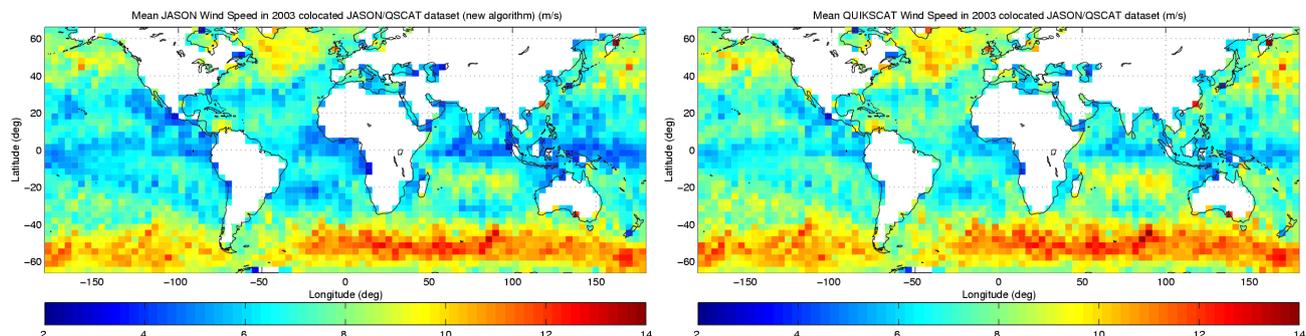


Algorithmes de vent et période moyenne des vagues JASON à base de réseaux de neurones



A l'attention de : Mlle Sylvie LABROUE : CLS

	Fonction	Nom	Signature	Date
Préparé par	Ingénieur de recherche	Fabrice COLLARD		-
Approuvé par	Chef de projet	Vincent KERBAOL		-
Autorisé par	Responsable scientifique	Fabrice COLLARD		-

Notification de la réception des travaux *

Lots	Désignation	Délivrables	signature	Date
------	-------------	-------------	-----------	------

* Cette page doit être retournée, préalablement datée et signée, par courrier à la société BOOST Technologies dans un délai de 30 jours suivants la date de livraison du présent document. En l'absence de retour au terme de ce délai, la notification de la réception par le client sera implicitement considérée sauf avis contraire dûment exprimé par courrier.



Brest, Operational Observation, Systems & Technologies

www.boost-technologies.com
 contact@boost-technologies.com
 T +33 (0)2 29 00 23 02
 F +33 (0)2 29 00 21 24

135, rue Claude Chappe
 29280 Plouzané
 SAS au capital social de 40 000 euros
 RCS Brest 444 381 768 - APE 742C



Algorithmes de vent et période moyenne des vagues
JASON à base de réseaux de neurones

Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	3		

Bordereau d'indexation

Client	CLS	Prestation No	-			
Informations de confidentialité		Gestion document				
Société / Programme		Defense				
Non protégé		Non protégé <input checked="" type="checkbox"/>				
Reservé <input type="checkbox"/>		Diffusion limitée <input type="checkbox"/>				
Confidentiel <input type="checkbox"/>		Confidentiel Defense <input type="checkbox"/>				
Document Contractuel		Projet No		Lot de travaux		
Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/>		Vent Période JASON		-		
Algorithmes de vent et période moyenne des vagues JASON à base de réseaux de neurones						
Résumé						
-						
Document						
Nom de fichier		Jason_vent_periode_v3.pdf	Nb de pages	33		
Projet		Vent Période JASON	Nb de tableaux	0		
Logiciel		pdfT _E X	Nb de figures	22		
Langue		Francais	Nb d'annexe	6		
Référence du document						
Interne		BO-021-CLS-0407-RF	Version	1	Date	17/11/04
Externe		-	Révision	0	Date	-
Auteur(s)		Verifié par		Autorisé par		
Fabrice COLLARD		Vincent KERBAOL		Fabrice COLLARD		



Algorithmes de vent et période moyenne des vagues
JASON à base de réseaux de neurones

Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	4		

Liste de diffusion

Interne	Externe	
Nom	Nom	Société / Organisation
Vincent KERBAOL	Ouan-Zan ZANIFE, Sylvie LA-BROUE	CLS



Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	5		

Etat du document

Algorithmes de vent et période moyenne des vagues JASON à base de réseaux de neurones

Version	Révision	Date	Raisons de révision
1	0	-	Version initiale

Etat des modifications

Version	Rev	Etat*	Pages modifiées	Raisons de modification
1	0	I	Toutes	Version initiale

* I=Inséré, S=Supprimé, M=Modifié



Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	7		

Table of contents

1. OBJECTIFS	8
2. JEUX DE DONNÉES UTILISÉS	9
2.1. JEU DE DONNÉES POUR L'APPRENTISSAGE DE L'ALGORITHME DE VENT	9
2.2. JEU DE VALIDATION POUR L'ALORITHME DE VENT ET D'APPRENTISSAGE POUR LA PÉRIODE MOYENNE DES VAGUES	11
3. MÉTHODOLOGIE	16
3.1. ALGORITHME VENT	16
3.2. ALGORITHME PÉRIODE MOYENNE	18
4. RÉSULTATS DE L'APRENTISSAGE	20
4.1. ALGORITHME VENT	20
4.2. ALGORITHME PÉRIODE MOYENNE	24
5. VALIDATION ET ESTIMATION DES PERFORMANCES	29
5.1. ALGORITHME VENT	29
5.2. ALGORITHME PÉRIODE MOYENNE	31
6. CONCLUSION	33



Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	8		

1. Objectifs

- Spécifier un algorithme pour la restitution du vent à partir du Sigma_0 et de la hauteur significative des vagues issus de la bande Ku de JASON.
- Initier un algorithme pour la restitution de la période à partir des mesures JASON

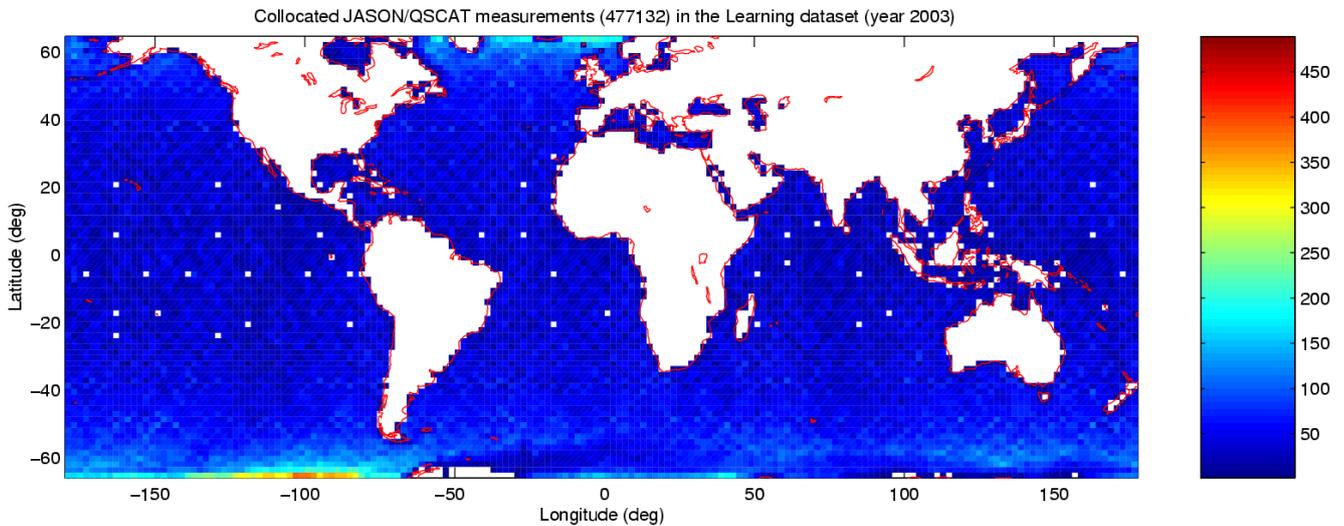


Figure 1. Distribution géographique des colocalisations JASON/QUIKSCAT utilisées

2. Jeux de données utilisés

2.1. Jeu de données pour l'apprentissage de l'algorithme de vent

Le jeu de données utilisé contient les mesures JASON de SWH et σ_0 colocalisées avec les mesures de vent QUIKSCAT sur l'ensemble du globe (cf. figure 1). La distance maximale entre mesures JASON et QUIKSCAT est de 50km et le décalage temporel maximal d'une heure. Ce jeu de données est issu de la co-localisation effectuée au CERSAT/IFREMER. Les données JASON utilisées sont les produits GDR pour 2003 et IGDR pour 2004. La mesure SWH est décorrigée des corrections instrumentales puis recorrigée selon la table de correspondance suivante :

Significant Wave height (m) correction

0.25	0.0
0.50	0.0
0.75	-0.014477
1.00	-0.058738
1.25	-0.098666
1.50	-0.131067
1.75	-0.157124
2.00	-0.177216
2.25	-0.19259
2.50	-0.204687



Algorithmes de vent et période moyenne des vagues
JASON à base de réseaux de neurones

Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	10		

2.75	-0.214413
3.00	-0.222581
3.25	-0.229732
3.50	-0.23542
3.75	-0.240476
4.00	-0.244483
4.25	-0.248026
4.50	-0.250989
4.75	-0.253277
5.00	-0.254673
5.25	-0.256077
5.50	-0.256585
5.75	-0.257289
6.00	-0.257208
6.25	-0.256914
6.50	-0.256311
6.75	-0.255919
7.00	-0.25472
7.25	-0.253914
7.50	-0.25252
7.75	-0.250302
8.00	-0.248892
8.25	-0.246776
8.50	-0.245162
8.75	-0.242839
9.00	-0.240812
9.25	-0.238196
9.50	-0.236395
9.75	-0.234039
10.00	-0.231272
10.25	-0.228159
10.50	-0.225514
10.75	-0.222391
11.00	-0.219758
11.25	-0.216723
11.50	-0.213993
11.75	-0.210597
12.00	-0.206541

Les algorithmes développés dans le cadre de cette étude utilisent directement la valeur de Sigma_0 sans application du biais de -2.26 dB entre les mesures en bande Ku de JASON et Topex.

