

# Développements récents dans les radars océaniques et atmosphériques à l'Université de Toulon et Degreeane Horizon

**Baptiste Domsps**<sup>1 2</sup>, Charles-Antoine Guérin<sup>2</sup>, Julien  
Marmain<sup>1</sup>

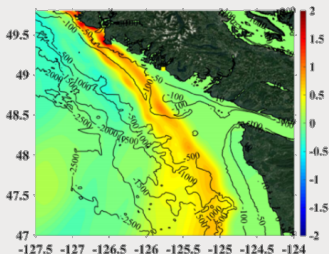
<sup>1</sup> Degreeane Horizon, <sup>2</sup> Institut Méditerranéen d'Océanologie

Colloque R-TMA, 19-20 novembre 2019



# Thématique de recherche

## Détection de phénomènes transitoires



Guérin *et al.* dans *Ocean Dynamics*, 2019

- Détection de tsunamis
  - $T \approx 10 - 40$  min
- Détection de tourbillons
  - Courant Nord-Méditerranéen
  - Systèmes méandre-tourbillon

### Compromis Temps d'intégration – SNR

- Pour lever le compromis  $T - SNR$  : recherche de méthodes non-spectrales
- Travail sur les séries temporelles  $s(t, \rho, \theta)$

# Sommaire

## 1 Contexte

- Degree Horizon
- Réseau HF du MIO
- Profileur PCL-1300
- Contexte commun

## 2 Avancées récentes

- Représentations AR
- Méthode d'estimation de Burg
- Modèle et résultats théoriques
- Cartographie et précision
- Séries temporelles du courant

## 3 Conclusion

# Degreane Horizon

- Une société du groupe **VINCI ENERGIES**
- 3 grands domaines d'expertise :  
Météorologie, Défense,  
Énergie/Transport



Capteurs  
météorologiques  
aéronautiques

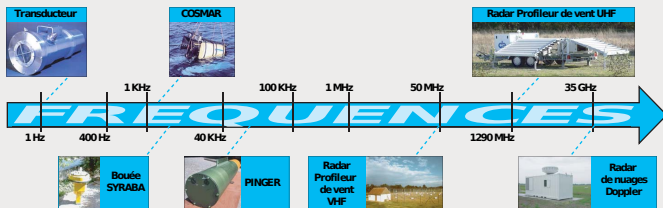


Réseaux de stations  
météorologiques  
automatiques


SIQMA et radars  
profleurs de vent



## Dans le domaine radar, un savoir-faire très large bande



# Réseau HF du MIO

- WERA (16,3 MHz, FMCW pulsé)
- Interreg Marittimo (SICOMAR+)
- Multistatisme (1 Tx + 2 Rx)
- Jouvence et MCO par 




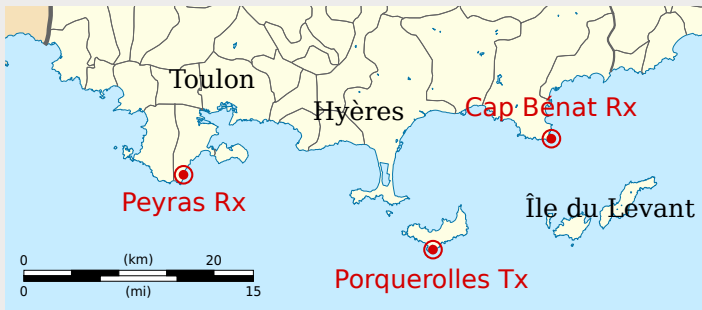
Tx Porquerolles – 40 dBm




Rx Fort Peyras

# Réseau HF du MIO

- WERA (16,3 MHz, FMCW pulsé)
- Interreg Marittimo (SICOMAR+)
- Multistatisme (1 Tx + 2 Rx)
- Jouvence et MCO par 

