de sens opposés qui se rencontrent entre 6 et 7° de longitude Ouest. L'un des groupes porte vers l'Est (vitesse moyenne d'environ 0,7 m/s et direction générale de 80,40°N (tableau 5)) et l'autre groupe porte vers l'Ouest (vitesse moyenne d'environ 0,7 m/s et direction générale de 266,46°N (tableau 5)).

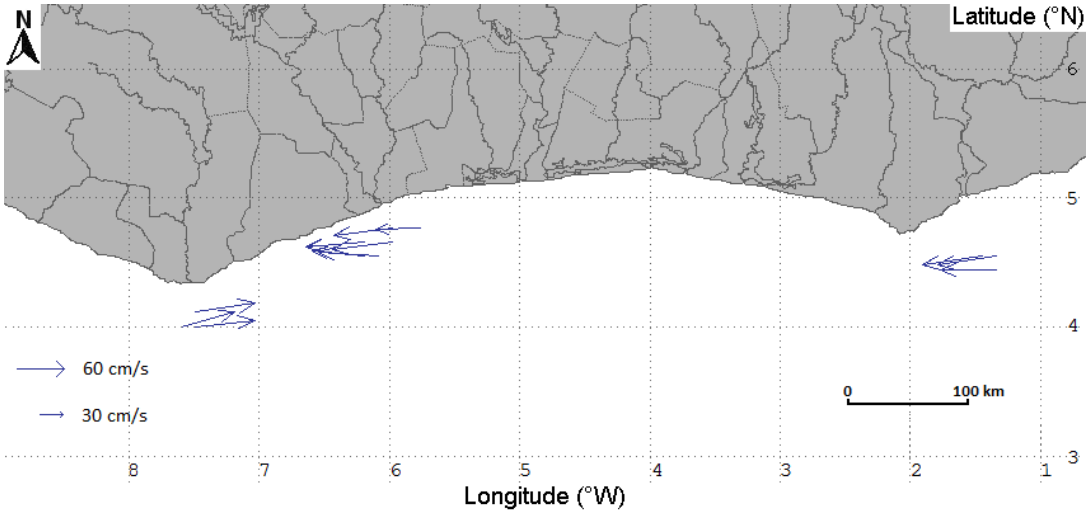


Figure 7. Vecteurs courants composite de Juillet 2007
July 2007 vector fields

Tableau 5, Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Juillet 2007
July 2007 vector fields velocity and direction

		Longitude (°W)	Latitude (°N)	Vitesse zonale (m/s)	Vitesse méridionale (m/s)	Vitesse résultante (m/s)	Orientation (°N)	Coefficient de corrélation
COURANT	WE	7,45	4,12	0,73	0,11	0,74	81,40	0,90
		7,56	4,01	0,65	0,17	0,67	75,31	0,92
		7,45	4,01	0,73	0,07	0,73	84,49	0,92
		Moyenne		0,70	0,12	**0,71**	**80,40**	
COURANT	EW	5,95	4,77	-0,72	-0,09	0,73	262,84	0,95
		5,73	4,77	-0,54	-0,01	0,54	268,90	0,91
		6,16	4,66	-0,72	-0,06	0,72	265,20	0,98
		5,95	4,66	-0,73	-0,09	0,74	262,94	0,96
		6,16	4,55	-0,63	0,06	0,63	275,44	0,96
		6,05	4,55	-0,73	0,05	0,73	273,92	0,95
		1,42	4,55	-0,73	-0,11	0,74	261,40	0,82
		1,31	4,55	-0,70	-0,11	0,71	261,04	0,89
		1,31	4,45	-0,68	-0,00	0,68	270	0,81
		Moyenne		-0,69	-0,04	**0,69**	**266,46**	

Le mois de Septembre 2007 (figure 8) qui est la troisième image de la GSF permet aussi d'observer deux groupes de courants de sens opposés avec encore l'un portant vers l'Est (vitesse moyenne d'environ 0,5 m/s et direction générale de 73,10°N (tableau 6)) et l'autre portant vers l'ouest (vitesse moyenne d'environ 0,6 m/s et direction générale de 256,87°N (tableau 6)). Ces groupes de courants se rencontre dans ce mois entre 5 et 6° de longitude Ouest.

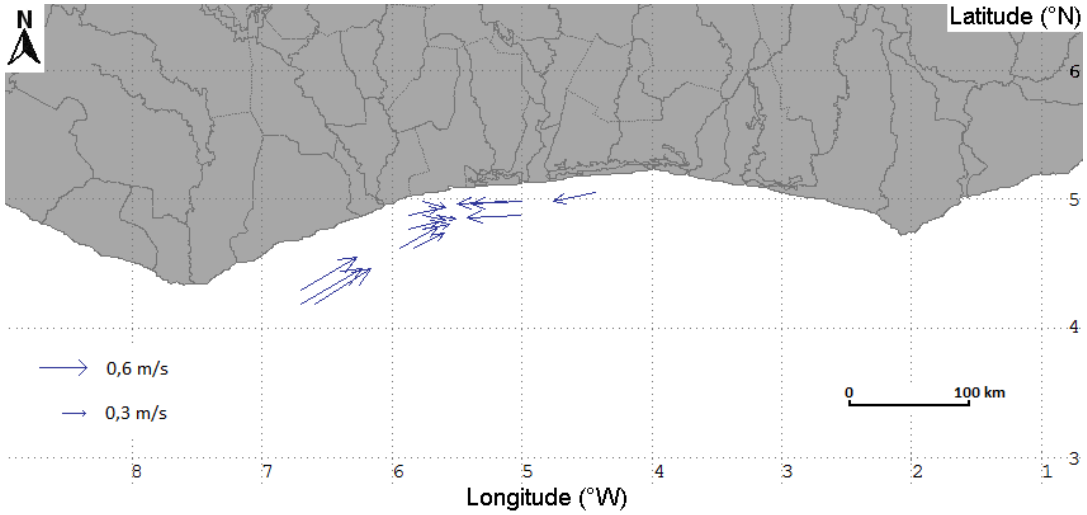


Figure 8. Vecteurs courants composites de Septembre 2007
September 2007 vector fields

