

Traitement d'images radar marin

Méthodes de traitement d'image et réseau de neurones

J. Michelet^{1,2}, M. Mascarilla², M. M. Tekitek², M. Willebois¹, M. Chandran¹, P. Pouliguen³ et
M. Berthier²

¹Groupe Bowen, Les Ulis

²Laboratoire MIA, La Rochelle Université

³Unité OAR, Agence Innovation Defense, Paris

17 Septembre 2021





Introduction

- Contexte
- Approche

Segmentation/Extraction du fouillis de mer

- Dans le domaine temporel
- Dans le domaine de Fourier
 - Par réseau de neurones
- Complément
 - Par traitement d'image



Image radar marin : Un signal d'intérêt relatif aux cibles potentielles, des échos de sol (côte ou île), du bruit (fouillis de mer principalement). Un signal complexe tridimensionnel (r, θ^{az}, p) souvent nommé données I/Q ;

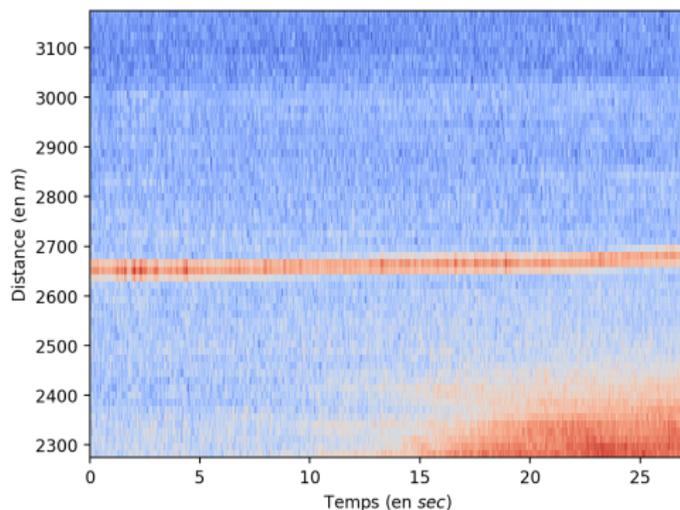


Figure – Énergie du signal rétro-diffusé

Image radar marin : Un signal d'intérêt relatif aux cibles potentielles, des échos de sol (côte ou île), du bruit (fouillis de mer principalement). Un signal complexe tridimensionnel (r, θ^{az}, p) souvent nommé données I/Q ;

Problématique : Un bruit prédominant sur le signal d'intérêt (mer agitée).

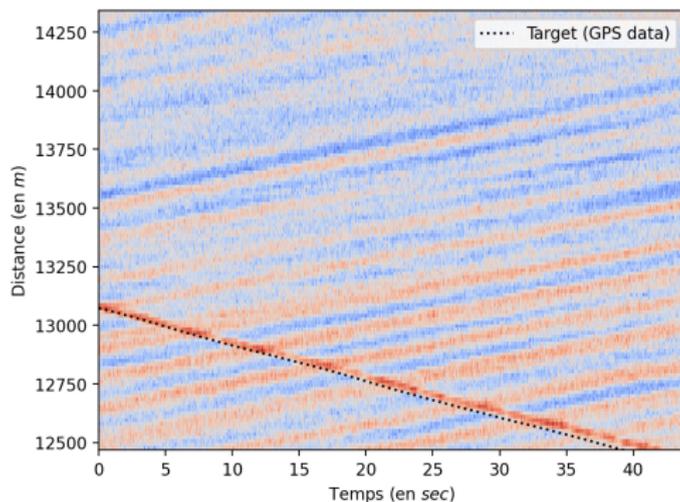


Figure – Énergie du signal rétro-diffusé (Cas difficile)



Image radar marin : Un signal d'intérêt relatif aux cibles potentielles, des échos de sol (côte ou île), du bruit (fouillis de mer principalement). Un signal complexe tridimensionnel (r, θ^{az}, p) souvent nommé données I/Q ;

Problématique : Un bruit prédominant sur le signal d'intérêt (mer agitée). Des cibles à faible signature (renvoyant peu d'énergie).