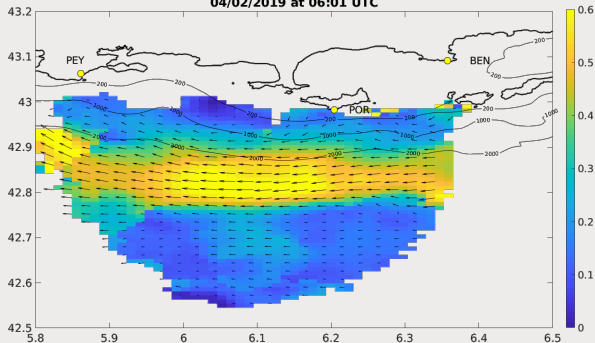


# Réseau HF du MIO

- WERA (16,3 MHz, FMCW pulsé)
- Interreg Marittimo (SICOMAR+)
- Multistatisme (1 Tx + 2 Rx)
- Jouvence et MCO par 

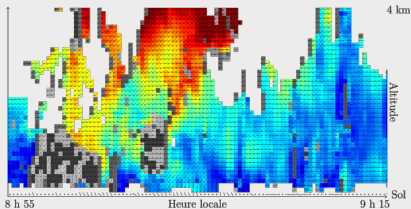


Vector reconstruction - radials used [POB PEY BEN POP]  
04/02/2019 at 06:01 UTC



# Profileur de vent PCL-1300

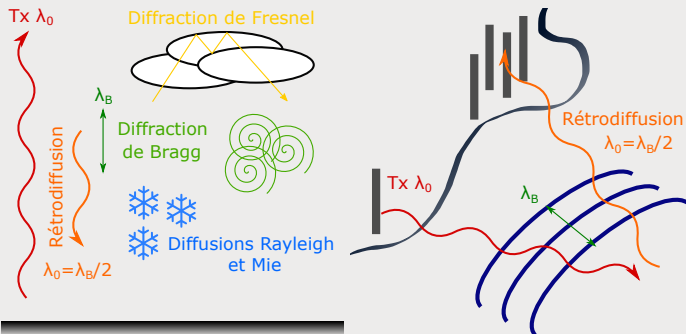
$f_0$	1,3 GHz
$P_{Tx}$	0,5 ou 3,5 kW
Mod.	Impulsions
$PW$	0,5 à 2,5 $\mu s$
$PRI$	20 à 100 $\mu s$
$BW$	0,2 à 2 MHz
Résolution	75 à 375 m
Portée	3 km



- Bande  $L$  : mesures en air clair et tout temps
- 3 à 5 panneaux d'antennes (selon la résolution voulue)



# Contexte commun



**Atmosphère :** réseau de Bragg sur les couches turbulentes

portées par le vent :  $C_n^2 = f(P, T, U)$ .

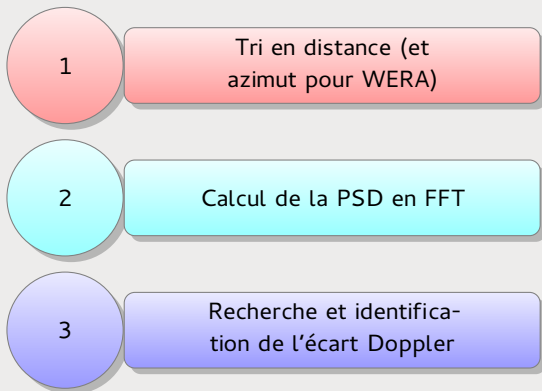
$\Delta f_{Doppler}$  à  $f_0$ .

**Océan :** réseau de Bragg sur les vagues de gravité.

Superposition du courant océanique :

$\Delta f_{Doppler} = f_{gravité} + f_{courant}$

# Contexte commun



- On souhaite améliorer l'étape 2

# Représentation autorégressive

Développements récents  
dans les radars  
océaniques et  
atmosphériques

Baptiste Doms

Thématique de recherche

Contexte

Degrade Horizon

Réseau HF du MIO

Profilleur PCL-1300

Contexte commun

Avancées récentes

Représentations AR

Méthode d'estimation de Burg

Modèle et résultats théoriques

Cartographie et précision

Séries temporelles du courant

Conclusion

## Représentation AR

Soit  $N \in \mathbb{N}$ . La série temporelle  $\{s_n\}^N$  admet une représentation autorégressive d'ordre  $P \in \mathbb{N}$  s'il existe  $\{\varphi_p\}^P$  telle que

$$\forall n \in \{1, \dots, N\}, y_n = \varepsilon_n + \sum_{j=0}^P \varphi_j z^{-j} y_n$$

où  $\varepsilon$  est un bruit blanc et  $z$  l'opérateur de décalage.