Tableau 6, Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Septembre 2007
September 2007 vector fields velocity and direction

		Longitude (°W)	Latitude (°N)	Vitesse zonale (m/s)	Vitesse méridionale (m/s)	Vitesse résultante (m/s)	Orientation (°N)	Coefficient de corrélation
COURANT	WE	**6,66**	**4,29**	**0,67**	**0,42**	**0,79**	**57,89**	**0,94**
		6,66	4,19	0,70	0,39	0,80	60,85	0,94
		6,55	4,19	0,67	0,43	0,79	57,28	0,91
		5,73	4,98	0,28	-0,07	0,29	104,04	0,95
		5,84	4,88	0,36	0,09	0,37	75,93	0,93
		5,62	4,88	0,24	-0,05	0,25	101,76	0,97
		5,84	4,77	0,38	0,10	0,39	75,23	0,92
		5,91	4,62	0,48	0,26	0,54	61,53	0,83
		5,80	4,62	0,38	0,19	0,42	63,41	0,88
		Moyenne		0,46	0,19	**0,51**	**73,10**	
COURANT	EW	4,39°	5,05°	-0,52	-0,10	0,53	259,08	0,94
		5,08°	4,98°	-0,61	-0,02	0,61	268,09	0,93
		4,98°	4,98°	-0,61	-0,02	0,61	268,09	0,86
		4,98°	4,88°	-0,66	-0,02	0,66	268,23	0,96
		Moyenne		-0,60	-0,04	**0,60**	**265,87**	

Les images de vecteurs courants représentatives de la GSF mettent donc en évidence deux courants à la surface du littoral dont l'un porte vers l'Est et l'autre vers l'Ouest. Ces deux courant se rencontrent entre après 6° de longitude Ouest en début de GSF (Juillet) et avant 6° de longitude Ouest en fin de GSF (Septembre) montrant ainsi une évolution du point de rencontre de l'Ouest vers l'Est du début à la fin de la GSF.

4.1.4. Période de Transition (T)

La seule images représentative de la période de Transition est celle d'Octobre 2006 (figure 9) qui montre encore deux groupes de vecteurs courants de sens opposés dont l'un porte vers l'Est (vitesse moyenne d'environ 0,5 m/s et direction générale de 42,31°N (tableau 7)) et l'autre vers l'Ouest (vitesse moyenne d'environ 0,3 m/s et direction générale de 294,20°N (tableau 7)). Nous avons donc dans cette période deux courants qui se rencontrent avant 5° de longitude Ouest.

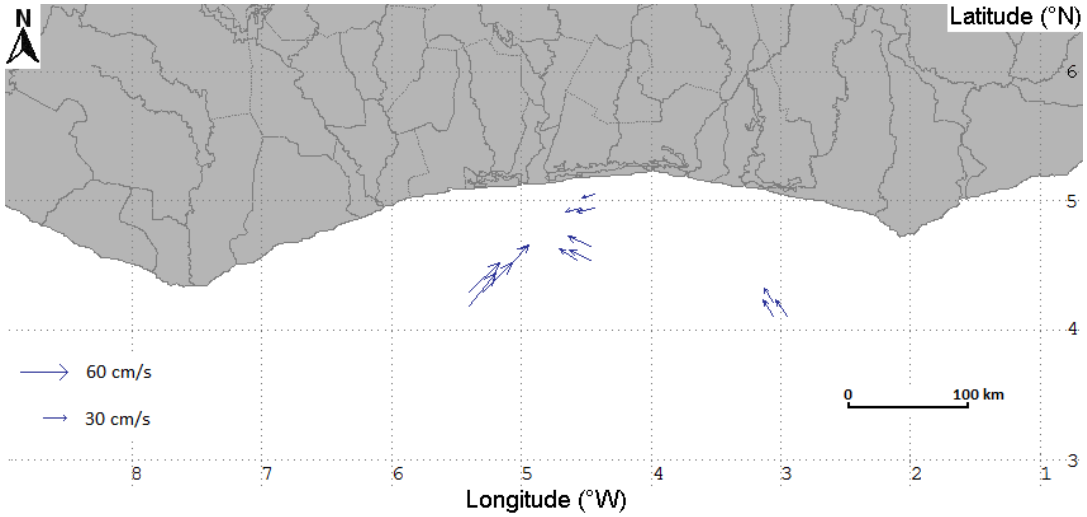


Figure 9. Vecteurs courants composites d'Octobre 2006
October 2006 vector fields

Tableau 7, Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Octobre 2006
October 2006 vector fields velocity and direction

