Analyse expérimentale de fouillis de mer haute résolution

(Radar à antenne tournante)

(campagne d'enregistrements Suricate de février-mars 2000)

juillet 2000

I. OBJET DU DEPOUILLEMENT 3

II. ANALYSE SPATIO - TEMPORELLE 3

III. CONCLUSION DE L'ANALYSE SPECTRALE 8

1. Analyse spectrale radiale (en distance). 8
2. Analyse spectrale transverse (en azimut) 9
3. Influence des différents paramètres utilisés lors des enregistrements sur l'analyse spectrale 10
a) Influence de la distance 10
b) Influence du changement de mode. 12
c) Influence de la polarisation 12
d) Influence de la fréquence d'émission 12

IV. CONCLUSIONS DE L'ANALYSE STATISTIQUE 12

1) Loi lognormale 14
2) Loi de Weibull 15
3) loi K 16

V. CONCLUSION 17

VI. ANNEXE 1. LISTE DES FICHIERS ENREGISTRES 19

VII. ANNEXE 2 – LISTE DES FICHIERS DEPOUILLES 20

VIII. ANNEXE 3 TABLEAU RECAPITUALTIF 21

I. OBJET DU DEPOUILLEMENT

Le but de ce document est de présenter les dépouillements réalisés sur les enregistrements de fouillis de mer effectués sur un radar haute résolution. Les fiches d'enregistrements présentant les paramètres radars ainsi que les conditions d'enregistrement sont disponibles dans le classeur *"Dépouillement fichiers SURICATE – clutter seul antenne tournante -campagne d'enregistrement février-mars2000".*

Trois axes d'analyse sont proposés:

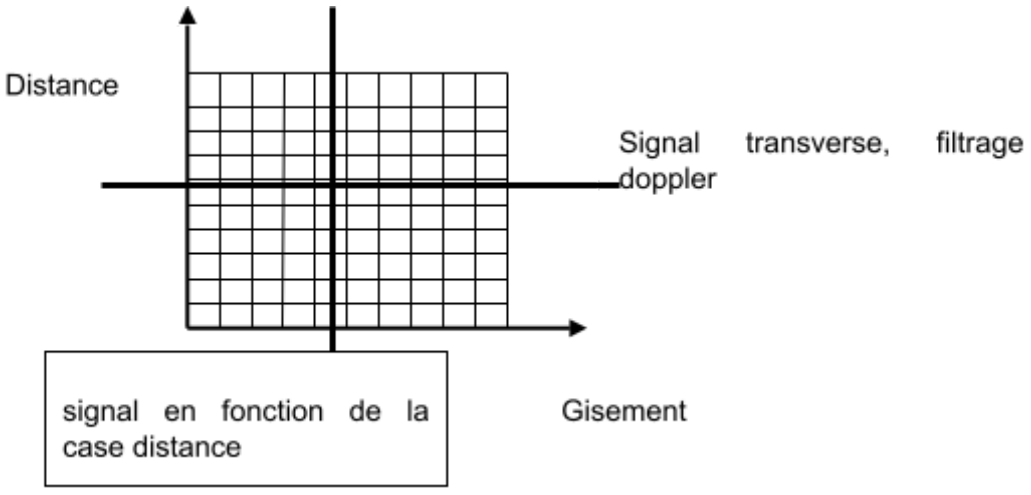
- analyse spatio-temporelle du signal en considérant par tour d'antenne l'évolution du module du signal en fonction de l'azimut (récurrences) et de la distance.
- analyse spectrale radiale (en distance) et transverse (en azimut).
- comportement statistique des fluctuations d'amplitude.

Remarque1: La fenêtre d'enregistrement (dont l'extension en distance vaut 1000m) ne permet pas de visualiser la décroissance du fouillis en distance. Aucune correction en distance pour les amplitudes enregistrées n'a donc été apportée.

Remarque2 : les courbes présentées dans ce rapport sont relatives à l'enregistrement odessa20. Cependant des conclusions sont données suite à la comparaison de divers enregistrements. Les courbes des enregistrements dépouillés sont disponibles dans le classeur *"Dépouillement fichiers SURICATE – clutter seul antenne tournante -campagne d'enregistrement février-mars2000".*