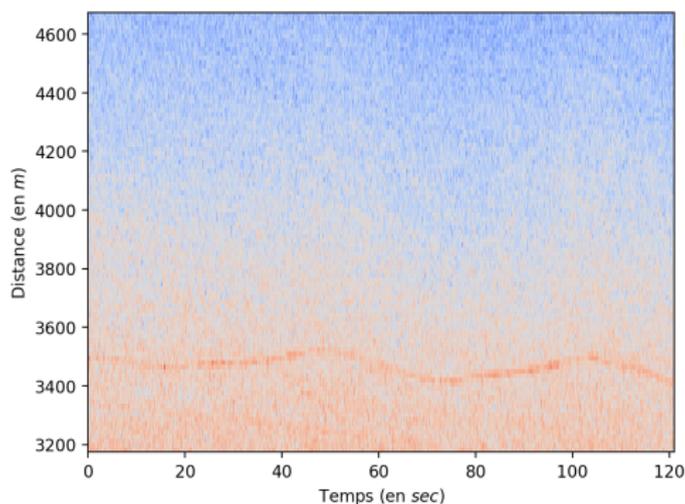


Figure – Énergie du signal rétro-diffusé (Cas très difficile)



- **Traitement du signal** : la moyenne de la fréquence instantanée en chaque cellule : le traitement pulse-Doppler (PDP) ;
- **Traitement d'image** ;

- **Réseau de neurones** ;



- **Traitement du signal** : la moyenne de la fréquence instantanée en chaque cellule : le traitement pulse-Doppler (PDP) ;
- **Traitement d'image** par méthode variationnelle (c.-à-d. par le biais d'Équations aux Dérivées Partielles : EDP) :
 - *Modèle de champs à k -phase (CV- k P) [4, 5] :*

$$\frac{\partial}{\partial t} U(\vec{x}, t) = \frac{\varepsilon \mu}{c_W} \Delta U(\vec{x}, t) - \frac{\mu}{\varepsilon c_W} W'(U(\vec{x}, t) - [U(\vec{x}, t)]) - \alpha A_{T.P.}(U(\vec{x}, t)).$$

- Réseau de neurones ;



- **Traitement du signal** : la moyenne de la fréquence instantanée en chaque cellule : le traitement pulse-Doppler (PDP) ;
- **Traitement d'image** par méthode variationnelle (c.-à-d. par le biais d'Équations aux Dérivées Partielles : EDP) :

■ *Modèle de champs à k -phase (CV- k P) [4, 5] :*

$$\frac{\partial}{\partial t} U(\vec{x}, t) = \frac{\varepsilon\mu}{c_W} \Delta U(\vec{x}, t) - \frac{\mu}{\varepsilon c_W} W'(U(\vec{x}, t) - [U(\vec{x}, t)]) - \alpha A_{T.P.}(U(\vec{x}, t)).$$

■ *Équation de réaction-advection-diffusion (RAD) [2] :*

$$\frac{\partial}{\partial t} U(\vec{x}, t) + \underbrace{\vec{\nabla} \cdot \left[\vec{\nabla} U(\vec{x}, t=0) U(\vec{x}, t) \right]}_{\vec{w}(\vec{x})} - \frac{\varepsilon\mu}{c_W} \Delta U(\vec{x}, t) = - \frac{\mu}{\varepsilon c_W} W'(U).$$

- Réseau de neurones ;



- **Traitement du signal** : la moyenne de la fréquence instantanée en chaque cellule : le traitement pulse-Doppler (PDP) ;
- **Traitement d'image** par méthode variationnelle (c.-à-d. par le biais d'Équations aux Dérivées Partielles : EDP) :

■ *Modèle de champs à k-phase (CV-kP) [4, 5] :*

$$\frac{\partial}{\partial t} U(\vec{x}, t) = \frac{\varepsilon \mu}{c_W} \Delta U(\vec{x}, t) - \frac{\mu}{\varepsilon c_W} W'(U(\vec{x}, t) - [U(\vec{x}, t)]) - \alpha A_{T.P.}(U(\vec{x}, t)).$$