		Longitude (°W)	Latitude (°N)	Vitesse zonale (m/s)	Vitesse méridionale (m/s)	Vitesse résultante (m/s)	Orientation (°N)	Coefficient de corrélation
COURANT	WE	**5,04**	**4,51**	**0,21**	**0,24**	**0,32**	**41,17**	**0,80**
		5,37	4,29	0,38	0,37	0,53	45,74	0,80
		5,26	4,29	0,35	0,36	0,50	44,18	0,85
		5,37	4,19	0,33	0,42	0,53	38,14	0,80
		Moyenne		0,32	0,35	**0,47**	**42,31**	
COURANT	EW	4,39	5,05	-0,17	-0,04	0,17	256,72	0,80
		4,50	4,95	-0,20	-0,04	0,20	258,66	0,87
		4,39	4,95	-0,22	-0,05	0,23	257,16	0,93
		4,43	4,65	-0,28	0,12	0,30	293,19	
		4,53	4,54	-0,22	0,14	0,26	302,46	0,83
		4,43	4,54	-0,27	0,13	0,30	295,70	0,88
		3,02	4,22	-0,11	0,19	0,22	329,91	0,85
		3,02	4,11	-0,12	0,20	0,23	329,01	0,93
		2,92	4,11	-0,14	0,20	0,24	324,99	0,93
		Moyenne		-0,19	0,06	**0,28**	**294,20**	

4.1.5. Petite Saison Chaude (PSC)

Les images de Novembre 2003 (la figure 10), Novembre 2004 (la figure 11) et Novembre 2007 (la figure 12) sont les images de vecteurs courant représentatives du mois de Novembre et elles montrent respectivement au Centre, à l'Ouest et à l'Est des vecteurs courants portant vers l'Ouest. Les vecteurs de l'image de 2003 ont une vitesse moyenne d'environ 0,7 m/s avec une direction générale de 268,91°N (tableau 8), celles de 2004, une vitesse moyenne d'environ 0,8 m/s avec une direction générale de 244,83°N (tableau 9) et celles de 2007, une vitesse moyenne d'environ 0,3 m/s avec une direction générale de 275,77°N (tableau 10). Ces images de Novembre permettent d'observer un courant de surface qui porte vers l'Ouest sur tout le littoral.

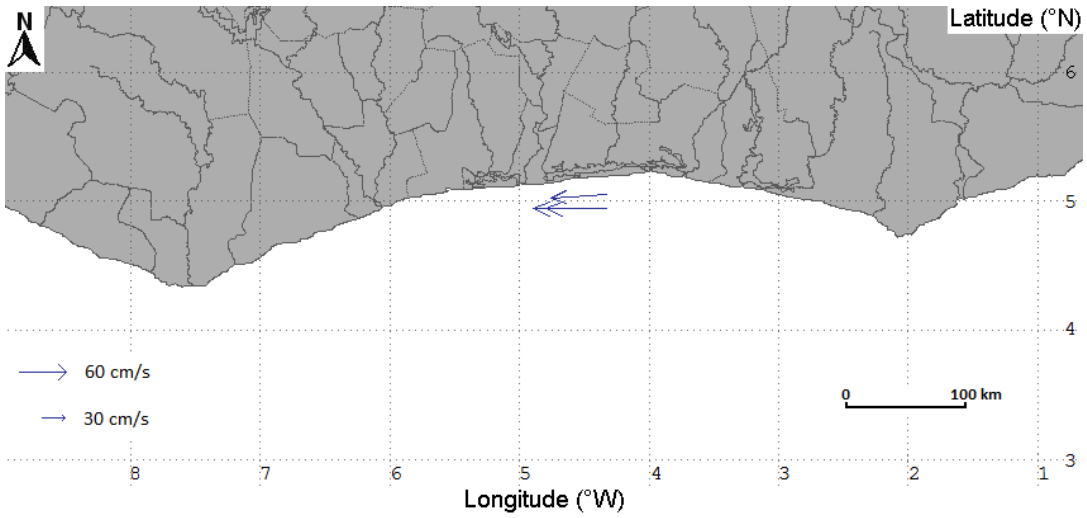


Figure 10. Vecteurs courants composites de Novembre 2003
November 2003 vector fields

Tableau 8, Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Novembre 2003
November 2003 vector fields velocity and direction

Longitude (°W)	**Latitude (°N)**	**Vitesse zonale (m/s)**	**Vitesse méridionale (m/s)**	**Vitesse résultante (m/s)**	**Orientation (°N)**	**Coefficient de corrélation**
4,29	5,05	-0,70	-0,04	0,70	266,72	0,92
4,39	4,95	-0,73	-0,00	0,73	270,00	0,80
4,29	4,95	-0,76	-0,00	0,76	270,00	0,80
Moyenne		-0,73	-0,01	**0,73**	**268,91**	

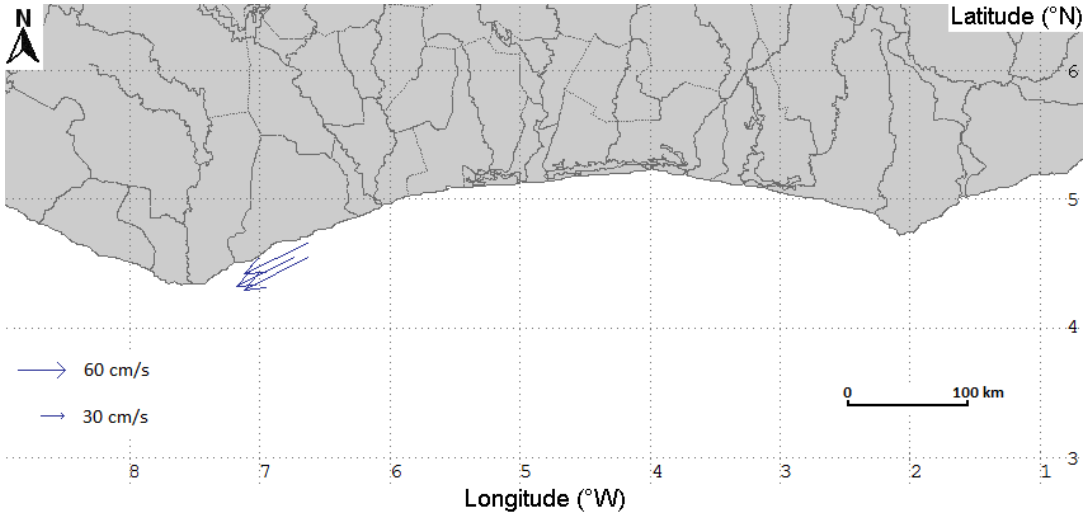


Figure 11. Vecteurs courants composites de Novembre 2004
November 2004 vector fields