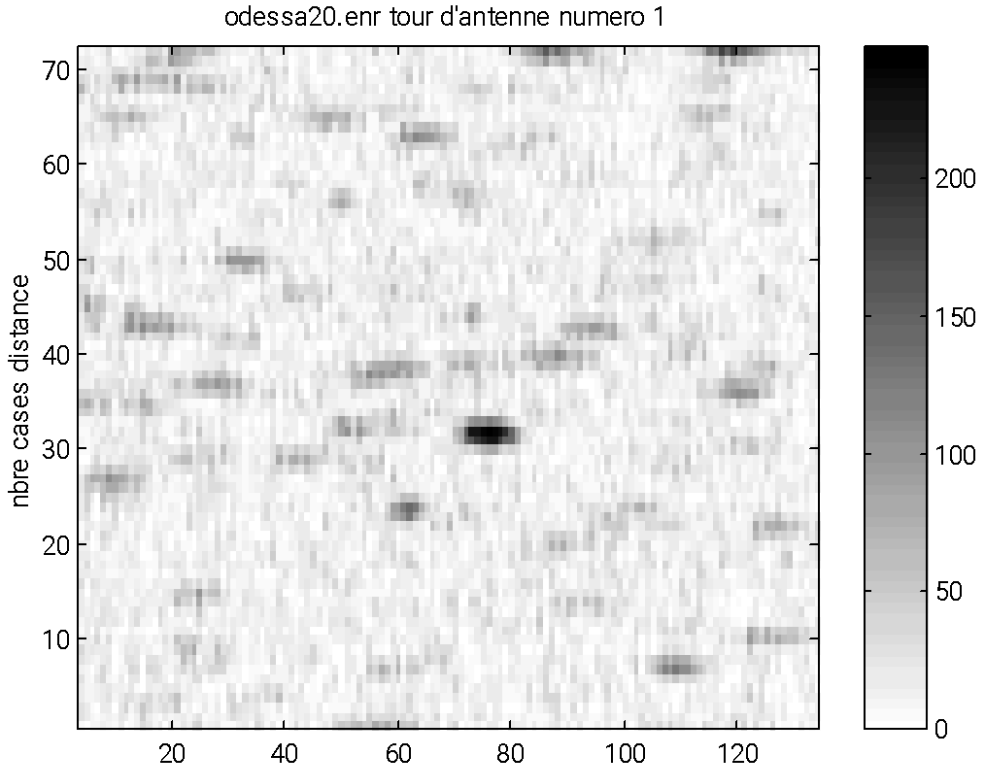
II. ANALYSE SPATIO - TEMPORELLE

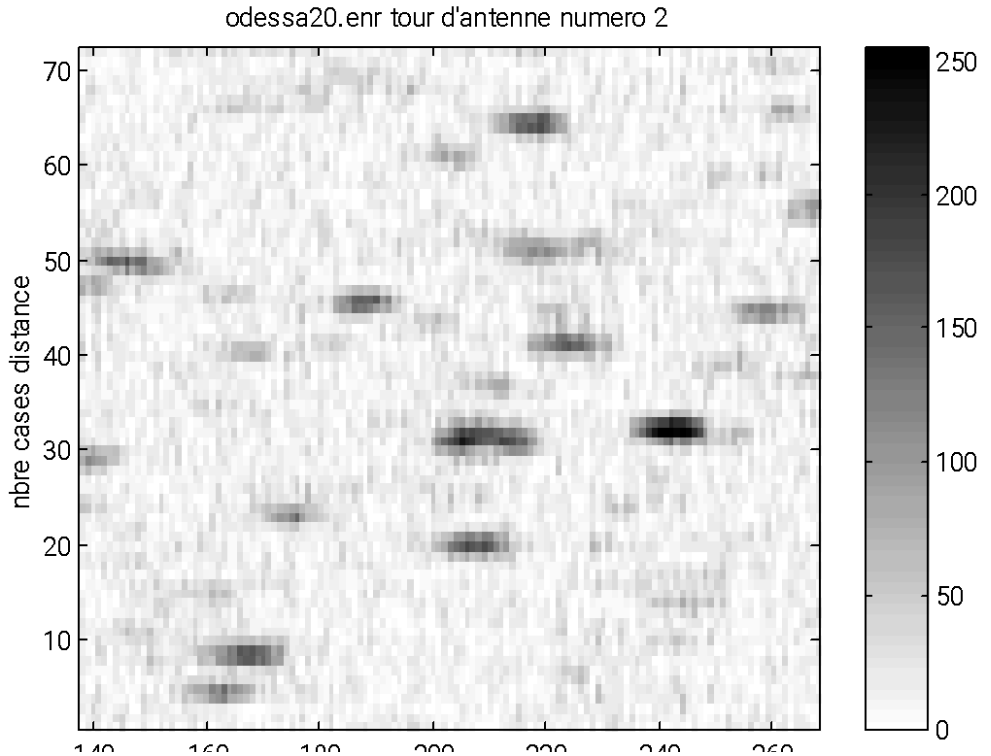
L'analyse spatio-temporelle s'intéresse au signal par tour d'antenne en considérant l'évolution du module du signal en fonction de l'azimut (récurrences) et de la distance. L'analyse de ce signal est orientée "analyse d'image". Pour chaque tour le plan distance/azimut est l'équivalent d'une image en niveau de gris avec module = f(azimut, distance) qui pourra être ramené en coordonnées cartésienne dans le repère du radar pour faire une analyse cinématique plus facile. L'évolution en fonction du temps(tour d'antenne) peut être vue comme un film.

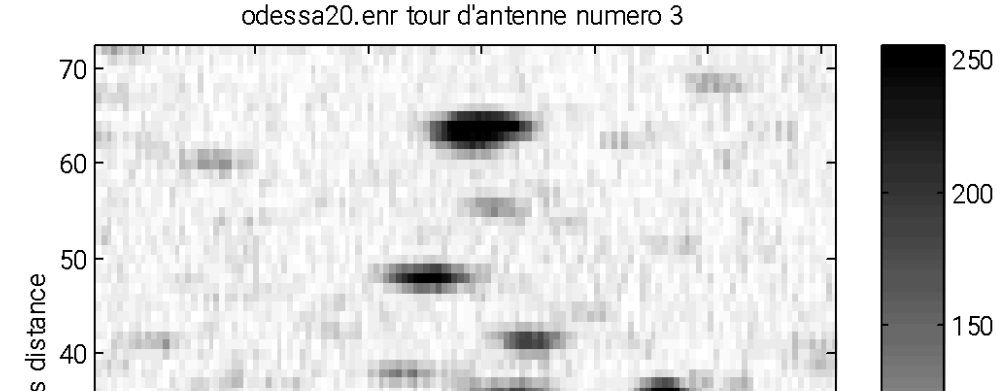


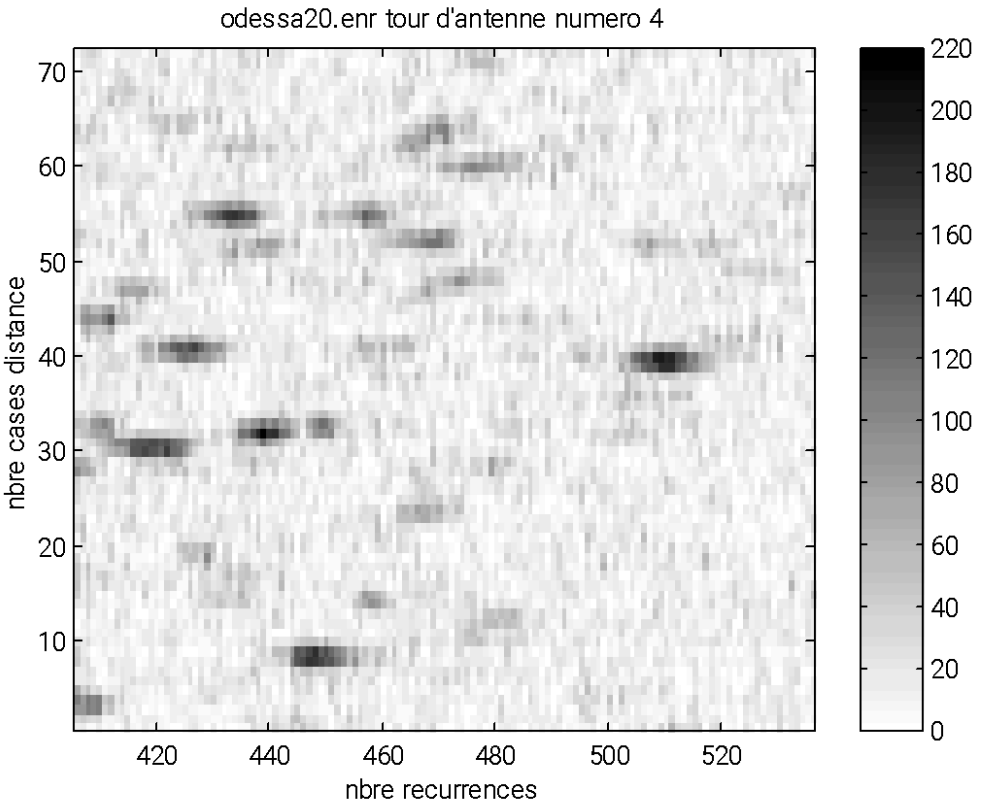
Nous disposons d'un radar Haute Résolution. L'analyse d'un tour d'antenne met en évidence la présence de quelques pointes de clutter de niveau élevé, dans une ambiance de niveau plus faible (rapport 5 lorsque le signal est à saturation). Il semble que ces pointes soient liées à des réflexions spéculaires sur des facettes de mer bien orientées en direction du radar.