■ *Équation de réaction-advection-diffusion (RAD) [2] :*

$$\frac{\partial}{\partial t} U(\vec{x}, t) + \vec{\nabla} \cdot \left[\underbrace{\vec{\nabla} U(\vec{x}, t = 0)}_{\vec{w}(\vec{x})} U(\vec{x}, t) \right] - \frac{\varepsilon \mu}{c_W} \Delta U(\vec{x}, t) = - \frac{\mu}{\varepsilon c_W} W'(U).$$

■ *Méthode de Boltzmann sur réseau (LB) [1, 2, 3] :*

$$\frac{\partial}{\partial t} f(\vec{x}, t) + \vec{v}^T \cdot \vec{\nabla}_{\vec{x}} f(\vec{x}, t) + \vec{F}^T \cdot \vec{\nabla}_{\vec{v}} f(\vec{x}, t) = \mathcal{Q}(f).$$

- **Réseau de neurones** ;



- **Traitement du signal** : la moyenne de la fréquence instantanée en chaque cellule : le traitement pulse-Doppler (PDP) ;
- **Traitement d'image** par méthode variationnelle (c.-à-d. par le biais d'Équations aux Dérivées Partielles : EDP) :

- *Modèle de champs à k -phase (CV- k P) [4, 5] :*

$$\frac{\partial}{\partial t} U(\vec{x}, t) = \frac{\varepsilon\mu}{c_W} \Delta U(\vec{x}, t) - \frac{\mu}{\varepsilon c_W} W'(U(\vec{x}, t) - [U(\vec{x}, t)]) - \alpha A_{T.P.}(U(\vec{x}, t)).$$

- *Équation de réaction-advection-diffusion (RAD) [2] :*

$$\frac{\partial}{\partial t} U(\vec{x}, t) + \vec{\nabla} \cdot \left[\underbrace{\vec{\nabla} U(\vec{x}, t = 0)}_{\vec{w}(\vec{x})} U(\vec{x}, t) \right] - \frac{\varepsilon\mu}{c_W} \Delta U(\vec{x}, t) = - \frac{\mu}{\varepsilon c_W} W'(U).$$

- *Méthode de Boltzmann sur réseau (LB) [1, 2, 3] :*

$$\frac{\partial}{\partial t} f(\vec{x}, t) + \vec{v}^T \cdot \vec{\nabla}_{\vec{x}} f(\vec{x}, t) + \vec{F}^T \cdot \vec{\nabla}_{\vec{v}} f(\vec{x}, t) = \mathcal{Q}(f).$$

- **Réseau de neurones** : Architecture en double Auto-encoder convolutif et variationnel avec couches résiduelles [6] ;



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine temporel

Problématique – Le fouillis de mer peut occulter l'information de cibles ;

Idée – Extraire le fouillis de mer pour augmenter le rapport signal à bruit+fouillis ;

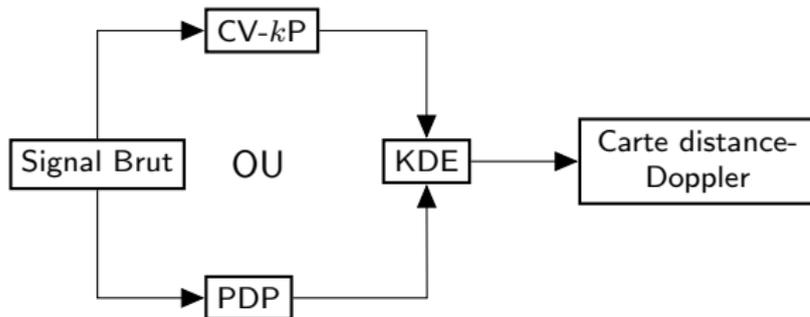


Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine temporel

Problématique – Le fouillis de mer peut occulter l'information de cibles ;

Idée – Extraire le fouillis de mer pour augmenter le rapport signal à bruit+fouillis ;