L'utilisation des données de vent Quikscat comme référence dans l'apprentissage du vent JASON se justifie par le grand nombre de mesures permettant des collocalisations avec JASON. La répartition géographique se révèle également excellente. Néanmoins, cette 'mesure' Quikscat utilise un modèle de rétrodiffusion qui relie l'intensité de l'écho radar à la vitesse du vent à 10m pour une direction donnée. Ce modèle reste imparfait.



Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	11		

Les mesures des bouées sont, elles, bien moins nombreuses mais constituent une vérité terrain de confiance à priori supérieure. Une rapide analyse comparative des vents bouée par rapport aux vent Quikscat sur la période 2002-2003 (figure 2) révèle l'existence d'un biais faible mais non négligeable entre les mesures bouées et diffusiomètre. La même analyse sur l'ensemble des bouées NDBC et certaines bouées françaises et anglaises indiquent une surestimation moyenne de 0.4 m/s du vent mesuré par le diffusiomètre Quikscat. L'existence d'un biais global de 0.67 m/s entre le vent Quikscat et les analyses du vent du modèle ECMWF (cf figure3) confirme ce biais possible sur les vents Quikscat pour réaliser l'apprentissage du réseau.

La sélection du jeu de données d'apprentissage parmi le jeu de collocalisation JASON/QUIKSCAT total a été réalisée selon les critères suivants :

1. Elimination des mesures JASON et QUIKSCAT éloignées de plus de 12km. Ce critere a été fixé en constatant la forte diminution avec l'écart de distance de la dispersion des valeurs de vent en fonction du $\sigma_0 Ku$. L'écart temporel d'une heure a été conservé.
2. Elimination des valeurs de $\sigma_0 Ku$ flaguées pluie ou glace.
3. Elimination des valeurs de hauteur significative de vagues ($Swh Ku$) supérieures à 12m
4. Elimination des valeurs de Vent QUIKSCAT supérieures à 30m/s
5. Elimination des valeurs de $\sigma_0 Ku$ supérieures à 17 dB

La figure 4 présente le jeu de données issue de la colocalisation JASON/QUIKSCAT après ces premiers critères. Certaines valeurs de $\sigma_0 Ku$ restent encore trop lointaines et un filtrage est appliqué pour éliminer certaines valeurs hors cadre correspondantes à :

$$8.5 + (.11 * \exp(4 - (Swh/3))) < \sigma_0 Ku < 10 + (.11 * \exp(5.8 - (Swh/3)))$$

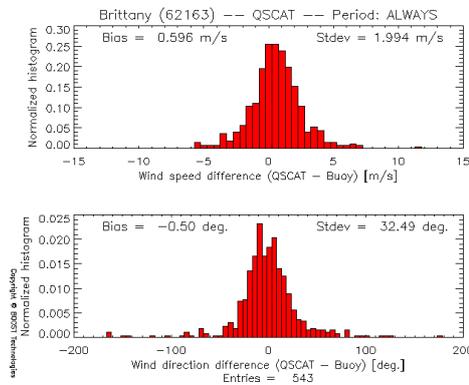
les figures 5 et 6 présentent, apres filtrage des $\sigma_0 Ku$ hors cadre, le jeu de données d'apprentissage selectionné sous forme de relations triples, $\sigma_0 Ku$, H_s et U_{10} et de densité de points.

2.2. Jeu de validation pour l'algorithme de vent et d'apprentissage pour la période moyenne des vagues

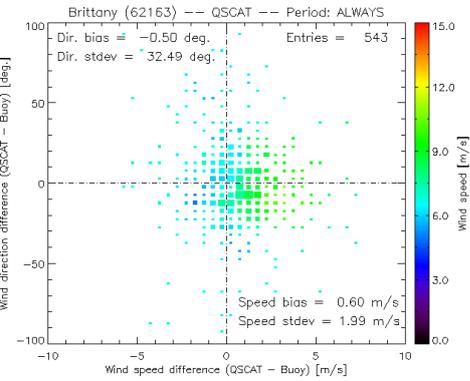
Le jeu de données de validation est issu d'une co-localisation entre les données JASON et des données de vitesse de vent ramené à 10m, période et hauteur significative des vagues enregistrées par des bouées françaises, anglaises et américaines. La validation de l'algorithme de restitution de la vitesse du vent est effectuée en estimant les performances sur ce jeu de données indépendantes des mesures QUIKSCAT. Les mesures bouées sont moins nombreuses que les mesures satellite mais permettent de calculer un biais, un écart type et un coefficient de corrélation avec l'estimation de vitesse du vent issue du réseau de neurone optimal. La répartition géographique des bouées utilisée est illustrée sur la carte de la figure 7.

Ce jeu de données est également issu d'une co-localisation réalisée au CERSAT/IFREMER. Les données JASON utilisées sont les produits GDR pour 2003 et IGDR pour 2004. La selection du jeu de données retenu parmi le jeu de collocalisation JASON/Bouées total a été réalisée selon les criteres suivants :

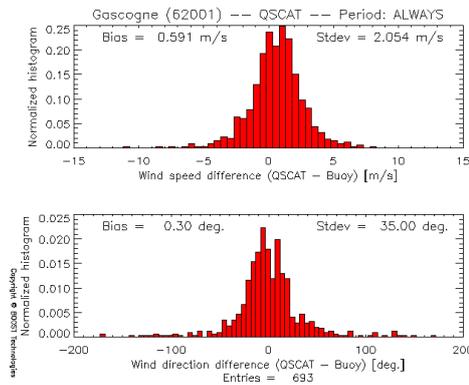
1. Elimination des mesures JASON éloignées de plus de 25km des bouées . L'écart temporel d'une heure a été conservé.



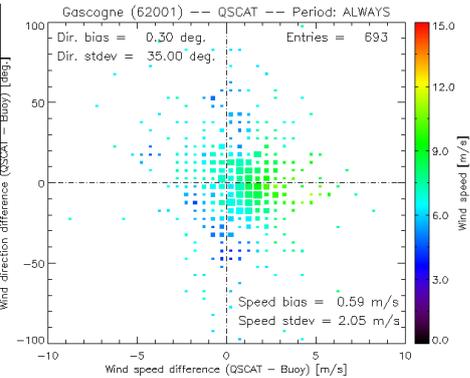
(a)



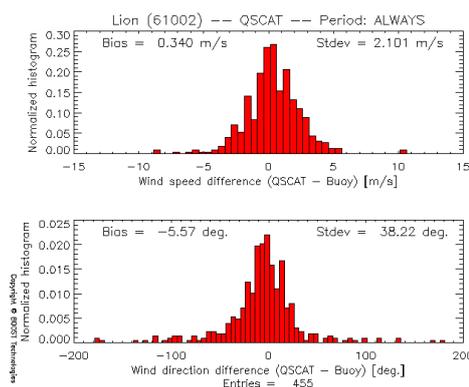
(b)



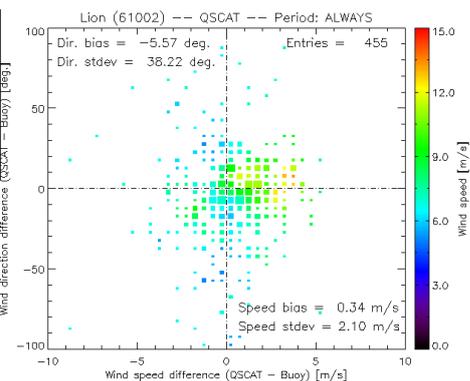
(c)



(d)



(e)



(f)

Figure 2. Histogrammes des différences de vent à 10m QUIKSCAT/bouées pour les bouées a),b) : Brittany(62163), a),b) :Gascogne(62001) et a),b):Lion (61002).

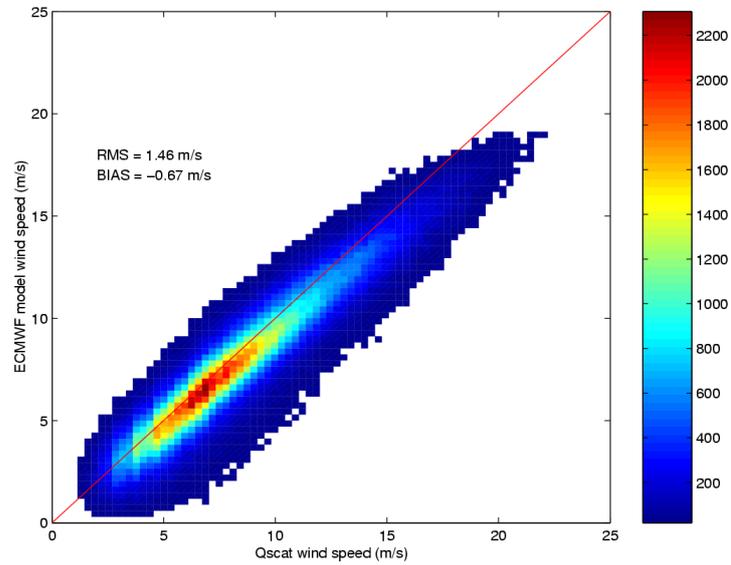


Figure 3. Comparaison des valeurs de vitesses de vent U_{10} des analyses ECMWF et du diffusiomètre QUIKSCAT