Tableau 9, Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Novembre 2004
November 2004 vector fields velocity and direction

Longitude (°W)	**Latitude (°N)**	**Vitesse zonale (m/s)**	**Vitesse méridionale (m/s)**	**Vitesse résultante (m/s)**	**Orientation (°N)**	**Coefficient de corrélation**
6,59	4,66	-0,73	-0,31	0,79	247,00	0,90
6,70	4,55	-0,70	-0,36	0,79	242,78	0,96
6,59	4,55	-0,72	-0,34	0,80	244,72	0,96
Moyenne		-0,71	-0,33	**0,79**	**244,83**	

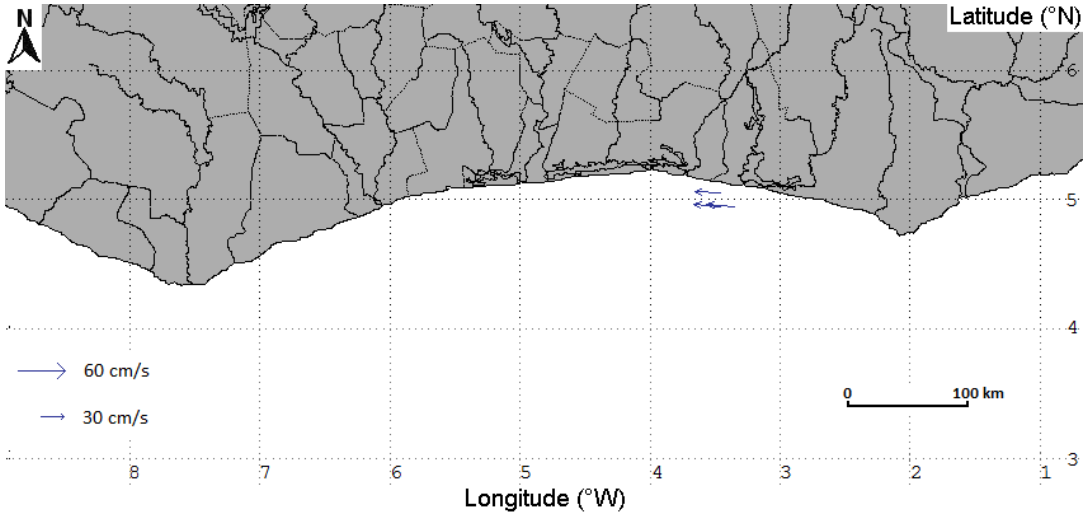


Figure 12. Vecteurs courants composites de Novembre 2007
November 2007 vector fields

Tableau 10, Vitesse et orientation des vecteurs de courant en Novembre 2007
November 2007 vector fields velocity and direction

Longitude (°W)	**Latitude (°N)**	**Vitesse zonale (m/s)**	**Vitesse méridionale (m/s)**	**Vitesse résultante (m/s)**	**Orientation (°N)**	**Coefficient de corrélation**
3,43	5,05	-0,31	0,02	0,31	273,69	0,88
3,43	4,95	-0,33	0,04	0,33	276,91	0,80
3,32	4,95	-0,34	0,04	0,34	276,71	0,84
Moyenne		-0,32	0,03	**0,33**	**275,77**	

4.2. Validation des courants mis en évidence

Des données *in situ* de courant de surface issues des campagnes océanographiques de l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) (http://www.ifremer.fr/sismerData/jsp/donneesInSitu.jsp) suivant différents trajets ont été acquises. L'acquisition de ces données a été faite au cours de la Grande Saison Froide et de la période dite de Transition qui sont des saisons marines pour lesquelles les résultats de nos travaux sont différents de ceux de certains travaux antérieurs. Les figures 13 et 14 présentent les directions de courant de surface suivant respectivement le transit TRCODK qui s'est déroulé du 8 au 14 juillet 2005 de Cotonou (Bénin) à Dakar (Sénégal) et le transit TRCOTON qui s'est déroulé du 08 au 23 Juillet 2006 de Cotonou (Bénin) à Toulon (France). Ces figures permettent d'observer dans le mois de juillet (GSF), des courants de surface portant vers l'Ouest en plus de ceux portant vers l'Est. La figure 15 quant à elle, présente les directions de courant de surface suivant le transit TRDKCO qui s'est déroulé du 24 au 31 août 2005 de Dakar à Cotonou. Elle permet d'observer aussi dans le mois d'Août (GSF), des courants de surface portant vers l'Ouest. Les données *in situ* des mois de Juillet 2005, Juillet 2006 et Août 2005 montrent la présence d'un courant de surface portant vers l'Est et d'un autre vers l'Ouest comme l'indiquent les résultats de nos travaux dans la GSF.