- $\varphi[z]y_n = \varepsilon_n$  : filtre RII annulateur du signal
- Passage en notation fréquentielle :  $\Phi(j\omega) = \frac{1}{|\varphi[z]|^2} \sigma^2$

# Méthode d'estimation de Burg

Développements récents  
dans les radars  
océaniques et  
atmosphériques

Baptiste Doms

Thématique de recherche

Contexte

Degrade Horizon

Réseau HF du MIO

Profilleur PCL-1300

Contexte commun

Avancées récentes

Représentations AR

Méthode d'estimation de Burg

Modèle et résultats théoriques

Cartographie et précision

Séries temporelles du courant

Conclusion

- ...encore faut-il avoir une *bonne* méthode pour obtenir  $\{\varphi_p\}^P$
- résolution d'un système d'équations sur la base de matrices d'autocovariance

Moindres carrés	Peut être instable
Vraisemblance	Complexité d'usage
Yule-Walker	Sensible au bruit
Yule-Walker à haut ordre	Sensible au bruit
Burg	$\mathcal{O}(3Np - p^2)$

- « Variété » de méthode à entropie maximale
- Utilisation d'un critère d'information au sens de Shannon

DEGREANE  
HORIZON

UNIVERSITÉ  
DE TOULON

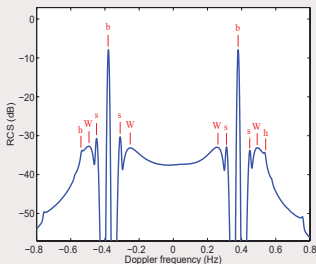
mio  
Mediterranean Institute  
of Oceanography

9/16

# Modèle utilisé

Vérification de la qualité des estimations sur un signal simulé  
réaliste

$$s(t) = s_{simu}(t) + \lambda \left( \varepsilon(t) + \exp(2i\pi \left( -2t + \frac{2t^2}{T} \right)) \right)$$



On a représenté ici le spectre de mer, mais le signal sur lequel on travaille est **temporel**

Imposition d'un critère fort de viabilité

*b* : pics de Bragg (1<sup>er</sup> ordre) – *s* : pics de houle – *h* : ondes non-linéaires (2<sup>nd</sup> ordre) – *W* : mer de vent

# Résultats théoriques

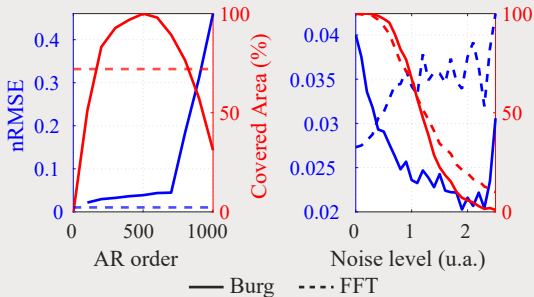
- Quels indicateurs utiliser pour comparer les estimations ?

① L'erreur normalisée :  $nRMSE = \frac{1}{U_r} \sqrt{\frac{1}{N} \sum^N (\tilde{U}_r - U_r)^2}$

- ② Le nombre de cases radar résolues

- Comment choisir l'ordre  $P$  du modèle  $AR$  ?

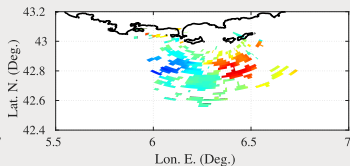
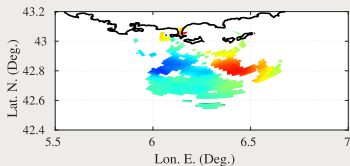
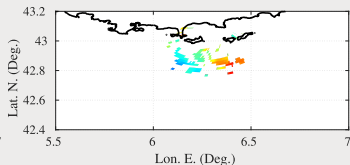
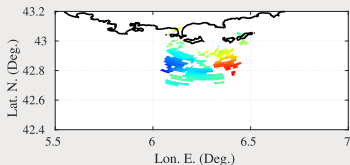
- Quelle est la robustesse théorique au bruit ?