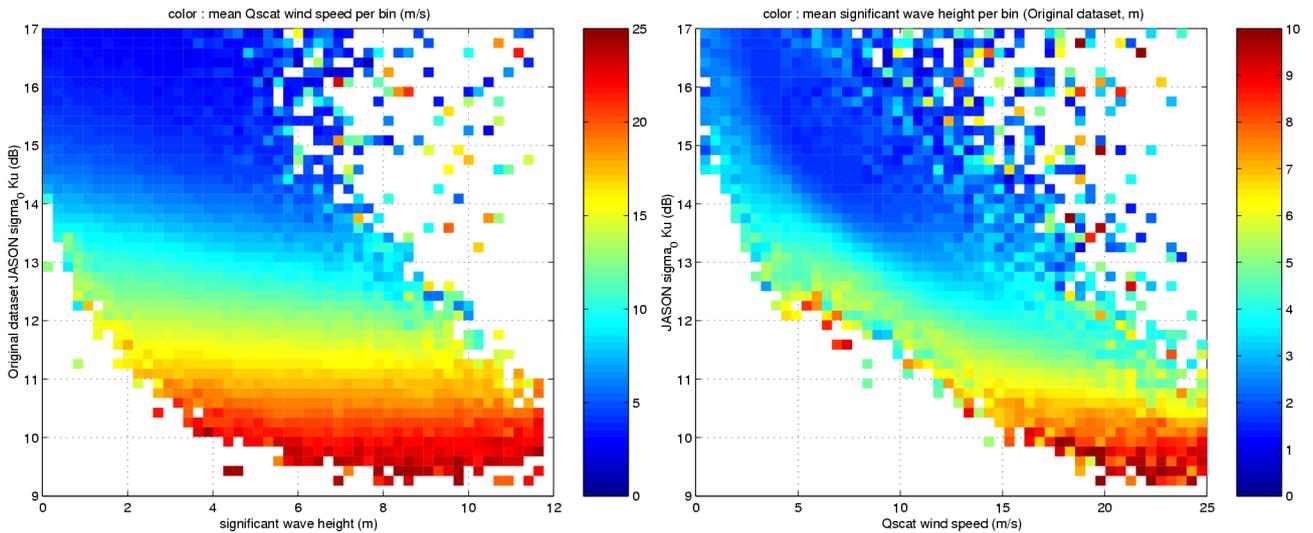


Figure 4. Distribution des H_s et U_{10} de données colocalisées JASON/QUIKSCAT

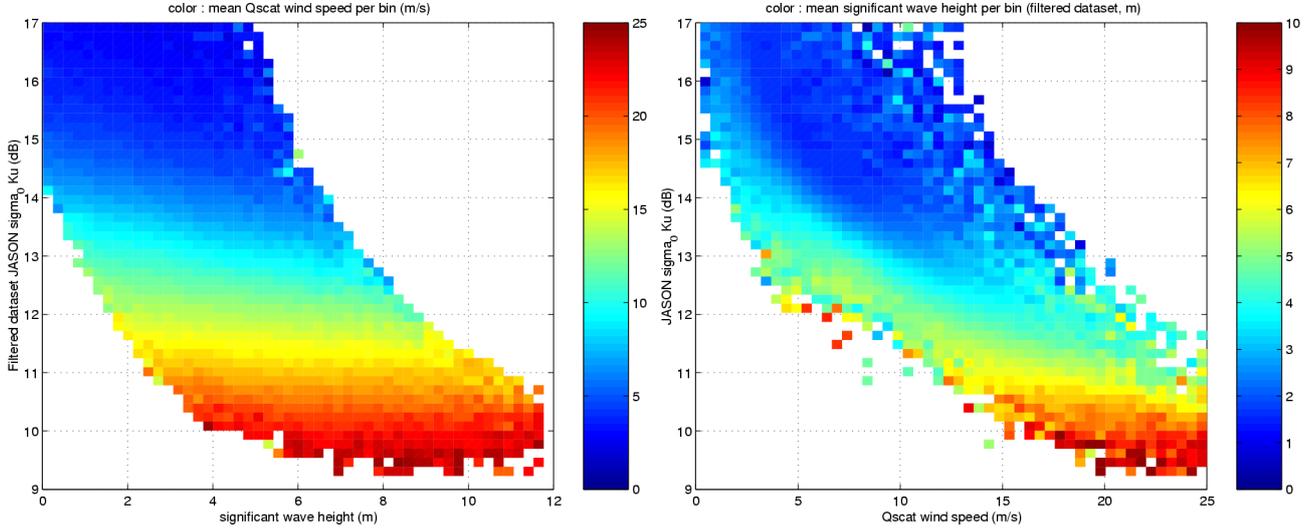


Figure 5. Distribution des H_s et U_{10} du jeu d'apprentissage filtré

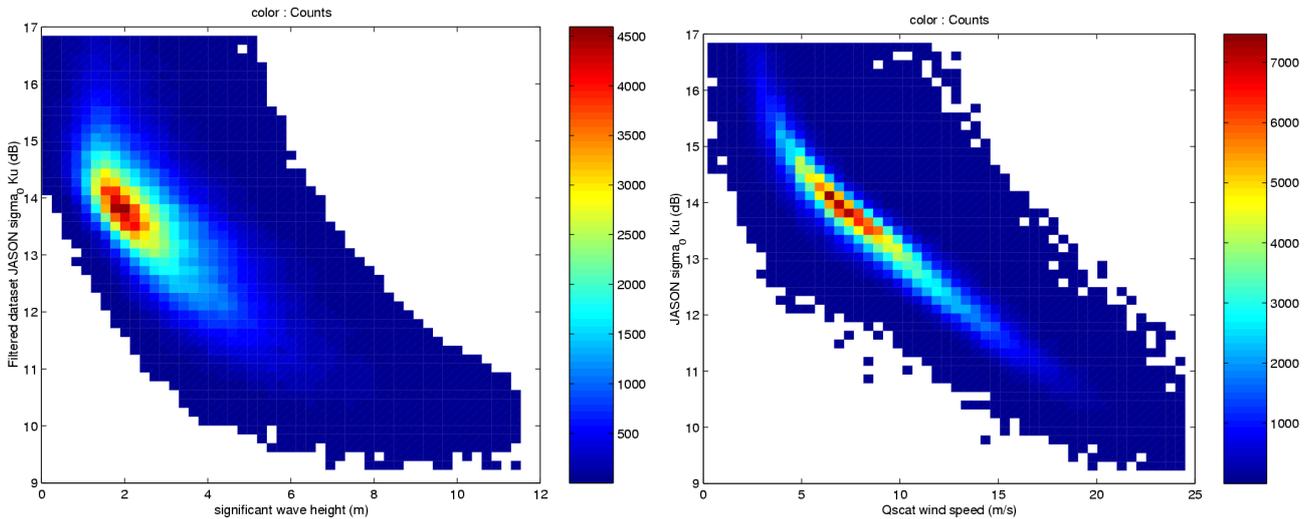


Figure 6. Histogrammes des valeurs d'entrée du jeu d'apprentissage filtré

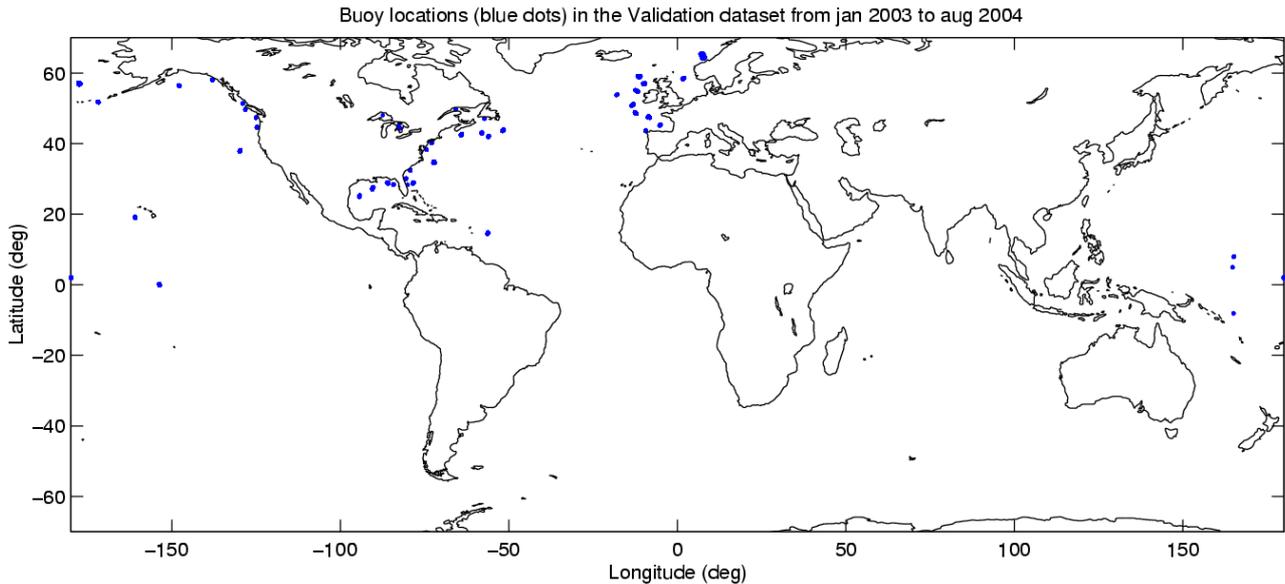


Figure 7. Position des bouées (points bleus) utilisées pour la validation de l'algorithme de vent et l'apprentissage de l'algorithme de période moyenne

2. Elimination des valeurs de $\sigma_0 Ku$ flaguées pluie ou glace.
3. Elimination des valeurs de hauteur significative de vagues (Swh Ku) supérieures à 12m
4. Elimination des valeurs de Vent bouée (ramené à 10m) supérieures à 30m/s
5. Elimination des valeurs de $\sigma_0 Ku$ supérieures à 17 dB
6. Elimination des valeurs de période moyenne non comprises entre 2 et 13 secondes

Ce jeu de données est également utilisé pour réaliser l'apprentissage de l'algorithme d'estimation de la période moyenne des vagues.

Une deuxième validation indépendante de l'algorithme de vent est également effectuée en comparant avec des analyses de vents du modèle européen ECMWF fournies dans le produit de co-localisation JASON/QUIKSCAT

3. Méthodologie

3.1. Algorithme vent

La mesure de Sigma_0 est au premier ordre une mesure inversement proportionnelle à la variance des pentes des vagues. Sous l'action du vent, cette variance augmente et la mesure de Sigma_0 décroît. Pour des situations météorologiques suffisamment stationnaires en temps et espace, la hauteur significative Sw_h croît avec le carré de la vitesse du vent. La variance des pentes augmente plus lentement, en logarithme avec la vitesse du vent.