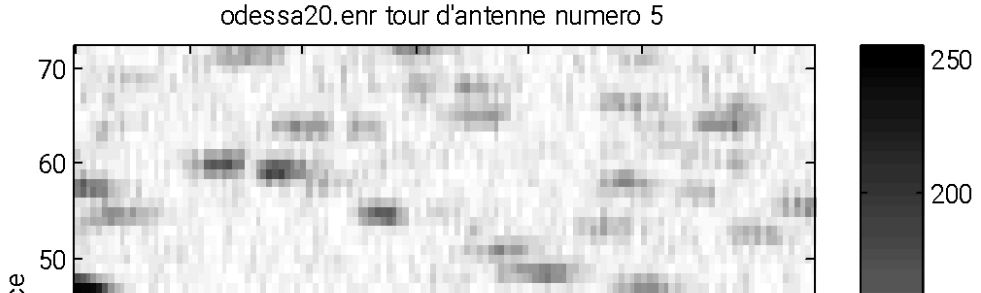
Ci dessous sont présentés les cinq premiers tours d'antenne pour un fichier enregistré à 5 kilomètres en mode CC1600 (odessa20).








odessa20.enr tour d'antenne numero 4
nbre cases distance
nbre recurrences
70
60
50
40
30
20
10
420
440
460
480
500
520
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0


odessa20.enr tour d'antenne numero 5
70
60
50
250
200

Syntl

En comparant d'un tour d'antenne à l'autre, on constate que chaque point de clutter a sa "vie propre". Elles croissent et décroissent en amplitude. De plus, elles se déplacent vers le bas de l'image à droite, ce qui correspond à la direction du vent vu l'orientation du radar et le sens de rotation de l'antenne.

Les enregistrements sont effectués à antenne tournante (5s/tour) et la période de la houle est estimée approximativement à 7s (Rapport *"Propagation des ondes radar dans des conditions particulières"*). L' échantillonnage effectué par l'enregistrement et l'antenne ne permet pas de suivre la "vie propre des pointes de fouillis (le pas d'échantillonnage étant trop grand).

Par ailleurs on observe en distance une modulation par l'impulsion et en azimut une modulation par le lobe d'antenne.

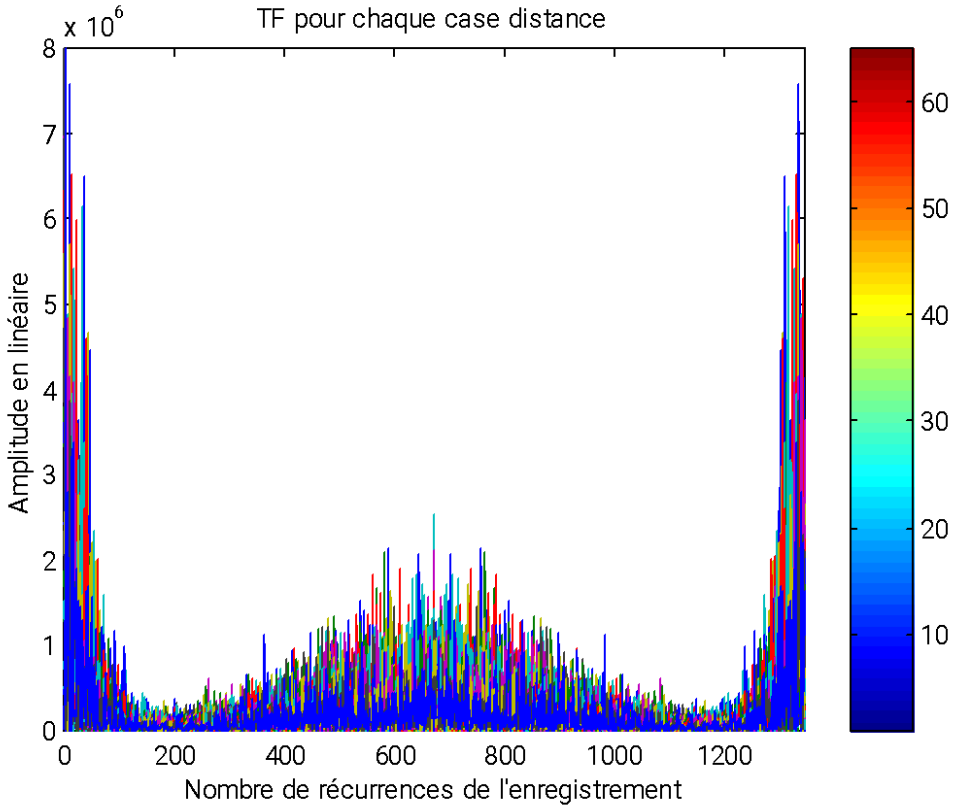
En effet on constate qu'un bel écho de fouillis répond sur une douzaine de récurrences. Le nombre de récurrences étant N = 130 rec/tour, on retrouve ainsi l'ouverture du lobe d'antenne en azimut:

soit $\theta = \frac{\delta\theta * nb_rec}{N} = \frac{6*13}{130} 0.6°$.