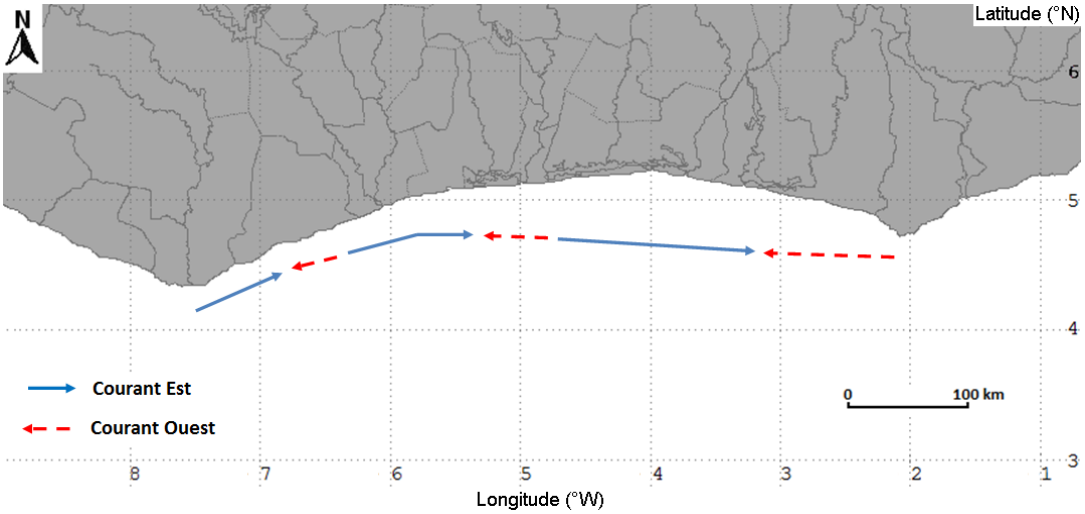


Figure 13. Directions de courant in-situ suivant le transit TRCODK du 07 au 14 Juillet 2005
In-situ currents direction from TRCODK transit from 07 to 14 July 2005

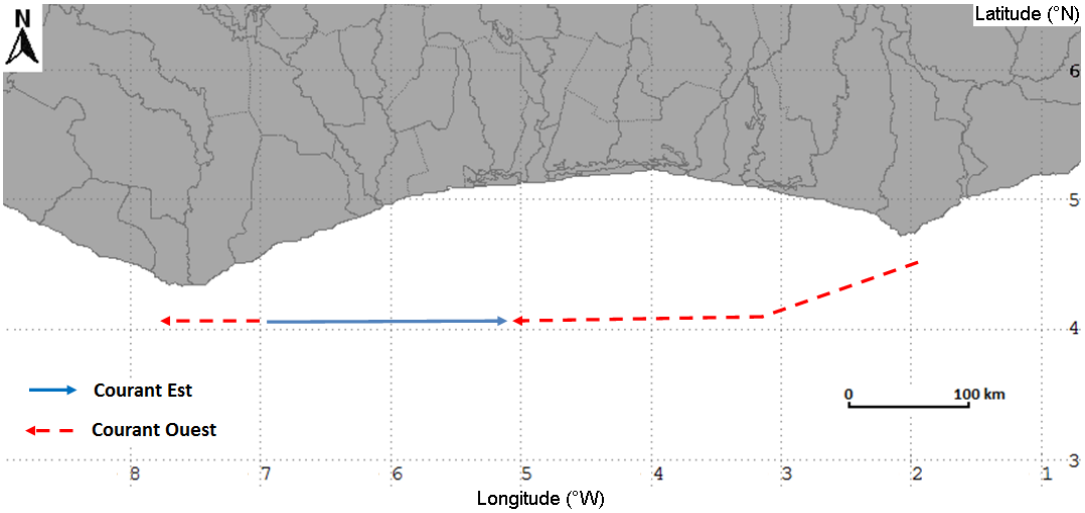


Figure 14. Directions de courant in-situ suivant le transit TRCOTON du 08 au 23 Juillet 2006
In-situ currents direction from TRCOTON transit from 08 to 23 July 2006

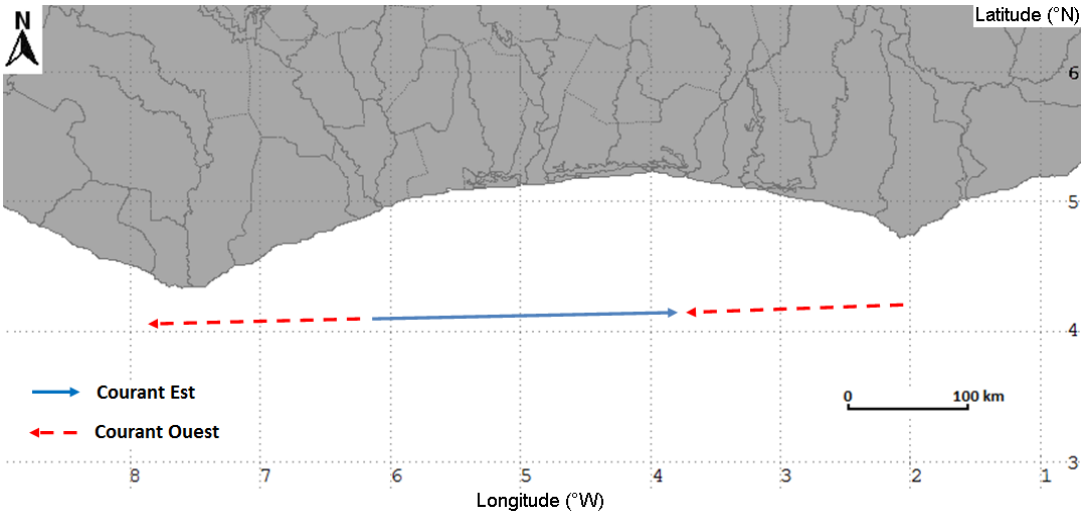


Figure 15. Directions de courant in-situ suivant le transit TRDKCO du 24 au 31 Août 2005
In-situ currents direction from TRDKCO transit from 24 to 31 August 2005