Toutefois, les états de mer ne sont pas échantillonnés à leurs points d'équilibre, i.e. égalité entre vitesse du vent et vitesse des vagues principales. De plus, les états de mer sont généralement composés de plusieurs systèmes, avec une superposition d'une mer levée sous l'action du vent local et houle(s) résiduelle(s) générée(s) depuis des centaines de kilomètres. Selon une hypothèse Gaussienne, les hauteurs significatives et les variances des pentes de ces mers composites s'ajoutent, i.e. la mesure Sw_h est augmentée et celle de Sigma_0 diminuée. Toutefois, les houles résiduelles se caractérisent généralement par des cambrures faible 0(.05) et des variances de pentes faibles 0(.0025). Sigma_0 ne devrait donc être affecté qu'aux vents les plus faibles. Les variations aux vents modérés à forts sont plutôt affectées par le degré de développement (âge) de l'état de mer.

Selon le jeu de données disponibles, les triplets (u, Sw_h, Sigma_0) permettent l'analyse de ces phénomènes. A partir de la Figure 5, à vent donné, on observe bien que Sigma_0 varie et diminue avec l'augmentation (le développement) de la mer caractérisée par une augmentation de Sw_h. Des analyses en situation de croissance, cas Mistral dans le Golfe du Lion, ont révélé la même tendance. En utilisant un modèle d'évolution spectrale simple de type JONSWAP, on trouve pour l'augmentation de variance des pentes des vagues métriques et décimétriques, une règle grossière $mss \simeq .011 + .006 \log \frac{Sw_h}{.07}$ s'appliquant de manière similaire pour des vents différents de 7 m/s à 14 m/s. Cette dépendance vient de la relation $.47 * U / (g * Sw_h)^{.5} \simeq \text{âge}$. Selon cette approximation, la variation relative de Sigma_0 sera d'environ -1.3 dB pour des vents de 7 m/s à 14 m/s entre Sw_h=1 m et Sw_h = 4.5 m. L'analyse du jeu de données confirme ce type de variation.

Dans les cas de vents faibles, inférieurs à 3 m/s, les conditions sont dominées par un régime de houle, ou encore de phénomènes associés à la relaxation (chute du vent), pour lesquels la variance des pentes et la hauteur significative ne correspondent pas au vent local. Une faible mesure de Sigma_0 pour un vent co-localisé relativement faible est certainement la signature d'une évolution spatiale ou temporelle des conditions environnementales, qui garde une mémoire de l'état initial de génération. Dans le cas des vents faibles, il faut également certainement envisager un écart temporel plus petit pour ces conditions de vents faibles, par nature plus instationnaires. A partir du jeu étudiés, la mesure de Sw_h est toutefois un bon traceur de la décroissance de Sigma_0. Pour simplifier, les longueurs d'onde des mers résiduelles ne sont pas, en moyenne, proportionnelles aux amplitudes des élévations. Des houles de 2 m ou 3 m peuvent avoir les mêmes longueurs, et grossièrement la variation relative de Sigma_0 serait d'environ -2 db pour de telles situations. L'analyse ne confirme pas totalement ce type de variation.

Une autre illustration de cette analyse est de sélectionner l'ensemble des triplets particuliers (u, Sw_h, Sigma_0 = 13.3 ± .05 dB). La valeur 13.3 dB est choisie au hasard. Les occurrences normalisées des estimations du vent et de l'âge de la mer pour Sw_h = 2 ± .1 m et Sw_h = 4 ± .1 m sont présentées Figure 8 et 9. L'âge est défini

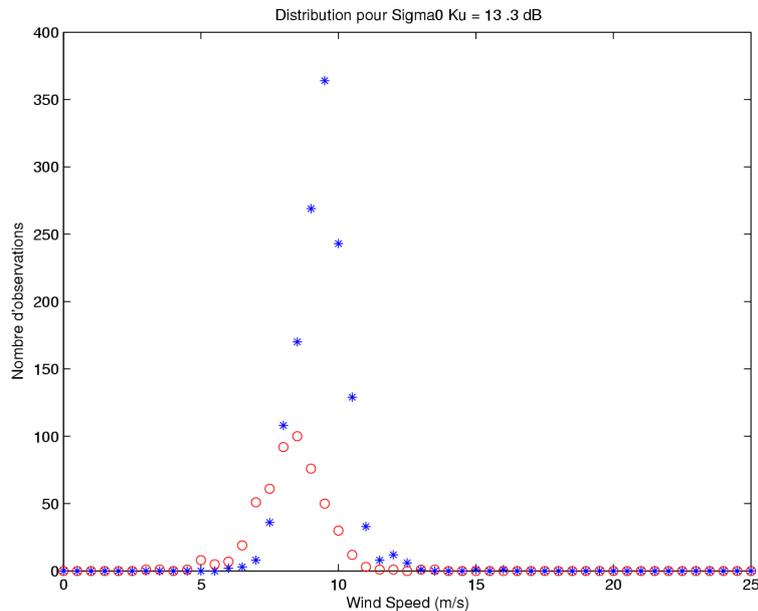


Figure 8. Distribution des données de vent QUIKSCAT pour Sw_h = 2 m, *, et Sw_h = 4 m, o

par la relation, $\hat{\text{âge}} = 0.47 * u / (g \text{ Sw}_h)^{-5}$. Pour Sw_h = 2 m, l'âge moyen est d'environ 1 pour un vent correspondant de 9.4 m/s. Pour Sw_h = 4 m, l'âge moyen est d'environ 0.6 pour un vent moyen 8.3 m/s. Pour information, l'écart-type des estimations de la vitesse du vent pour ces points est d'environ 1 m/s pour les deux cas. D'après cette analyse, le vent moyen pour ces deux Sw_h n'est pas tout à fait le même. Le vent est légèrement plus fort pour Sw_h = 2 m. Les situations d'équilibre sont en moyenne bien échantillonnées pour Sw_h = 2 m, alors qu'elles ont une occurrence très faible pour Sw_h = 4 m. En situation d'équilibre, le vent moyen de 8.3 m/s correspond à Sw_h = 1.5 m. Pour cette valeur de Sigma₀, Sw_h = 4 m correspond aux situations de mers surdéveloppées, avec très certainement la superposition d'une mer résiduelle à la mer de vent local. En prenant un algorithme simple sans se soucier de la valeur de Sw_h, on mesure Sigma₀ = 13.3 dB, et le vent altimètre est 9 m/s. Pour cet exemple, le gain d'inclure Sw_h apparaît faible mais significatif. Ce gain devrait être bien plus important si la donnée est acquise dans le Golfe du Mexique ou en Méditerranée. Pour ces bassins fermés, la valeur de Sw_h sera beaucoup plus pertinente. Si l'on mesure Sw_h = 2 m dans ces régions, c'est probablement la signature d'un vent plus fort. En effet, selon la loi empirique d'évolution spectrale de type JONSWAP, il faut environ 200 km de distance pour obtenir une situation équilibrée avec un vent homogène de 9 m/s.

A partir de ces discussions, on peut comprendre qu'un algorithme de restitution du vent d'un altimètre correspond à un choix sur la notion d'âge. Si l'on souhaite privilégier les mers jeunes, les vents restitués seront plus forts que les moyennes, l'inverse pour les mer surdéveloppées. Un algorithme performant au sens statistique correspondra à des solutions statistiques sur le choix du paramètre d'âge pour chaque intervalle de vitesse du vent. Par exemple, l'intuition permet d'anticiper que les mers sont généralement plus jeunes aux vents forts, excepté dans les régions du Pacifique Sud.

L'objectif de l'algorithme de restitution du vent est donc de corriger au mieux des variations de Sigma₀, en utilisant la signature apparente de la corrélation de ces variations avec celles de Sw_h. En l'absence d'un modèle théorique simple qui se heurte également au problème d'étalonnage absolu imparfait des mesures $\sigma_0 K u$, on

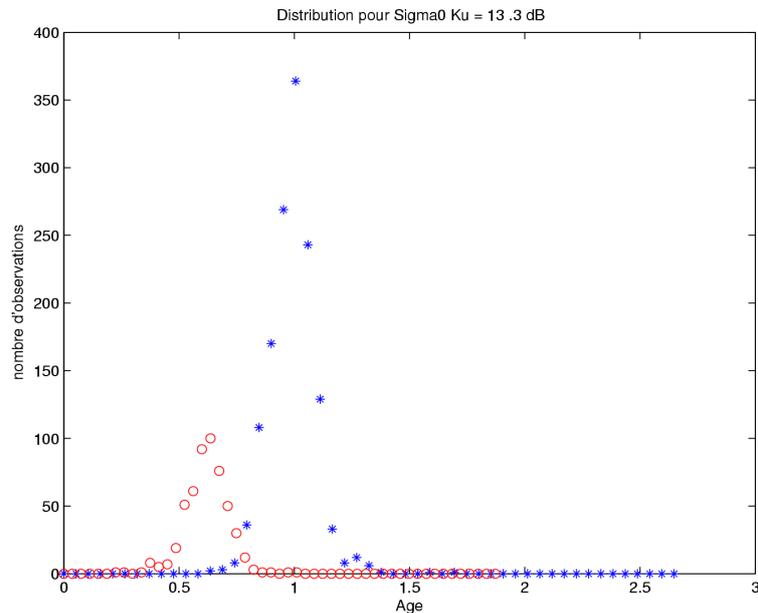


Figure 9. Distribution des données d'âge à partir des vents QUIKSCAT pour $S_{wh} = 2 \text{ m}$, *, et $S_{wh} = 4 \text{ m}$, o

utilise la technique des réseaux de neurones. Par cohérence, l'architecture du réseau est identique à celle déjà utilisée pour dériver l'algorithme de vent de TOPEX. Il s'agit d'un perceptron sans couche cachée constitué de deux neurones d'entrées et d'un neurone de sortie dont les fonctions de transferts sont des logsigmoides.

L'apprentissage du réseau est réalisé à partir d'un quadrillage régulier du jeu d'apprentissage. Pour chaque intervalle de $\sigma_0 Ku$ et de H_s , de largeur respective 0.1 dB et 0.2m, la valeur moyenne de vitesse de vent QUIKSCAT U_{10} est retenue en l'associant à la valeur de $\sigma_0 Ku$ et de H_s centrale. A condition de choisir un intervalle optimum, ce choix garanti la meilleure représentativité des différentes valeurs de $\sigma_0 Ku$ et de H_s rencontrées en ne focalisant pas l'apprentissage sur les conditions les plus fréquentes. Pour la phase d'apprentissage du réseau, la minimisation de la valeur quadratique moyenne des écarts entre la prédiction du réseau et la valeur à apprendre, s'initialise à partir de paramètres du réseau (biais, poids) qui sont tirés aléatoirement. La phase d'apprentissage est renouvelée un très grand nombre de fois. Pour chaque tentative, 50 itérations sont considérées afin de minimiser progressivement l'écart entre la prédiction du réseau et la valeur à apprendre. L'algorithme choisi au final est celui qui assure la meilleure comparaison globale entre le vent prédit et le vent appris.