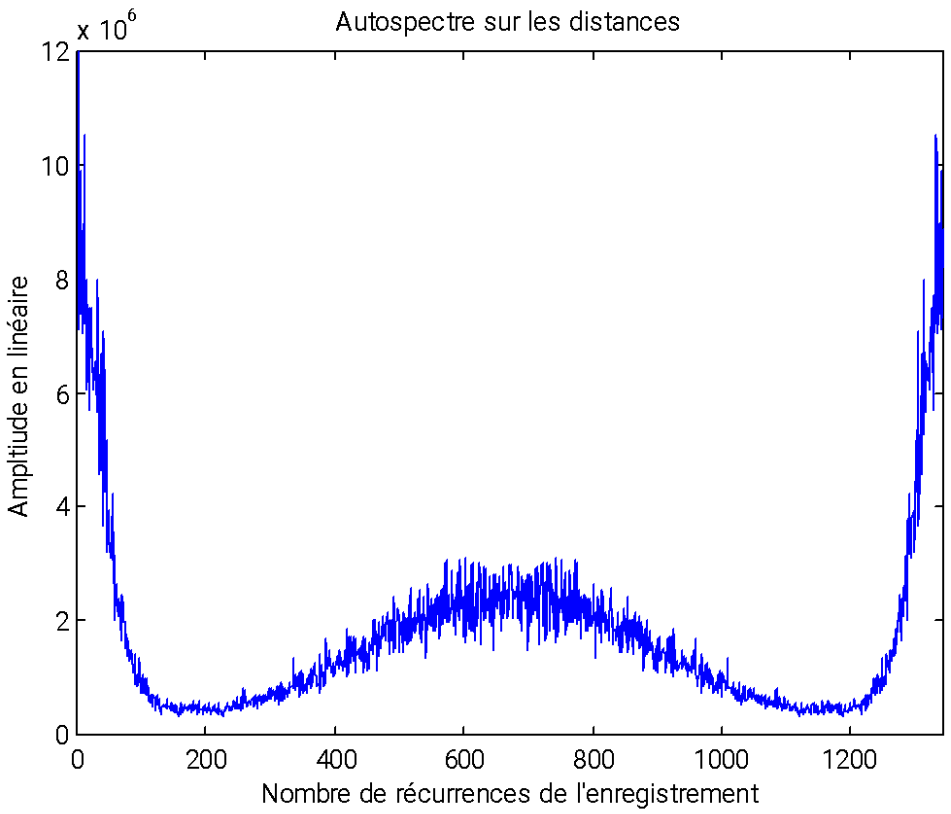
On retrouve bien l'ouverture du lobe d'antenne en azimut du radar Suricate.

III. CONCLUSION DE L'ANALYSE SPECTRALE

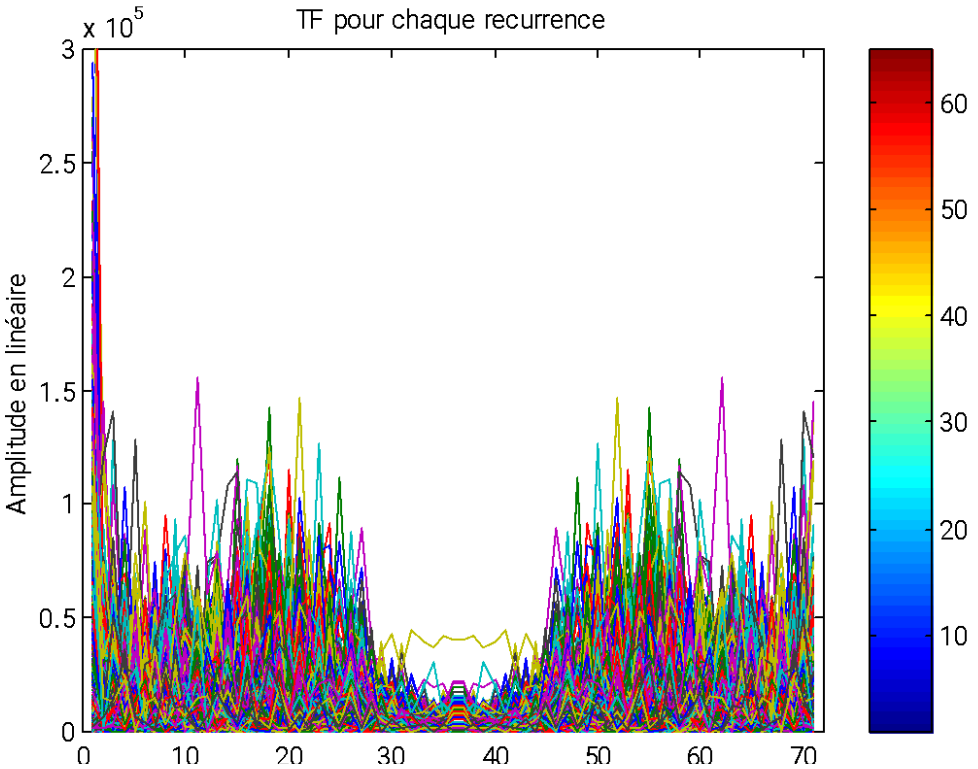
1. ANALYSE SPECTRALE RADIALE (EN DISTANCE).

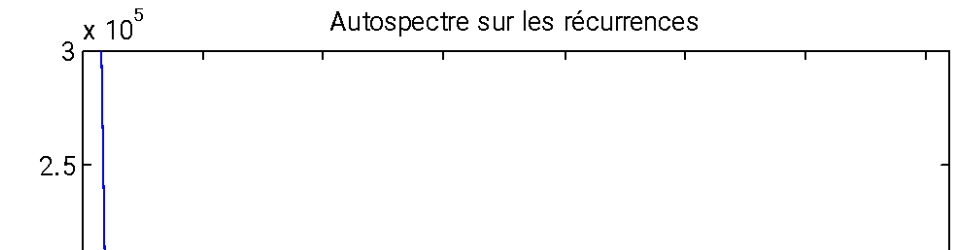


Cette figure représente la superposition des spectres lorsque la distance varie (symbolisée par l'indice de couleur). Cette superposition permet de visualiser une tendance moyenne qui est concrétisée par le calcul de l'autospectre. Cette représentation permet de visualiser une tendance moyenne visuelle. l'analyse spectrale nous montre un spectre en "cloche" autour de la composante continue, caractérisé en première approximation par un largeur spectrale, inversement proportionnel à la distance de corrélation de la mer. Un calcul (présenté dans le "*manuel utilisateur de dépouillement de fichiers d'enregistrement et de fichiers de synthèse"* permet de déteminer une distance de corrélation d'environ 7m.



2. ANALYSE SPECTRALE TRANSVERSE (EN AZIMUT)





Syr

A la distance de 5km, on observe un bruit large bande, certainement lié à la décorrélation naturelle du fouillis, lorsque la distance augmente. En effet, la période d'échantillonnage ramenée en azimut est grande devant la distance de corrélation de la mer.

3. INFLUENCE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES UTILISÉS LORS DES ENREGISTREMENTS SUR L'ANALYSE SPECTRALE

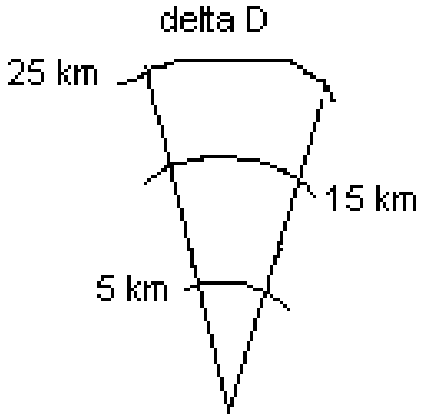
a) Influence de la distance

Tout d'abord l'analyse spectrale en distance nous a permis de déterminer la distance de corrélation du fouillis. Sur l'ensemble des fichiers dépouillés on trouve une distance moyenne de corrélation de :

$$dis\tan ce_moyenne_fouillis \approx 7m$$

Si on s 'intéresse aux différentes distances d'enregistrement, l'analyse spectrale nous montre une décorrelation naturelle du fouillis au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte. En effet en comparant les autospectres de fichiers à 5 et 15 kms, on remarque que l'autospectre obtenu pour un enregistrement effectué à 15 kms se rapproche du spectre d'un bruit blanc.