La figure 16 est le schéma de circulation du courant de surface suivant le transit TRCOLS qui s'est déroulé du 6 au 22 octobre 2005 de Cotonou (Bénin), Golfe de Guinée, à la Seyne sur Mer (France), Méditerranée. Cette figure présente à partir des données *in situ*, dans le mois d'Octobre (Transition), un courant de surface portant vers l'Ouest comme l'indiquent les résultats de nos travaux dans la période de Transition.

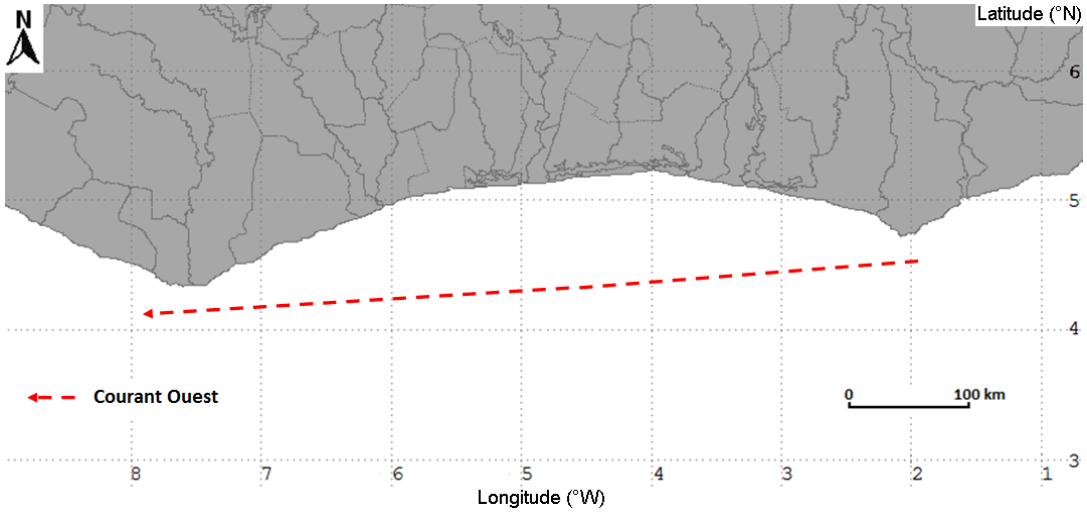


Figure 16. Directions de courant in-situ suivant le transit TRCOLS du 05 au 22 Octobre 2005
In-situ currents direction from TRCOLS transit from 05 to 22 October 2005

Les courants obtenus par les données *in situ* ont des points de convergence différents de celui que nous avons obtenus. Ces courants sont par endroit divergents et se présentent sur toute la surface du littoral ivoirien. La variation dans l'espace des points de convergence ainsi que les points de divergence entre les courants des données *in situ* et ceux de nos travaux pourraient être dus au fait que les données *in situ* étant ponctuelles, elles ne permettent pas d'observer de façon continue ces courants dans l'espace, de sorte que la limite de séparation des courants de sens opposé ne peut qu'être imprécise. Par contre, les données satellitaires, en permettant d'avoir une vue synoptique, génèrent des courants répartis sur l'ensemble de la couverture de l'image. Ce qui permettrait de mieux affiner la limite entre les courants de sens opposé. Il faut aussi noter que ces mesures *in situ* n'ont pas été réalisées tout à fait au niveau de la côte (au large).

Malgré la différence observée au niveau des points convergence des courants, on note que les données *in situ* (même éloignées des côtes) et nos résultats présentent des concordent qui permet d'émettre l'hypothèse de la présence simultanée de deux courants convergeant à la surface du plateau continental ivoirien pendant la Grande saison Froide, la période de transition et la Petite Saison Chaude.

5. DISCUSSIONS

L'image du mois de Février 2007 qui représente la PSF permet de mettre en évidence dans la partie ouest du littoral un courant de surface portant vers l'Est qui semble être le courant de Guinée avec une vitesse moyenne d'environ 0,3 m/s. Cette vitesse est similaire à celle obtenue par Lemasson et Rebert en 1973 su le littoral ivoirien qui est de 25,5 m/s. Aussi Colin et *Al.* en 1993 décrivent sur le plateau continental ivoirien la présence du courant de Guinée qui porte vers l'Est.

Les images des mois de Mai 2005 et Juin 2003 représentant la GSC mettent en évidence un courant de surface portant vers l'Est avec une vitesse moyenne d'environ 0,2 m/s qui semble être le courant de Guinée. La vitesse obtenue apparaît plus faible que celle d'environ 0,5 m/s pour le courant de Guinée mentionnée par Lemasson et Rebert (1973) pendant la GSC. Colin et *Al.* (1993) indiquent que de Mars à Juin le courant de Guinée est bien développé à la surface du littoral ivoirien. La différence de vitesse entre nos travaux et ceux de Lemasson et Rebert pourrait être due à la différence d'échantillonnage (données *in situ* ponctuelles utilisées par Lemasson et Rebert et satellitaire spatiales utilisées dans nos travaux).