3.2. Algorithme période moyenne

L'approche classique de la restitution d'une période estimée par un altimètre se fonde sur l'utilisation de S_{wh} , et Sigma_0 , pour déterminer les moments spectraux d'ordre 0 et 4. On peut alors définir une période (à la puissance 4) comme proportionnelle à $[\text{Sigma}_0 * S_{wh}^2]$.

Ce modèle simple se heurte à quelques difficultés. Sans parler des problèmes d'étalonnage absolu, Sigma_0 comprend une signature non négligeable des petites échelles qui ne sont pas intéressantes pour l'estimation



Algorithmes de vent et période moyenne des vagues
JASON à base de réseaux de neurones

Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	19		

d'une période. En d'autres termes, un moment d'ordre 4 donne un poids trop important aux échelles les plus petites. Idéalement, c'est un moment d'ordre 1 ou 2 qui permettrait une restitution directe de la période. Des constantes d'ajustement peuvent être trouvées, mais l'on comprend rapidement les limites de cette méthode.

Selon l'analyse proposée pour la restitution du vent, un autre type de développement peut être proposé. Les mesures combinées Sigma_0 et Swh d'un altimètre contiennent une information du degré de développement de l'état de la mer. Ce degré ou âge se caractérise par le rapport U/C_p , avec U vitesse du vent et C_p vitesse de propagation des vagues les plus énergétiques, i.e. les vagues correspondant au pic spectral. Selon la relation de dispersion des vagues de surface, on a $C_p = 1.56T_p$, avec T_p la période correspondant au pic spectral. A l'équilibre, on a donc tout simplement $T_p = .64U$. Pour une mer jeune, U/C_p est supérieur à 1, les couples (Sigma_0, Swh) se trouveront principalement au dessus de la courbe moyenne, et la période au pic sera plus faible. Pour une mer plus développée, U/C_p est inférieur à .8, les couples (Sigma_0, Swh) devraient se situer au dessous de la relation moyenne.

Pour les vents modérés à forts, pour lesquels la signature de la houle dans la mesure de Sigma_0 reste faible, la difficulté tient essentiellement à une séparation entre houle et mer du vent dans la mesure du Swh. Pour les vents faibles, la difficulté reste de reconnaître un vent faible malgré une mesure de Sigma_0 atténuée. Dans les deux cas, une connaissance a priori de la vitesse du vent serait idéale. Une estimation de la période revient alors plutôt à une estimation de l'âge et de la vitesse du vent.

Ce développement a déjà été entrepris pour les mesures TOPEX. La même approche a donc été conduite pour l'analyse des données JASON. L'âge étant lui même une fonction de la vitesse du vent et de la hauteur significative des vagues, le modèle de période moyenne proposé utilise en entrée la hauteur significative en bande Ku et le vent déduit de cette même variable et du σ_0 en bande Ku tel que décrit dans la section précédente.

4. Résultats de l'apprentissage

4.1. Algorithme vent

Etant donnée une paire $[\sigma_0, H_s]$ la fonction analytique obtenue pour l'estimation du vent à 10m U_{10} est donnée par les équations et tableaux suivants :

Paramètres	a	b
σ_0	-0.734615	0.096154
H_s	0.099184	0.067974
U_{10}	0.104300	0.026873

Table 1 : Coefficients de conditionnement des entrées et sorties du réseau.

Paramètres	coefficients	des matrices
W_x	-12.11704	-2.22813
	-9.67343	0.05460
W_y	1.40249	2.02079
B_x	7.65412	2.14857
B_y	-1.61301	...
P	$a_{\sigma_0} + b_{\sigma_0}\sigma_0$	$a_{H_s} + b_{H_s}H_s$

Table 2 : Coefficients du modèle de la vitesse moyenne de vent JASON.

$$U_{10} = \frac{Y - a_{U_{10}}}{b_{U_{10}}},$$

$$Y = \left[1 + \exp^{-(W_y X^T + B_y^T)} \right]^{-1},$$

$$X = \left[1 + \exp^{-(W_x P^T + B_x^T)} \right]^{-1},$$

Les valeurs de vitesses de vent prédites par ce modèle sont comparées sur la figure 11 aux valeurs du vent QUIKSCAT utilisées pour l'apprentissage. La même comparaison est présentée figure 10 pour le vent prédit par l'algorithme TOPEX (ou vent TOPEX). On note, outre la correction du biais, une claire amélioration de la restitution des vents forts. La saturation à vent faible est elle expliquée dans les deux cas par la nature de l'estimateur qui prédit un vent moyen pour une valeur de $\sigma_0 Ku$ et de H_s donnée et non une réalisation individuelle. La répartition géographique des écarts avec le vent QUIKSCAT (12) montre, en dehors du biais global de l'algorithme TOPEX, que les deux algorithmes surestiment le vent aux hautes latitudes qui sont des zones de houles fortes et le sous-estime légèrement dans les zones de vents faibles comme la ZCIT. Pour comparaison, les écarts pour le meme jeu de données entre le vent ECMWF et QUIKSCAT sont représentés géographiquement sur la figure (13)

Pour mieux se rendre compte de la contribution de la hauteur significative des vagues au vent restitué par le nouvel algorithme et l'algorithme TOPEX, la hauteur moyenne des vagues par bins de $\sigma_0 Ku$ et de vent moyen restitué est tracée sur la figure 14. Le nouvel algorithme améliore principalement la prise en compte de l'effet du H_s aux fortes valeurs $\sigma_0 Ku$ pour lesquelles les mers ne sont pas nécessairement jeunes, donc peu corrélées avec le vent et l'importance d'une bonne prise en compte du H_s .

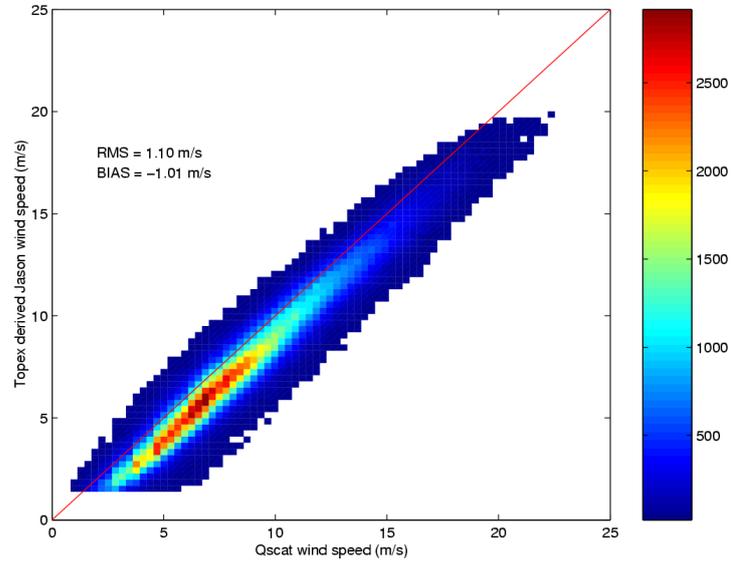


Figure 10. Comparaison des valeurs de vitesses de vent U_{10} de l'algorithme Topex et de QUIKSCAT

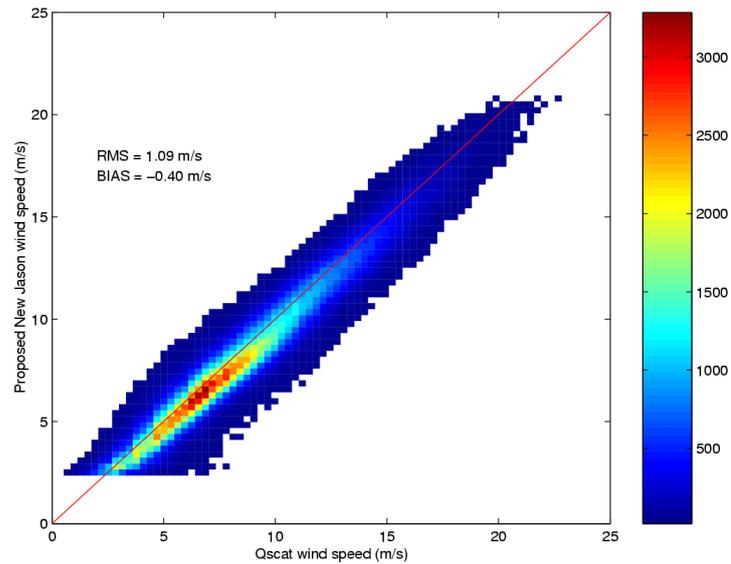


Figure 11. Comparaison des valeurs de vitesses de vent U_{10} du nouvel algorithme et de QUIKSCAT

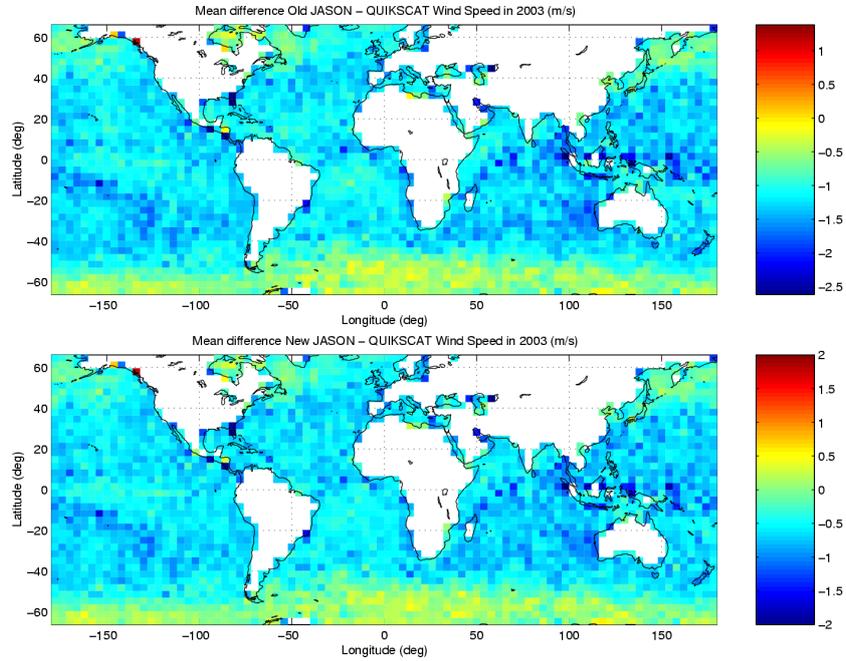


Figure 12. Répartition géographique des écarts de vitesse de vent U_{10} des algorithmes TOPEX(haut) et JASON(bas) avec le vent QUIKSCAT