Un calcul simple nous permet de montrer que le fouillis se décorrèle au fur à et mesure qu'on s'éloigne de la côte:



$\Delta D = D * \omega * T_R = \frac{D * \omega}{F_R}$ (ωT_R représente l'écart angulaire parcouru par l'antenne pendant une récurrence)

avec ω vitesse de rotation de l'antenne. $\omega = 1tr/5s = \frac{2\pi}{5} rad/s$

D : distance à laquelle est effectué l'enregistrement.

F_r : fréquence de répétition

Pour le mode CC1600 $F_r = 1600Hz$ à 5 km on obtient $\Delta D = \frac{5*10^3 * 2\pi}{5*1600} = 3.92m$

A 15 kms on obtient $\Delta D = \frac{15*10^3 * 2\pi}{5*1600} = 11.78m$

Or on a trouvé une distance de corrélation du fouillis d'environ 7m. C'est pourquoi au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte, le fouillis se décorrèle et son autospectre ressemble à celui d'un bruit blanc.

Le modèle de mer qui peut apporter une explication est un processus aléatoire à deux dimensions, isotrope, caractérisé par une distance de corrélation D_corr. le signal transverse est échantillonné à une distance donnée D par un pas ΔD .

$\Delta D = D * \omega * T_R$

avec D: distance à laquelle est observé le signal transverse.

ω : vitesse de rotation de l'antenne du Suricate ($\pi rad/s$) .

T_R : période de récurrence.

$\omega * T_R$ désigne l'écart angulaire parcouru par l'antenne pendant une récurrence.

Lorsque $\Delta D << D_corr$, le signal est échantillonné dans les conditions de Shannon et on peut mesurer la valeur de la distance de corrélation.

Lorsque $\Delta D >> D_corr$, le signal n'est plus échantillonné dans les conditions de Shannon et on observe une décorrélation naturelle du signal et un blanchiment du signal (visible sur l'analyse spectral). L' autospectre moyen correspond alors à un bruit blanc.

On observe également le phénomène de blanchiment de spectre au fur et à mesure de l'éloignement de la côte sur les spectres calculés le long des récurrences. En effet en comparant des enregistrements effectués à différentes distances, on constate que le rapport signal à bruit diminue lorsqu'on passe de 5 à 15 kms pour se rapprocher d'un bruit blanc. En effet au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la côte , la valeur du rapport S/B se rapproche de 1 ce qui signifie qu' à partir d'une certaine distance (environ 15 kms) le fouillis se décorrèle de façon naturelle et on n'observe plus qu'un bruit blanc.

b) Influence du changement de mode.

Si on change de mode, en passant d'un mode CC1600 (comprimé à 1600 Hz) au mode NC 3200 (non comprimé 3200 Hz), on remarque des spectres semblables (même gabarit) pour une même distance.

c) Influence de la polarisation

La polarisation semble ne pas altérer la représentation spectrale du fouillis de mer.

d) Influence de la fréquence d'émission

Quand à l'agilité de fréquence, celle-ci ne s'effectue que sur les 7 fréquences hautes de la bande passante. Les résultats obtenus en agilité de fréquence ne sont pas foncièrement différents de ceux obtenus en mode 1600 et restent cohérents avec les remarques précédentes concernant la décroissance du fouillis en fonction de la distance (c'est à dire la décorrelation du fouillis en fonction de la distance).

IV. CONCLUSIONS DE L'ANALYSE STATISTIQUE

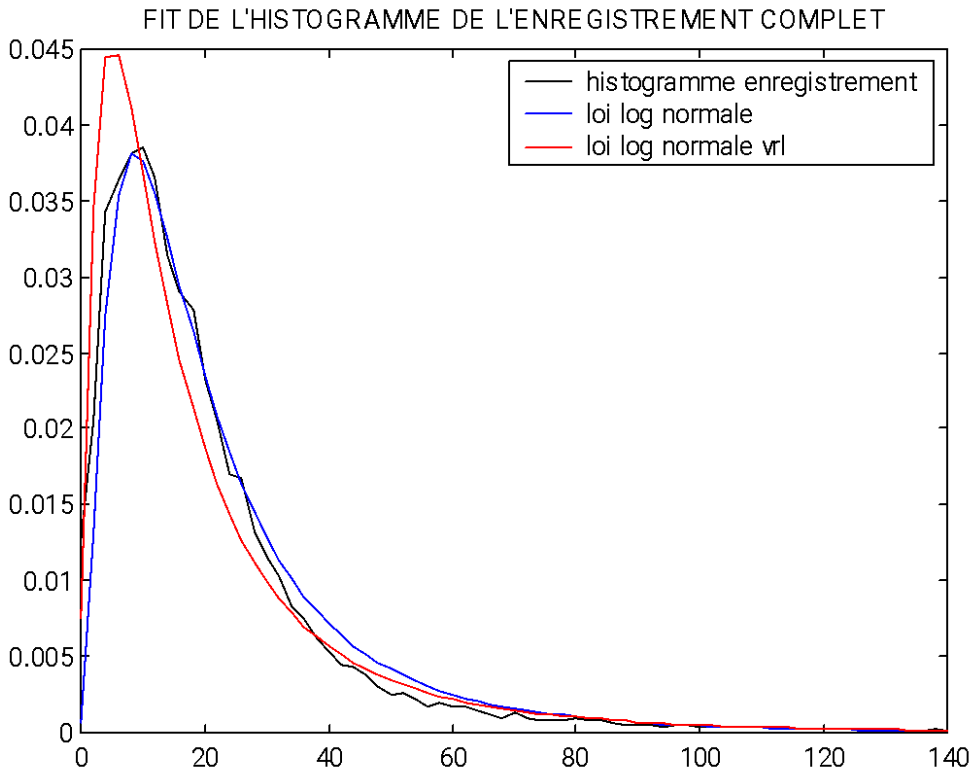
L'analyse statistique consiste à construire un histogramme des fluctuations d'amplitude et à comparer cet histogramme à des lois connues: loi lognormale, loi de Weibull, loi K. la comparaison est visuelle et l'estimation des paramètres des lois utilise le principe du maximum de vraisemblance. Les tests classiques Kolmogorov ou autres induisent une