Les mois de Juillet 2003, Juillet 2007 et Septembre 2007 sont les mois représentatifs de la GSC. Les images de ces mois mettent en évidence deux courants de sens opposés à la surface du littoral dont l'un porte vers l'Est avec une vitesse moyenne d'environ 0,7 m/s en Juillet (début de GSF) et d'environ 0,5 m/s en septembre (fin de GSF). L'autre courant porte vers l'Ouest avec une vitesse moyenne d'environ 0,6 m/s en Juillet et en Septembre. La zone de rencontre des deux courants évolue de l'Ouest (après 6° de longitude Ouest) vers l'Est (avant 6° de longitude Ouest) du début de la GSF à la fin de la GSF. Le courant portant vers l'Est serait le courant de Guinée et celui portant vers l'Ouest pourrait être le contre courant de Guinée. En effet, Lemasson et Rebert (1973) décrivent pendant la GSF, le courant de Guinée

(Ouest-est) sur le plateau continental ivoirien avec une vitesse moyenne d'environ 0,7 m/s en Juillet et 0,2 m/s en Août-Septembre. Ils décrivent aussi le contre courant de Guinée mais en subsurface avec une vitesse moyenne d'environ 0,4 m/s en Juillet et 0,2 m/s en Août-Septembre. Colin et *al.*, (1993) quand à eux décrivent en Août-Septembre et en surface un courant Ouest-Est (courant de Guinée) et un courant Est-Ouest (contre courant de Guinée) fort et bien développé. Ces différences de vitesses moyennes entre les deux courants décrits dans notre étude et ceux décrits par Lemasson et Rebert (1973) pourraient être dues d'abord à la grande différence de temps qui sépare les deux études, ensuite aux types de données utilisés pour chaque étude et enfin au manque de données sur le courant du mois d'Août dans notre étude.

L'image du mois d'Octobre 2006 qui représente la période de Transition montre à la surface du littoral deux courant opposés dont l'un porte vers l'Est (courant de Guinée) avec une vitesse moyenne d'environ 0,5 m/s et l'autre porte vers l'Ouest (contre courant de Guinée) avec une vitesse moyenne d'environ 0,3 m/s. Dans cette période, les deux courants se rencontrent dans l'Est du littoral avant 5° de longitude Ouest. Lemasson et Rebert (1973) décrivent pendant la période de transition un courant de Guinée nul en surface et un contre courant de Guinée en subsurface avec une vitesse moyenne de 0,4 m/s. La différence de ces résultats avec les nôtres pourrait être due au fait que ces résultats ont été obtenus à partir de données *in situ* qui sont éparses. Colin et *al.*, (1993) indiquent en octobre un courant portant vers l'Ouest qui occupe intégralement le plateau continental ivoirien. Nos travaux pourraient donc confirmer l'existence du contre courant de Guinée en plus du courant de Guinée à la surface du littoral ivoirien pendant le mois d'Octobre comme annoncé par ces auteurs.

Les images des mois de Novembre 2003, 2004 et 2007 qui représentent la PSC mettent en évidence tout le long du littoral, un courant portant vers l'Ouest avec une vitesse moyenne d'environ 0,6 m/s. Lemasson et Rebert (1973) décrivent au mois de Novembre (PSC) le courant de Guinée avec une vitesse moyenne d'environ 0,3 m/s en surface et toujours en subsurface le contre courant de Guinée avec une vitesse moyenne d'environ 0,2 m/s. Colin et *al.* (1993) indique encore en Novembre un courant Est-Ouest (le contre courant de Guinée) qui occupe intégralement le plateau continental ivoirien. Nos résultats en accord avec ceux de Colin et *al.* (1993), nous semblent mettre en évidence le contre courant de Guinée (Est-Ouest) en surface sur tout le littoral au cours de la PSC.

6. CONCLUSION

Notre étude a montré que la technique du maximum de corrélation croisée est applicable à des images de couleur de l'océan (concentrations de chlorophylle) du golfe de Guinée en général et du littoral ivoirien en particulier pour estimer les courants de surface, et ce malgré une couverture nuageuse très importante.

Elle nous a permis d'estimer la vitesse des courants côtiers ainsi que leur direction pendant les quatre saisons marines de l'année. Un courant de surface orienté vers l'Est d'une intensité variant de 0,2 à 0,7 m/s suivant les saisons marines a été mis en évidence. Ce courant serait le courant de Guinée. Aussi un contre courant de surface orienté vers l'Ouest d'une intensité variant de 0,3 à 0,8 m/s a été mis en évidence au cours de la de Grande saison froide, de la période de Transition et de la Petite Saison Chaude. Ce courant opposé au courant orienté vers l'Est, le rencontrerait en différente zones évoluant de l'Ouest à l'Est du littoral, du début de la Grande Saison Froide (Juillet) à la période de Transition (Octobre). Ensuite ce courant occuperait tout le littoral ivoirien au cours de la Petite saison Chaude. Le courant de surface orienté vers l'Ouest semblerait être le contre courant de Guinée qui est connu comme se manifestant en subsurface. Ainsi nos résultats couplés aux résultats des données *in situ* et aux résultats des auteurs précités (Colin et *al*., 1993) permettent d'émettre l'hypothèse que le contre courant de Guinée qui s'opère en général en subsurface peut apparaître en surface. Ils permettent aussi de montrer la complexité de la circulation océanique sur le plateau continental ivoirien particulièrement à partir de la Grande Saison Froide.