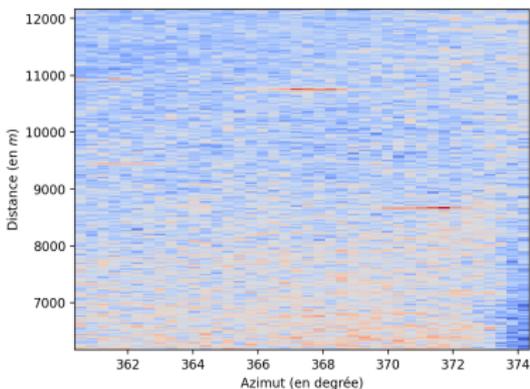
L'estimateur de densité de Parzen (KDE) est utilisé comme fonction de transfert.



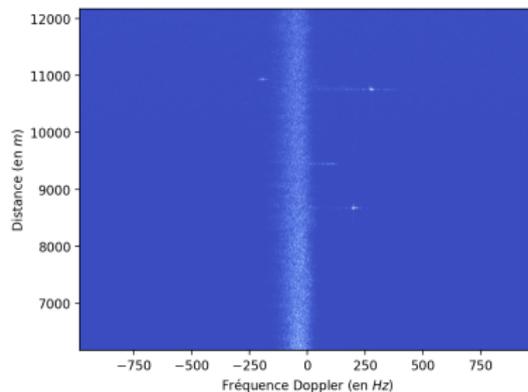
Problématique – Le fouillis de mer peut occulter l'information de cibles ;

Idée – Extraire le fouillis de mer pour augmenter le rapport signal à bruit+fouillis ;

Résultat –



(a) Domaine temporel.



(b) Carte distance-Doppler.

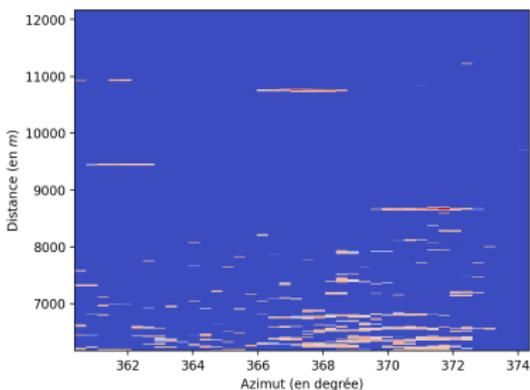
Figure – Signal rétro-diffusé.



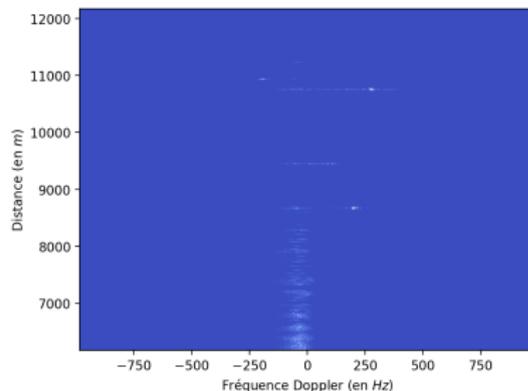
Problématique – Le fouillis de mer peut occulter l'information de cibles ;

Idée – Extraire le fouillis de mer pour augmenter le rapport signal à bruit+fouillis ;

Résultat –



(a) Domaine temporel.



(b) Carte distance-Doppler.

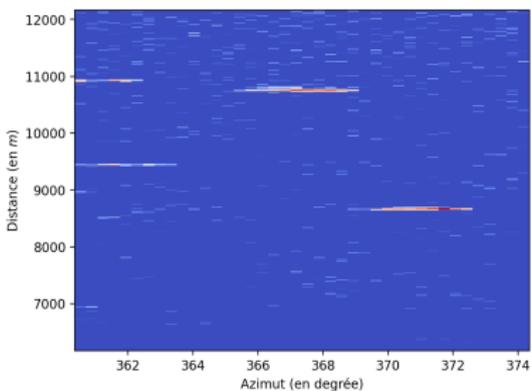
Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la réflectivité du signal rétro-diffusé.