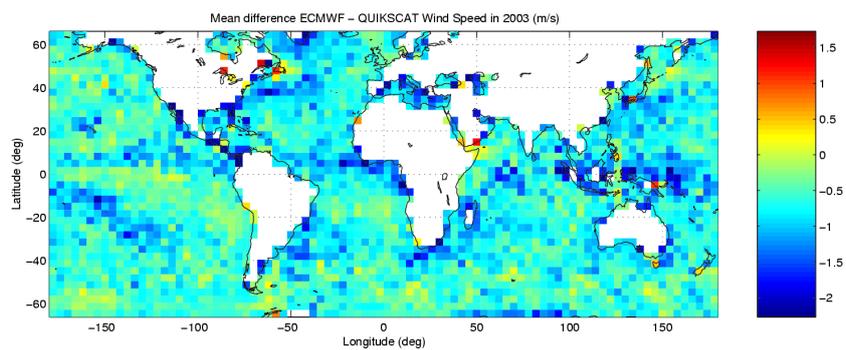


Figure 13. Répartition géographique des écarts de vitesse de vent U_{10} ECMWF et le vent QUIKSCAT ($U_{10ECMWF} - U_{10QSCAT}$)

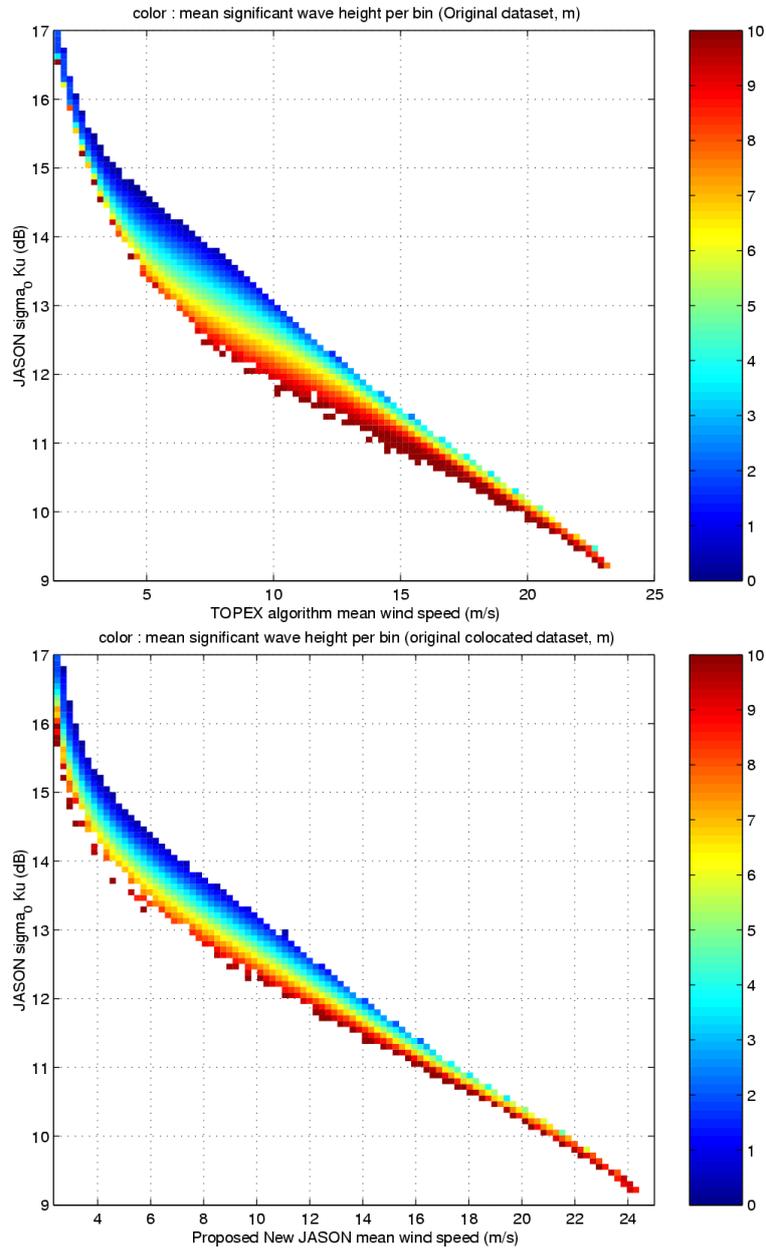


Figure 14. Contribution de la hauteur significative des vagues au $\sigma_0 Ku$ appris par l'algorithme TOPEX (haut) et le nouvel algorithme (bas)

La vérification statistique de la distribution des vitesses de vent prédites nécessite la connaissance de la densité de probabilité des vitesses de vent autour de leur valeur moyenne prédite. Pour cela un réseau de prédiction de la variance de la vitesse du vent pour une valeur de $\sigma_0 Ku$ et de H_s donnée a été utilisé. L'architecture et la méthode d'apprentissage de ce réseau sont identiques au réseau de prédiction de la vitesse moyenne. la fonction analytique obtenue pour l'estimation de la variance du vent à 10m U_{10} est donnée par les équations et tableaux suivants

Paramètres	coefficients	des matrices
W_x	9.58498	3.02333
	8.26366	1.37011
W_y	3.51762	-4.13592
B_x	-7.81797	-6.18681
B_y	-3.14734	...
P	$a_{\sigma_0} + b_{\sigma_0}\sigma_0$	$a_{H_s} + b_{H_s}H_s$

Table 3 : Coefficients du modèle de variance de la vitesse du vent JASON.

$$\sigma_{U_{10}} = \left(\frac{Y}{b_{U_{10}}} \right)^2,$$

$$Y = \left[1 + \exp^{-(W_y X^T + B_y^T)} \right]^{-1},$$

$$X = \left[1 + \exp^{-(W_x P^T + B_x^T)} \right]^{-1},$$

La fonction de densité de probabilité de la vitesse du vent altimètre peut alors être approchée en tirant une valeur aléatoire selon une loi gaussienne de moyenne et variance prédite pour chaque valeur de $\sigma_0 Ku$ et de H_s du jeu d'apprentissage. Les estimations de ces PDF pour les vents prédits à l'aide de l'ancien et du nouvel algorithme sont comparées avec l'histogramme des mesures diffusiomètre sur la figure 15. On peut constater que le nouvel algorithme conserve la statistique des vitesses de vent mesurées par le diffusiomètre QUIKSCAT. Pour comparaison avec le jeu de données initial, les réalisations individuelles du vent prédit par le nouvel algorithme sont comparées point par point aux vents QUIKSCAT (cf figure 16). Ces prédictions sont ensuite utilisées pour comparer avec la figure 5, l'observation de la contribution moyenne de la hauteur significative des vagues à la valeur de $\sigma_0 Ku$ pour un tirage aléatoire d'une valeur de vent U_{10} respectant la statistique apprise (cf figure 17).

4.2. Algorithme période moyenne

Etant donnée une paire $[H_s, U_{10jason}]$ la fonction analytique obtenue pour l'estimation du vent à 10m U_{10} est donnée par les équations et tableaux suivants :

Paramètres	a	b
H_s	0.099184	0.067974
$U_{10} JASON$	0.094088	0.026873
T_m	-0.079904	0.076555

Table 4 : Coefficients de conditionnement : période moyenne JASON.

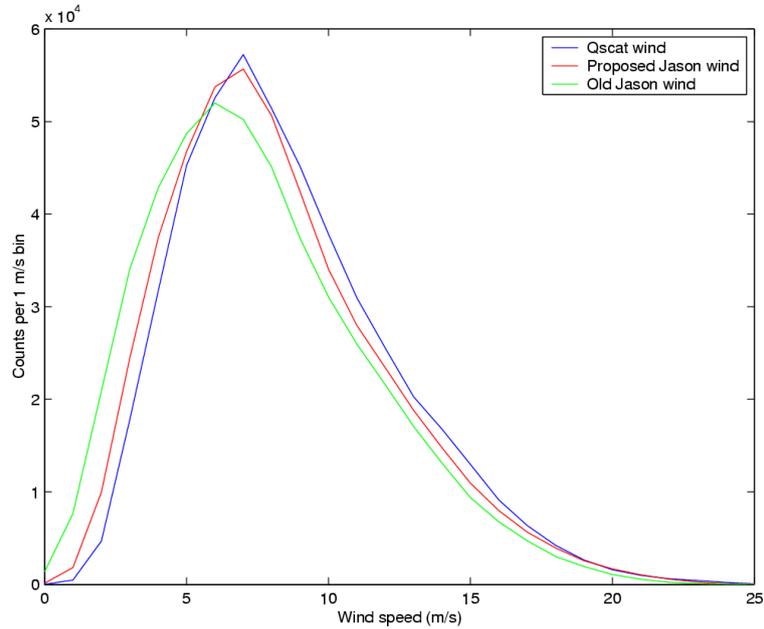


Figure 15. Histogrammes comparés des valeurs de vitesses de vent U_{10} sur le jeu d'apprentissage