Il ressort de notre étude qu'il reste encore beaucoup de travaux à réaliser pour mieux connaître la circulation du littoral ivoirien. Ainsi il conviendrait de traiter bien plus de scènes MODIS, en particulier des mois de Janvier, Mars, Avril, Août et Décembre où l'absence total de données à créé une lacune dans la connaissance du courant surtout entre la Petite Saison Chaude et la Petite Saison Froide. Traiter plus de scènes permettra éventuellement de confirmer nos résultats et donner une idée précise de la variabilité saisonnière des courants. Aussi après la confirmation de la présence en surface du contre courant de Guinée et la localisation plus précise des zones de rencontre des deux courants, nous entreprendrons des études pour connaître les phénomènes responsables de la remontée en surface et ceux qui ont cours au niveau des zones de rencontres.

Remerciements

Au terme de cette étude nous tenons à exprimer notre gratitude au Professeur Willian J. EMERY et à toute son équipe, en particulier le Dr Daniel G. BALDWIN et Roger I. CROCKER du Colorado Center for Astrodynamics Research (CCAR) de l'université de Colorado à Boulder. Ils nous assisté dans la conception du programme pour l'extraction de la concentration de chlorophylle, et nous ont fourni le programme pour la production des vecteurs de courant de surface à partir de la technique de maximum de corrélation croisée.

Bibliographie

Aka, K., (1991) La sédimentation au quaternaire sur la marge de Côte d'Ivoire: Essais de modélisation. Thèse de Doctorat Ès Sciences Naturelles, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 233p.

Bakun, A. (1978) Guinea Current Upwelling. Nature, vol. 271, p. 147-150.

Binet, D. (1997) Climate and pelagic fisheries in the Canary and Guinea currents 1964-1993: The role of Trade Winds and the Southern Oscillation. Oceanologia Acta, vol. 20, p. 177-190.

Bowen, M. M., Emery, W. J., Wilkin J. L., Tildesley, P. C., Barton, I. J., and Knewtson, r. (2002) Extracting multiyear surface currents from sequential thermal imagery using the maximum cross-correlation technique. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 19, n°10, p. 1665-1676.

Colin, C., Gallardo, Y., Chuchla, R. et Cissoko, S. (1993) Environnements climatique et océanographique sur le plateau continental de la Côte d'Ivoire. P. 75-110 in P. LeLoeuf, E. Marshal et J-B. A. Kothias (réd) Environnement et ressources aquatiques en Côte D'Ivoire : I-Le milieu marin, Paris, ORSTOM, 588 p.

Crocker, R.I. (2007) Computing Coastal Ocean Surface Currents from Infrared and Ocean Color Satellite Imagery: Methodology, Application, and Analysis. Master of Science Department of Aerospace Engineering Sciences University of Colorado, Boulder, 68 p.

Crocker, R., Matthews, D., Emery, W. and Baldwin, D. (2007) Computing Coastal Ocean Surface Currents From Infrared and Ocean Color Satellite Imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 45, n°2, p. 435-447.

Emery, W., Thomas, A., Collins, M., Crawford, W. and Mackas, D. (1986) An objective method or computing advective velocities from sequential infrared satellite images. Journal of Geophysical Research, vol. 91, n°C11, p. 12865-12878.

Emery, W., Fowler, C. and Clayson, A. (1992) Satellite-image-derived Gulf Stream currents compared with numerical model results. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 9, p. 286-304.

Emery, W., Baldwin, D., and Matthews, D. (2003) Maximum cross correlation automatic satellite image navigation and attitude corrections for open ocean image navigation, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 41, n°1, p. 33-42.

Emery, W., Matthews, D. and Baldwin, D. (2005) Mapping Surface Currents with Satellite imagery and Altimetry. Environmental Research, Engineering and Management, vol. 32, n°2, p. 25-29.

Garcia, C. and Robinson, I. (1989) Sea surface velocities in shallow seas extracted from sequential Costal Zone Colour Scanner Satellite Data. Journal of Geophysical Research, vol. 94, n°C9, p. 12681-12691.

Hisard, P., Henin, C., Houghton, R., Piton, B. and Rual, P. (1986) Oceanic conditions in the tropical Atlantic during 1983 and 1984. Nature, vol. 322, p. 243-245.

Ingham, M.C. (1970) Coastal upwelling in the north-western gulf of Guinea. Bulletin of Marine Science, vol. 20, p. 1-34.

Leese, J., Novak, C. and Clarke, B. (1971) An automated technique for obtaining cloud motion from geosynchromus satellite data using cross-correlation. J. Appl. Meteor, vol. 10, p. 110-132.

Longhurst, A. R. (1962) A review of the Oceanography of the Gulf of Guinea. Bulletin de l'Institut Afrique Noire, vol. 24, p. 633-663.

Lemasson, L. et Rebert, J-P. (1973) Courants marins dans le golfe ivoirien. Série Océanographique, Cahier ORSTOM, vol. 11, n°1, p. 67-95.

Molière, A. (1970) Les saisons marines devant Abidjan. Documents Scientifiques Centre de Recherche Océanographique Abidjan, vol. 1, n°2, p. 1-15.

Prasad, J., Rajawat, A., Pradhan, Y., Chauhan, O. and Nayak, S. (2002) Retrieval of sea surface velocities using sequential Ocean Colour Monitor (OCM) data. Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Earth and Planetary Sciences), vol. 111, n°3, p. 189-195.

Tokmakian, R., Strub, P. and McClean-Padman, J. (1990) Evaluation of the Maximum Cross-Corralation Method of Estimating Sea Surface Velocities from satellite images. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, vol. 7, p. 852-865.

Varlet, F. (1958) Le régime de l'atlantique près d'Abidjan (Côte D'Ivoire). Essai d'océanographie littorale, Etude Eburnie, vol. 7, p. 97-222.