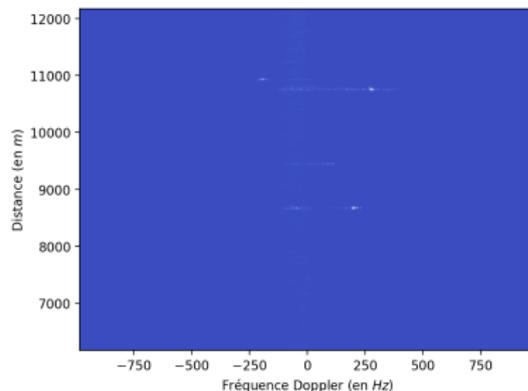
Problématique – Le fouillis de mer peut occulter l'information de cibles ;

Idée – Extraire le fouillis de mer pour augmenter le rapport signal à bruit+fouillis ;

Résultat –



(a) Domaine temporel.



(b) Carte distance-Doppler.

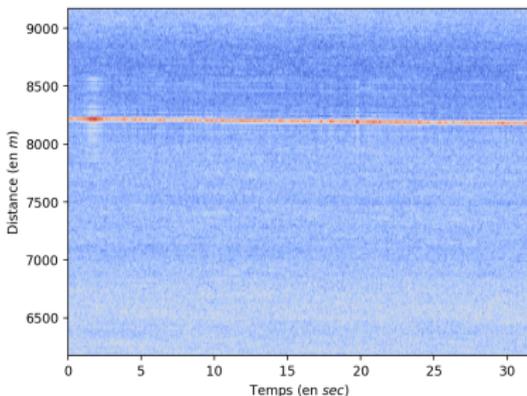
Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la phase du signal rétro-diffusé.



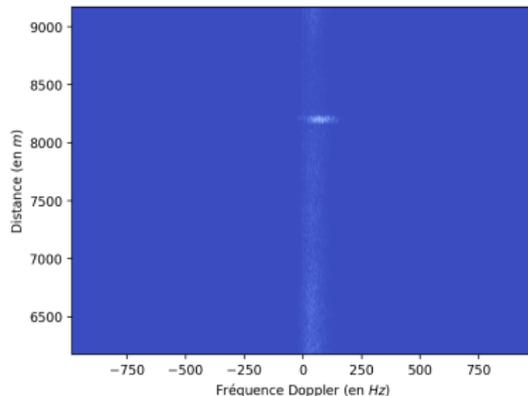
Problématique – Le fouillis de mer peut occulter l'information de cibles ;

Idée – Extraire le fouillis de mer pour augmenter le rapport signal à bruit+fouillis ;

Résultat –



(a) Domaine temporel.



(b) Carte distance-Doppler.

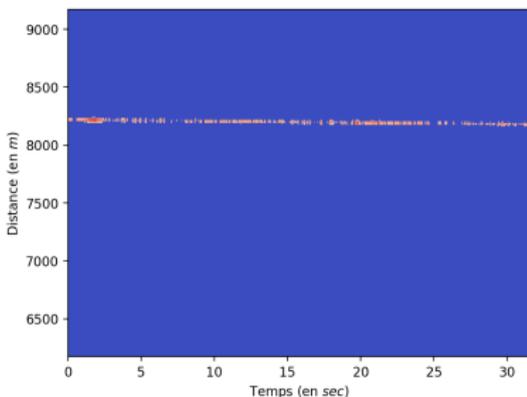
Figure – Signal rétro-diffusé.



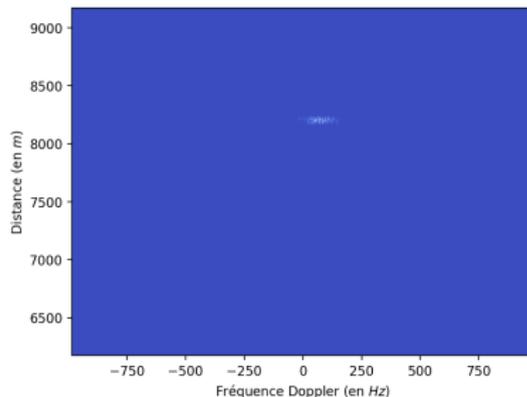
Problématique – Le fouillis de mer peut occulter l'information de cibles ;

Idée – Extraire le fouillis de mer pour augmenter le rapport signal à bruit+fouillis ;

Résultat –



(a) Domaine temporel.