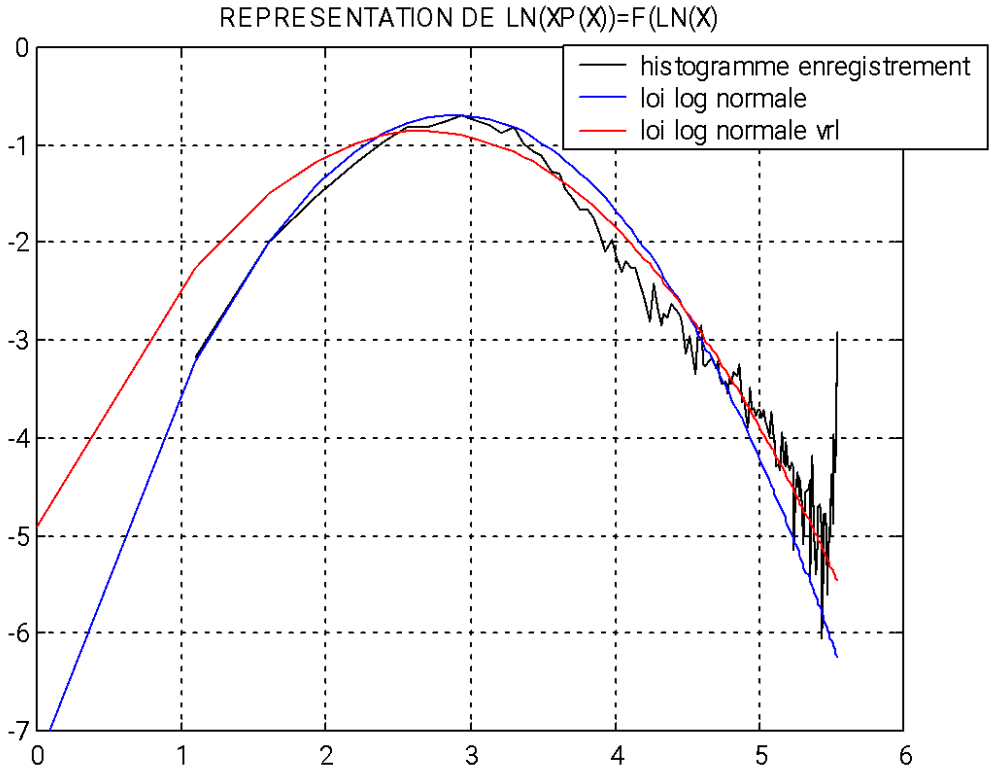
métrique aux moindres carrés sur les histogrammes (test du χ^2) dont la signification physique est la suivante: (fit de courbes, proximité, comportement global) que l'œil sait apprécier naturellement Les principes de comparaison des lois statistiques sont décrits dans le document *"Manuel utilisateur de dépouillement des fichiers d'enregistrements et de synthèse de fouillis de mer".*

La finalité de lissage statistique est de trouver le modèle statistique qui représente le mieux le comportement asymptotique de la loi, déterminant dans le calcul d'un taux de fausse alarme. La superposition modèle/expérience fait ressortir l'intérêt de la loi lognormale, dont le sens physique correspond à la nature très probable des grandes valeurs d'amplitude. Dans notre cas, la taille de la case distance n'est pas assez grande pour moyenner (loi des grands nombres) l'effet de réflexion spéculaire sur des facettes de mer bien orientées et ainsi obtenir la décroissance asymptotique rapide (Rayleigh, Weibull) que l'on observe pour les grandes valeurs de cases distance.

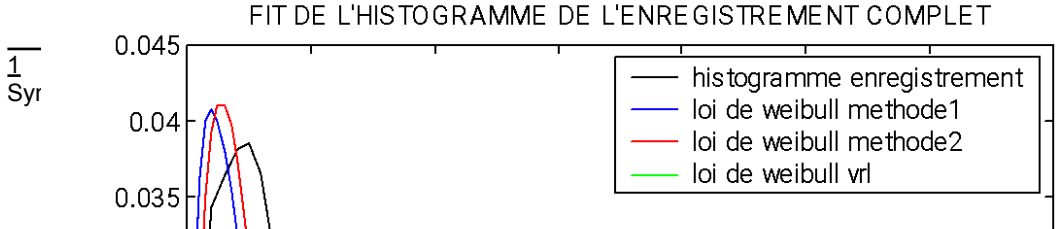
Ci dessous sont présentée les courbes pour l'enregistrement **Odessa20**