# Cartographie comparée

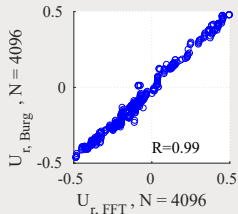
## Superficie couverte

Données : Tx Porquerolles, Rx Bénat, 04/02/2019

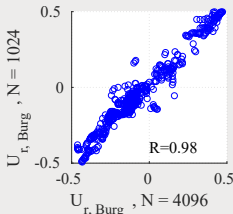


# Précision de la mesure

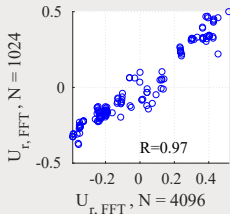
## Précision de la mesure



FFT/Burg 18 min



Burg 18 min/Burg  
4 min



FFT 18 min/FFT  
4 min

- Le critère de forte fiabilité limite la dégradation des estimations sur les temps courts
- Mais on limite fortement le nombre de cases résolues en FFT (pas en AR)

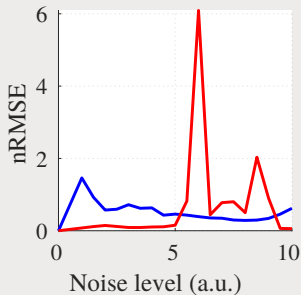
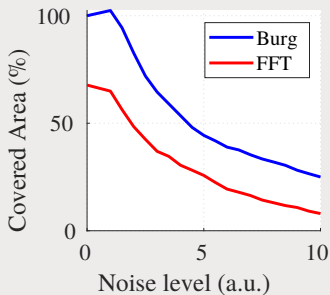


# Robustesse au bruit

## Robustesse au bruit sur séries longues

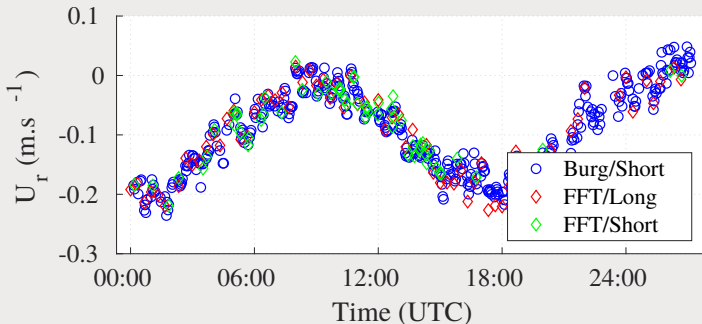
$$s(t, \rho, \theta) = s + \lambda \left( \varepsilon(t) + \exp(2i\pi \left( -2t + \frac{2t^2}{T} \right)) \right)$$

- Comparaison de l'estimation bruitée à l'estimation initiale
- Meilleure robustesse en AR qu'en FFT



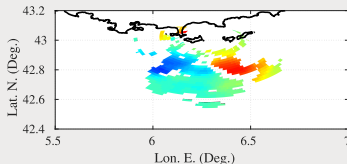
# Séries temporelles du courant

- On fixe une cellule ( $\rho, \theta$ ) pour suivre les séries temporelles du courant
- Permet de vérifier la faisabilité du suivi d'un courant rapidement variable

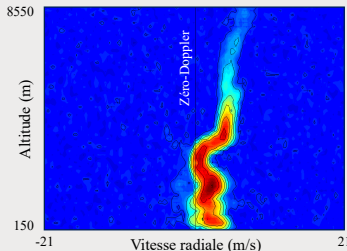


Pas assez de points résolus en FFT 4 min

# Conclusion



Carte de courant, Burg, 18 min



Spectre *Range-Doppler* atmosphérique

- Représentation *AR* + méthode de Burg : amélioration du *SNR* y compris sur des séries brèves
- Critère fort de viabilité des estimations
- Travail en cours : application à des séries temporelles de tsunamis et tests dans l'atmosphère