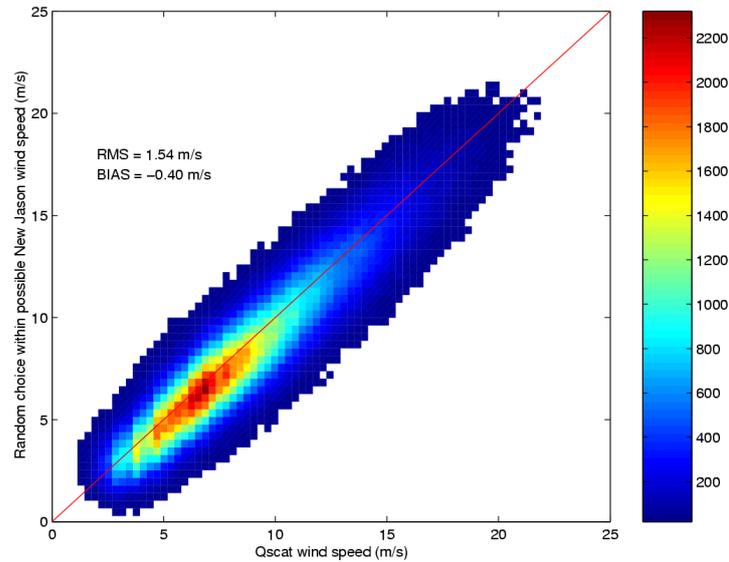


Figure 16. Comparaison des réalisations individuelles de vitesses de vent U_{10} prédite et observées

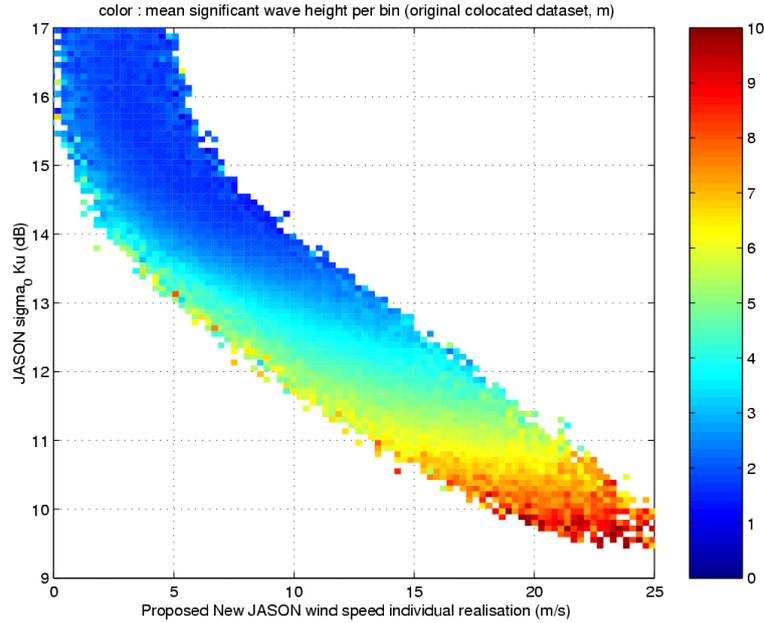


Figure 17. Contribution de la hauteur significative des vagues au σ_0Ku pour des réalisations individuelles de vitesses de vent prédites par le nouvel algorithme de vent JASON

Paramètres	coefficients	des matrices
W_x	3.30622	3.63012
	-3.13084	-1.43410
W_y	-17.06045	-56.23051
B_x	-0.99199	-0.76243
B_y	18.72231	...
P	$a_{H_s} + b_{H_s}H_s$	$a_{U_{10jason}} + b_{U_{10jason}}U_{10jason}$

Table 5 : Coefficients : periode moyenne des vagues JASON.

$$T_m = \frac{Y - a_{T_m}}{b_{T_m}},$$

$$Y = \left[1 + \exp^{-(W_y X^T + B_y^T)} \right]^{-1},$$

$$X = \left[1 + \exp^{-(W_x P^T + B_x^T)} \right]^{-1},$$

Paramètres	coefficients	des matrices
W_x	-5.27047	-0.22864
	23.16921	-15.36357
W_y	2.97490	2.73800
B_x	2.94962	1.76449
B_y	-8.07021	...
P	$a_{H_s} + b_{H_s}H_s$	$a_{U_{10jason}} + b_{U_{10jason}}U_{10jason}$

Table 6 : Coefficients variance de la période moyenne JASON.



Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	27		

$$\sigma_{T_m} = \left(\frac{Y}{b_{T_m}} \right)^2,$$
$$Y = \left[1 + \exp^{-(W_y X^T + B_y^T)} \right]^{-1},$$
$$X = \left[1 + \exp^{-(W_x P^T + B_x^T)} \right]^{-1},$$

La comparaison de la période moyenne JASON et de la période moyenne bouée (figure 18) présente une bonne corrélation générale même si il existe des cas de mer du vent en présence de houle résiduelle pour lesquelles l'âge des vagues qui contraint la période moyenne est sous-estimé. Pour ces cas, la période moyenne est sous-estimée.

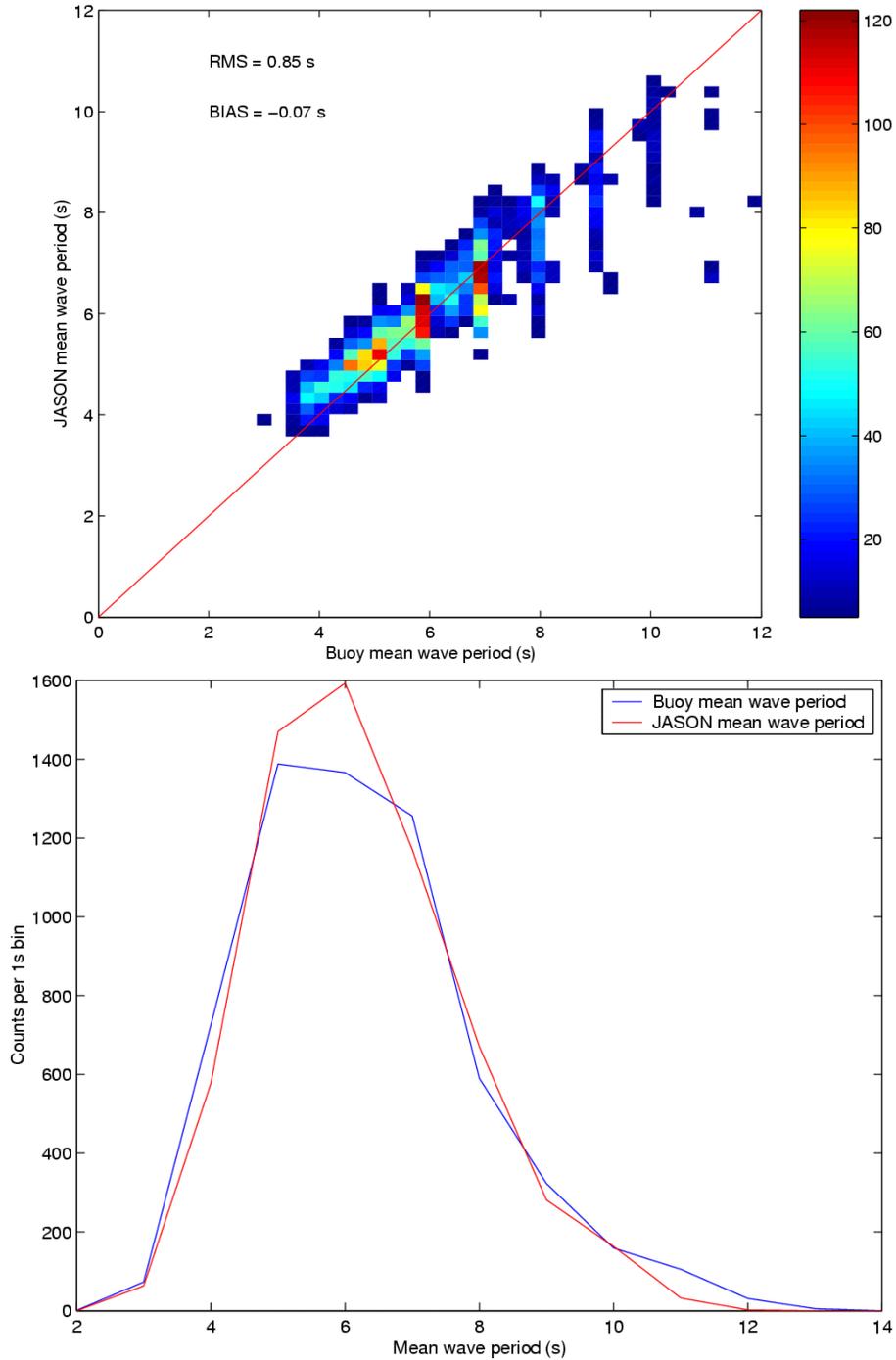


Figure 18. Comparaion de la période moyenne des vagues restituée par JASON et mesurée par des bouées.