(b) Carte distance-Doppler.

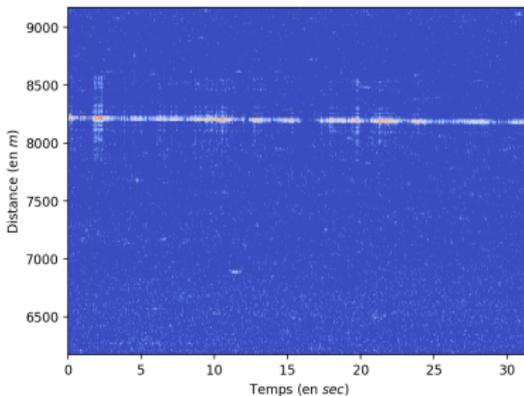
Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la réflectivité du signal rétro-diffusé.



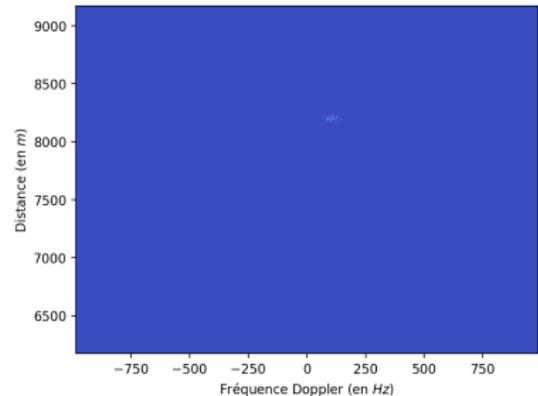
Problématique – Le fouillis de mer peut occulter l'information de cibles ;

Idée – Extraire le fouillis de mer pour augmenter le rapport signal à bruit+fouillis ;

Résultat –



(a) Domaine temporel.



(b) Carte distance-Doppler.

Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la phase du signal rétro-diffusé.



Problématique – Le fouillis de mer peut occulter l'information de cibles ;

Idée – Extraire le fouillis de mer pour augmenter le rapport signal à bruit+fouillis ;

Conclusion

Le CV- k P (utilise l'énergie) considère bien les cibles à haut SNR. Problématique pour une harmonique de vagues ou une forte présence de fouillis de mer ;

Le PDP (utilise la phase du signal analytique) considère bien tout élément à fréquence Doppler différente du fouillis de mer ;

Le KDE permet d'associer à la valeur 1 le fouillis de mer et 0 toute autre information.



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine de Fourier– Par réseau de neurones

Contribution – Une méthode sans paramètre et sans *a priori* sur la nature du signal d'intérêt ;



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine de Fourier– Par réseau de neurones

Contribution – Une méthode sans paramètre et sans *a priori* sur la nature du signal d'intérêt ;

Limitation – Méthode supervisé par le CV-*k*P ou le PDP \iff **Aucune** données annotées ;