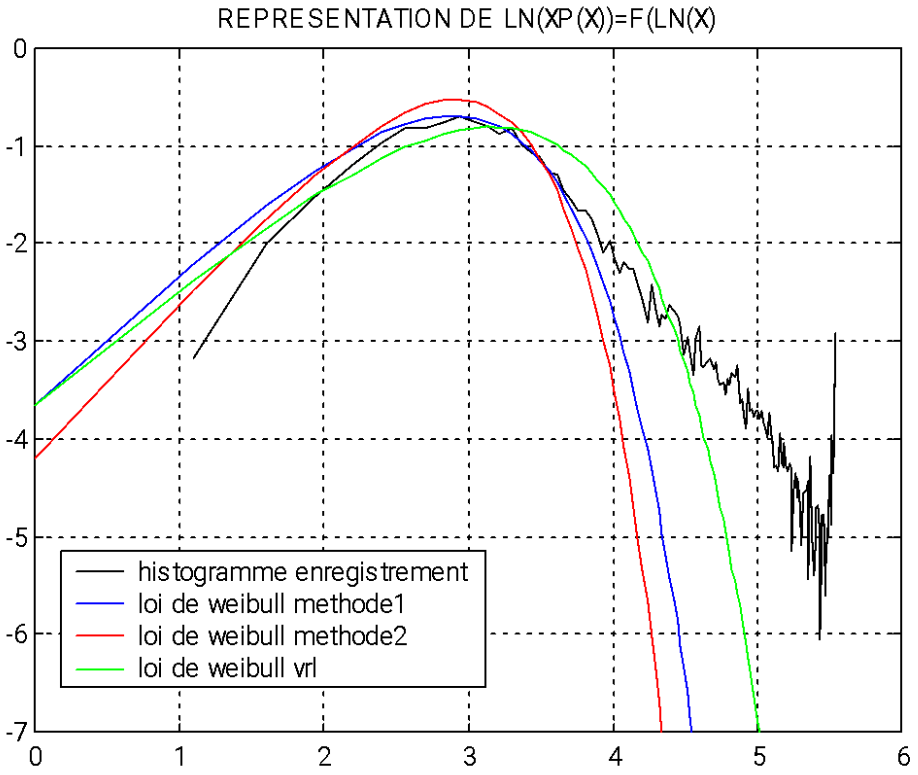
1) LOI LOGNORMALE



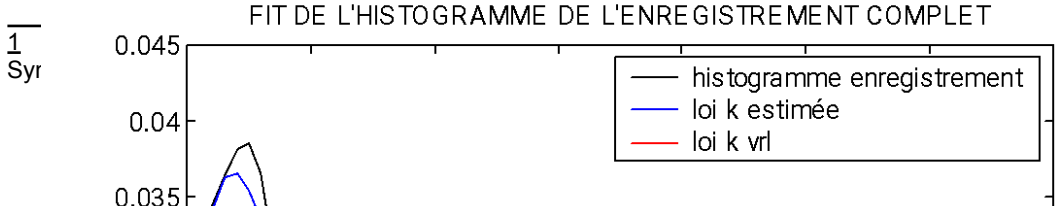


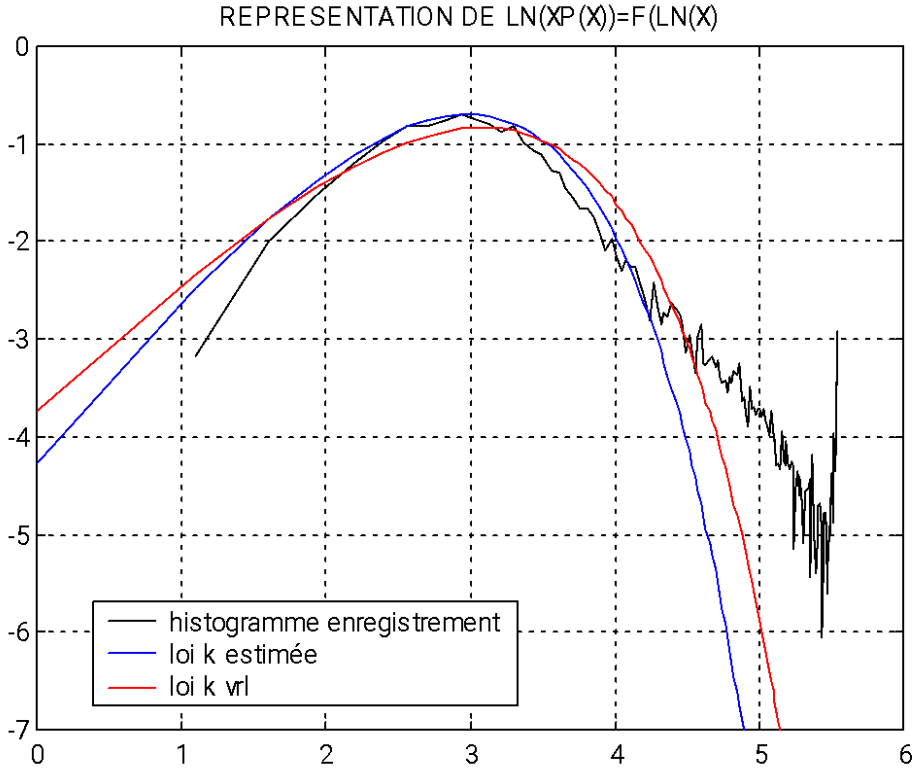
2) LOI DE WEIBULL




REPRESENTATION DE LN(XP(X))=F(LN(X)
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
0
1
2
3
4
5
6
histogramme enregistrement
loi de weibull methode1
loi de weibull methode2
loi de weibull vrl

3) LOI K


FIT DE L'HISTOGRAMME DE L'ENREGISTREMENT COMPLET
1
Syr
0.045
0.04
0.035
histogramme enregistrement
loi k estimée
loi k vrl



En comparant les courbes on constate que c'est la loi lognormale qui approche le mieux la répartition en amplitude du fouillis de mer . Aussi on peut dire que la répartition du fouillis de mer haute résolution est celle d'une loi lognormale. Ceci avait déjà été remarqué pour les enregistrements effectués avec le MRR.

Par ailleurs si on s'intéresse à des enregistrements effectués à des distances différentes (15 et 25 kms), dans des modes différents (mode NC 3200); à fréquence agile et en polarisation circulaire, c'est la loi lgonormale qui décrit le mieux la répartition en amplitude du fouillis enregistré avec un radar haute résolution.

En conclusion on peut dire **que pour le fouillis de mer haute résolution** comme pour le fouillis de mer moyenne résolution (enregistrements MRR) **c'est la loi lognormale qui décrit au mieux la répartition statistique en amplitude.**

V. CONCLUSION

On a trouvé une distance de corrélation du fouillis de mer haute résolution d'environ 7 m. Le radar haute résolution nous a permis de bien observer par un traitement d'image adapté la présence de quelques pointes de clutter de niveau élevé, dans une ambiance de niveau plus faible (rapport 5 lorsque le signal est à saturation). Il semble que ces pointes soient liées à des réflexions sur des facettes de mer bien orientées en direction du radar.

Par ailleurs, le traitement d'image de tour d'antenne à tour d'antenne nous a permis de vérifier que ces pointes de fouillis ont une vie "propre". Elles croissent et décroissent en amplitude et se déplacent (vers le bas de l'image à droite) selon la direction du vent qui a été relevée lors de l'enregistrement.

L'analyse spectrale nous a montré que lorsqu'on s'éloigne de la côte, le fouillis de mer observé se décorrèle et présente des caractéristiques spectrales d'un bruit blanc modulé par le lobe d'antenne.

Enfin l'analyse statistique a montré que c'est la loi lognormale qui modélise au mieux la répartition statistique du clutter de mer haute résolution (case distance d'échantillonnage de 2.1m).

Proposition d'un modèle de fouilis de mer haute résolution

Le champ électromagnétique rétrodiffusé par la mer est lié aux réflexions sur les facettes de mer dont l'orientation est aléatoire. On peut supposer dans ces conditions une mer isotrope caractérisée au second ordre (d'un point de vue statistique) par une distance de corrélation d_corr. La rétrodiffusion respectera cette distance de corrélation.

La statistique des amplitudes en distance et gisement montre une loi lognormale, caractérisée par une puissance moyenne(loi en $\frac{1}{R^3}$) et par un facteur de forme . Par ailleurs ce bruit corrélé est modulé par les caractéristiques radar: impulsion longue (dans certains cas) et lobe d'antenne.

De plus, la vitesse de la houle est donnée par la vitesse du vent et module , par le doppler, le signal transverse.

Ce modèle simple est caractérisé par un petit nombre de paramètres :

- distance de corrélation des facettes de mer fonction de l'état de mer,
- loi de décroissance de la puissance (en $\frac{1}{R^3}$) et réflectivité,
- facteur de forme du fouillis, fonction de l'état de mer,
- vitesse du vent.