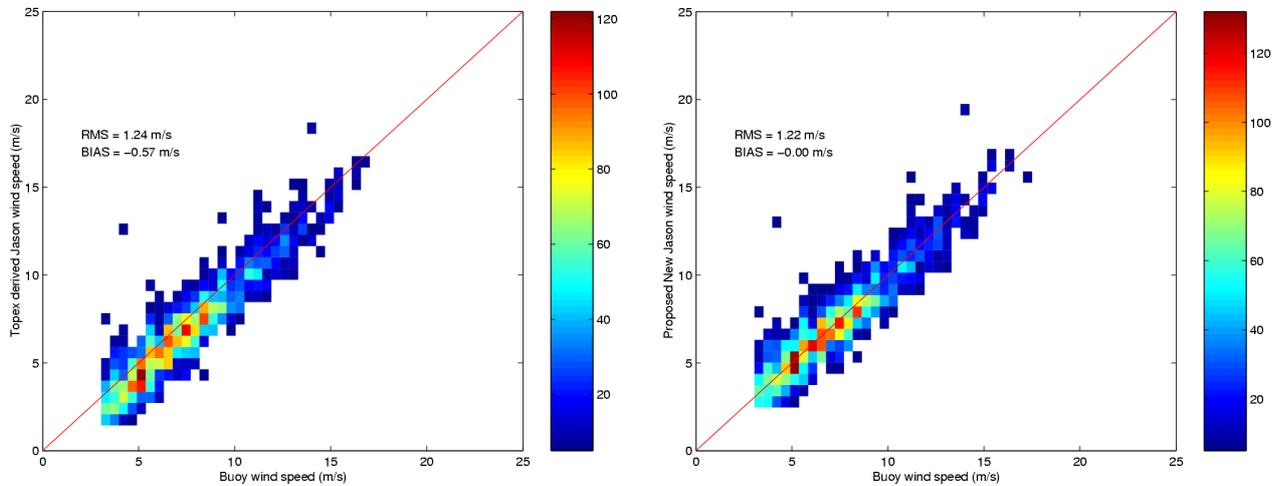


Figure 19. Comparaison des valeurs de vitesses de vent U_{10} de l'algorithme Topex(gauche), du nouvel algorithme(droite) et des bouées

5. Validation et estimation des performances

5.1. Algorithme vent

Les valeurs de vitesse de vent prédites par ce réseau et par l'algorithme TOPEX sont comparées sur la figure 19 aux valeurs du vent bouée. On note, outre l'amélioration du biais, une légère amélioration de la corrélation moyenne. Les estimations des PDF de la vitesse du vent de l'ancien et du nouvel algorithme sont comparées avec l'histogramme des mesures bouées sur la figure 20. On peut constater que le nouvel algorithme conserve mieux la statistique des vitesses de vent mesurées sur ce jeu de données de validation. Le nouvel algorithme de vent est également comparé au vent U_{10} du modèle atmosphérique ECMWF (figure 21). On observe une bonne corrélation pour les vitesses les plus fréquentes. Des valeurs plus fortes sont obtenues par vents forts pour lesquels les modèles ont généralement tendance à sous-estimer le vent par manque de haute fréquence spatiales.

Les résultats de l'estimation des performances à l'échelle globale ou régionale sont consignés dans les tables suivantes. Dans chaque cas, la performance est chiffrée à l'aide des quatre valeurs : le coefficient de corrélation, le biais moyen, l'écart type et le facteur de proportionnalité moyen :

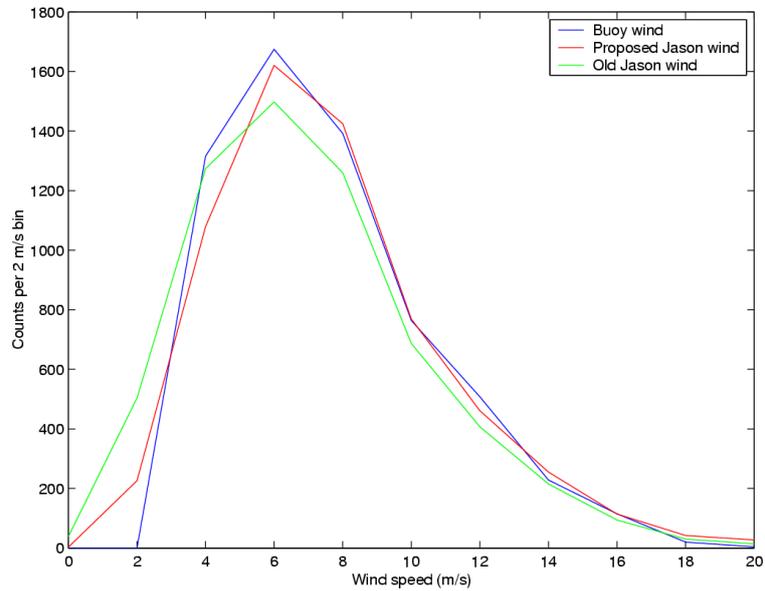


Figure 20. Histogrammes comparés des valeurs de vitesses de vent U_{10} sur le jeu de validation bouées

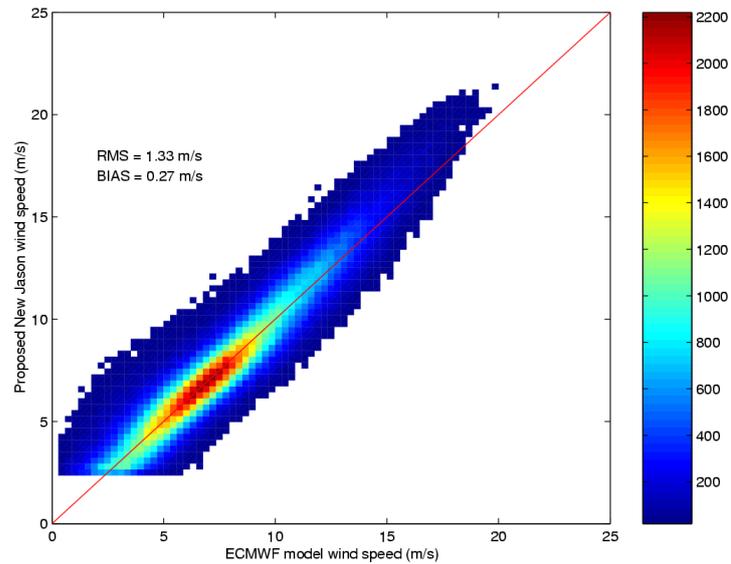


Figure 21. Comparaison des valeurs de vitesses de vent U_{10} du nouvel algorithme et des analyses ECMWF

Table comparative des performances JASON/QSCAT :

model	TOPEX derived	New JASON
corr. coef. global	95.6%	95.7%
corr. coef. south (latitude<-50)	95.4%	95.5%
corr. coef. tropic(-20<latitude<20)	88.2%	88.3%
biais global (s)	-1.011	-0.396
biais south (s)	-0.633	-0.014
biais tropic (s)	-1.275	-0.652
rms global (s)	1.105	1.094
rms south (s)	1.238	1.228
rms tropic (s)	0.999	0.977
facteur global	0.870	0.964
facteur south	0.939	1.022
facteur tropic	0.796	0.911

Table comparative des performances JASON/bouées :

model	TOPEX derived	New JASON algorithm
corr. coef. global	92.2%	92.1%
biais global (m/s)	-0.566	0.000
rms global (m/s)	1.235	1.221
facteur global	0.920	1.012

5.2. Algorithme période moyenne

Une comparaison de l'algorithme de restitution de la période moyenne mis au point pour TOPEX (Quilfen at al. 2004) avec l'algorithme développé pour JASON est présentée figure 22. L'algorithme TOPEX est utilisé en ajustant les σ_{Ku} et σ_C JASON sur leurs homologues TOPEX en appliquant respectivement un biais de -2.26dB et -0.52dB. Les performances comparées des deux algorithmes sont résumées dans la table suivante :

Table comparative des performances période moyenne JASON/bouées

model	TOPEX algorithm	New JASON algorithm
corr. coef. global	85.8%	86.5%
biais global (s)	-0.51	-0.07
rms global (s)	0.87	0.85
facteur global	0.93	1.00

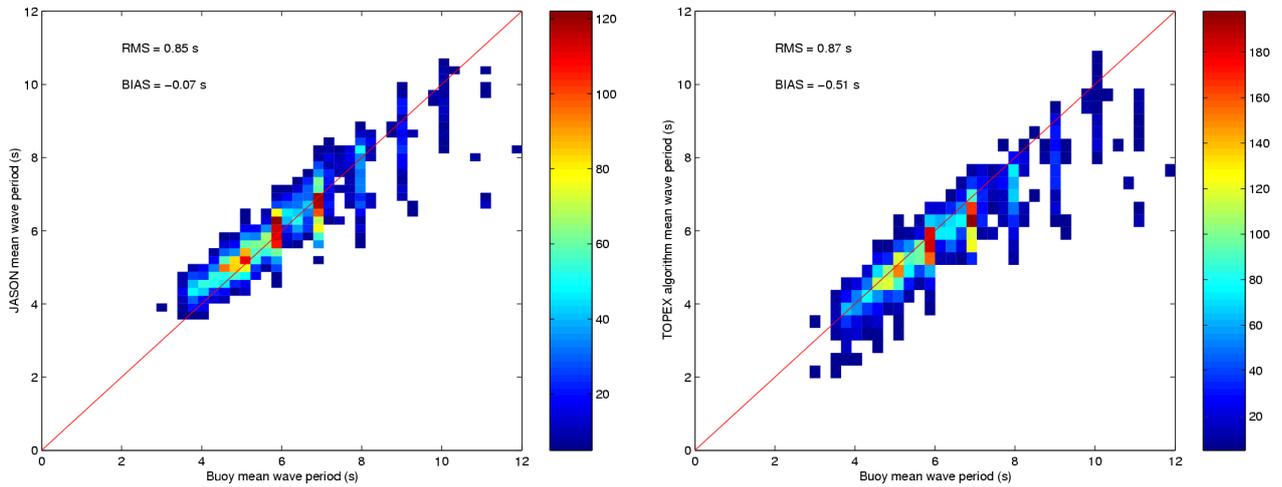


Figure 22. Comparaison de la période moyenne des vagues restituée par JASON et mesurée par des bouées.



Ref	BO-021-CLS-0407-RF		
Version	1	Date	17/11/04
Rev	0	Date	-
Page	33		

6. Conclusion

Les algorithmes de restitution du vent et de la période ont été appris sur un jeu de données global. Ce jeu global assure des estimations bonnes en moyenne qui utilisent les corrélations entre (U_{10} , σ_0 et H_s). Des écarts à la relation moyenne sont alors observés pour différentes zones géographiques. Régionalement, certains phénomènes plus locaux ont certainement une incidence non négligeable sur l'intensité du signal réfléchi par la surface marine autres que les facteurs principaux que sont le vent et les vagues (dans la majorité des cas en équilibre avec ce vent à fetch ou âge plus ou moins grand). Ces biais peuvent être de nature diverses (effets de stabilité atmosphérique, présence de courants de surface, interactions non-linéaires houle-mer de vent). L'altimètre est un formidable traceur de la rugosité intégrée de surface (σ_0 et H_s).

A l'avenir, une analyse plus fine des biais de rugosité (par l'intermédiaire du vent restitué) est à envisager. Afin d'améliorer l'algorithme global, il serait en particulier intéressant, de prendre en compte la position géographique et de dériver des facteurs correctifs dépendants de cette localisation régionale. La prise en compte des comportements locaux, liés aux courants de surface et variations de température (stabilité), devrait permettre de réduire la variance de l'estimateur des paramètres à restituer.