Ce modèle est applicable quelle que soit la résolution distance.

Par ailleurs, ce modèle faisant appel à des fonctions simples,il est facilement implantable d'un point de vue informatique.

VI. ANNEXE 1. LISTE DES FICHIERS ENREGISTRES

- Odessa1 Odessa10 Odessa30
- Odessa2 Odessa11 Odessa31
- Odessa3 Odessa12 Odessa32
- Odessa4 Odessa20 Odessa33
- Odessa5 Odessa21 Odessa34
- Odessa6 Odessa22 Odessa35
- Odessa7 Odessa23
- Odessa8 Odessa24
- Odessa9 Odessa25

VII. ANNEXE 2 – LISTE DES FICHIERS DEPOUILLES

- Odessa4
- Odessa5
- Odessa6
- Odessa7
- Odessa8
- Odessa9
- Odessa10
- Odessa11
- Odessa12
- Odessa20
- Odessa21
- Odessa22
- Odessa23
- Odessa24
- Odessa25
- Odessa30

Un CD–Rom contient tous les enregistrements de clutter seul (antenne tournante et antenne arrêtée) ainsi que l'outil de dépouillement utilisé "depouillement_suricate.m Le classeur:

"DEPOUILLEMENT FICHIER SURICATE CLUTTER SEUL ANTENNE TOURNANTE

campagne d'enregistrements février – mars 2000"

contient toutes les courbes de dépouillement ainsi que la notice d'utilisateur de l'outil "depouillement_suricate.m" qui présente les différentes méthodes de dépouillement envisagées.

VIII. ANNEXE 3 TABLEAU RECAPITUALTIF

Un tableau récapitule tous les résultats obtenus en ce qui concerne l' analyse spectrale et statistique des enregistrements.

DESCRIPTION FICHIER						Analyse Spectrale	Analyse statistique						
FICHIER	MODE	DIST.	POL.	FREQ.	GVT/FI	Dist. Corr. fouillis	METHODE	LOI LOGNORMALE		LOI DE WEIBULL		LOI K	
		km				m							
								Para. forme	Para. échelle	Para. forme	Para. échelle	Para. Forme	Para.échelle
Odessa 4	cc1600	5	lin	F4	1/STD	7,35	méthode1	3,4715	1,3863	0,8231	0,25	1,1	0,33
							méthode2			1,3	0,3237		
							méthode VRL	1,6353	0,8771	1,04	0,2385	0,5869	0,2711
Odessa5	cc1600	15	lin	F4	1/STD	7,3599	méthode1	3,0085	1,3863	0,8842	0,25	1,1	0,33
							méthode2			1,3	0,3237		
							méthode VRL	1,531	0,9123	1,19	0,2467	0,7256	0,3311
Odessa6	cc1600	25	lin	F4	1/STD	7,05	méthode1	2,5249	1,3862	0,9651	0,25	1,1	0,33
							méthode2			1,3	0,3236		
							méthode VRL	1,415	0,965	1,3	0,2432	0,87	0,3794
Odessa7	nc3200	5	lin	F4	1/STD	7,3974	méthode1	4,3011	1,7918	0,7395	0,1667	1,1	0,25
							méthode2			1,2	0,2247		
							méthode VRL	2,7847	1,4215	0,87	0,1231	0,4056	0,0962

Odessa8	nc3200	15	lin	F4	1/STD	7,7746	méthode1	3,8763	1,3863	0,7792	0,25	1,1	0,333
							méthode2			1,3	0,3237		
							méthode VRL	2,2157	1,1589	0,96	0,1714	0,4856	0,1612
Odessa9	nc3200	15	circ	F4	1/STD	6,87	méthode1	3,621	1,3863	0,8059	0,25	1,1	0,333
							méthode2			1,3	0,3237		
							méthode VRL	1,7087	0,9613	1,15	0,2306	0,6756	0,2923
Odessa10	nc3200	25	lin	F4	1/STD	7,0317	méthode1	4,0522	1,3863	0,7619	0,25	1,1	0,33
							méthode2			1,4	0,4087		
							méthode VRL	1,1991	0,7003	1,37	0,325	1,01	0,5615
Odessa11	cc1600	5	lin	agilité	4/STD	7,42	méthode1	2,7735	1,3863	0,9209	0,25	1,1	0,33
							méthode2			1,2	0,2247		
							méthode VRL	2,2623	1,3207	0,94	0,1428	0,4556	0,1269
Odessa12	nc3200	5	lin	agilité	4/STD	7,1511	méthode1	1,3272	5,5373	1,3312	0,039	1,1	0,057
							méthode2			1,1	0,1131		
							méthode VRL	3,3291	2,4658	0,88	0,0441	0,4	0,353
Odessa20	cc1600	5	lin	F4	4/max	7,5016	méthode1	1,2648	2,8904	1,3637	0,056	1,1	0,0833

							méthode2			1,6	0,0542		
							méthode VRL	1,7788	2,6799	1,21	0,0425	0,74	0,0588
Odessa21	cc1600	15	lin	F4	4/max	5,86	méthode1	1,146	2,8404	1,4326	0,0556	1,1	0,0833
							méthode2			1,5	0,0601		
							méthode VRL	1,6471	2,6727	1,28	0,0439	0,84	0,0668
Odessa22	cc1600	25	lin	F4	4/max	7,8098	méthode1	1,2393	2,8904	1,3776	0,0556	1,1	0,0833
							méthode2			1,3	0,0809		
							méthodeVRL	1,5598	2,3318	1,38	0,0637	1,02	0,1108
Odessa23	cc1600	5	circ	F4	4/max	6,3883	méthode1	1,2264	3,2581	1,3848	0,0385	1,1	0,0625
							méthode2			1,4	0,0511		
							méthode VRL	1,583	2,8868	1,33	0,0361	0,94	0,0593
Odessa24	cc1600	15	circ	F4	4/max	7,6473	méthode1	1,0879	2,8904	1,4704	0,0556	2,1	0,125
							méthode2			1,62	0,0542		
							méthode VRL	1,583	2,6509	1,34	0,0458	0,95	0,0759
Odessa25	cc1600	15	lin	agilité	4/max	7,589	méthode1	1,1804	2,8904	1,4116	0,0556	1,1	0,0833

							méthode2			1,6	0,0542		
							méthode VRL	1,7206	2,7128	1,23	0,0414	0,77	0,0591
Odessa30	nc3200	5	lin	F4	4/max	7,2	méthode1	0,0258	5,5373	9,5439	0,039	19,1	0,033
							méthode2			1,4	0,0227		
							méthode VRL	2,1418	3,6801	1,16	0,0153	0,67	0,0196