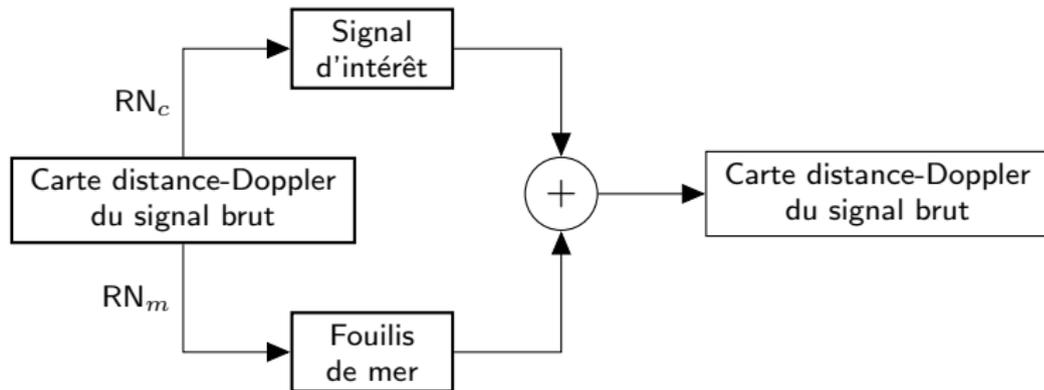
Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine de Fourier– Par réseau de neurones

Contribution – Une méthode sans paramètre et sans *a priori* sur la nature du signal d'intérêt ;

Limitation – Méthode supervisé par le CV-*k*P ou le PDP \iff **Aucune** données annotées ;

Approche – Un double VRCAE pour assurer la distinction entre le fouillis de mer et le signal d'intérêt ;





Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine de Fourier – Par réseau de neurones

Contribution – Une méthode sans paramètre et sans *a priori* sur la nature du signal d'intérêt ;

Limitation – Méthode supervisée par le CV-*k*P ou le PDP \iff **Aucune** données annotées ;

Approche – Un double VRCAE pour assurer la distinction entre le fouillis de mer et le signal d'intérêt

Résultat –

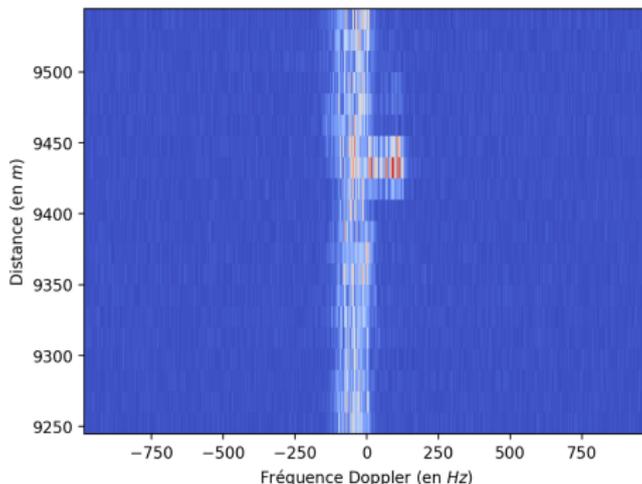


Figure – Carte distance-Doppler du signal rétro-diffusé.



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine de Fourier– Par réseau de neurones

Contribution – Une méthode sans paramètre et sans *a priori* sur la nature du signal d'intérêt ;

Limitation – Méthode supervisée par le CV-*k*P ou le PDP \iff **Aucune** données annotées ;

Approche – Un double VRCAE pour assurer la distinction entre le fouillis de mer et le signal d'intérêt

Résultat –

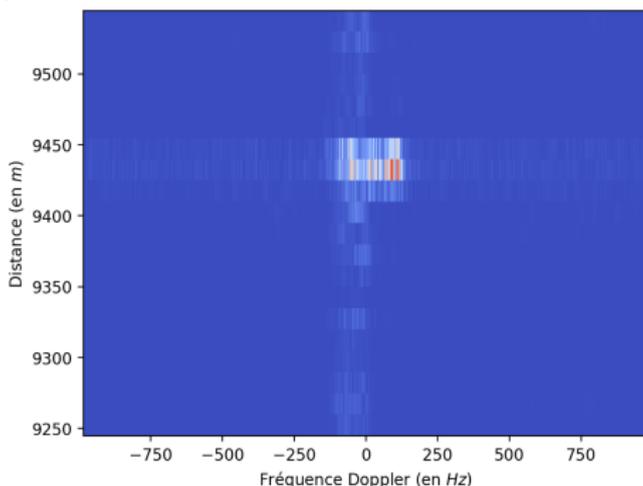


Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la phase du signal rétro-diffusé et vu sur la carte distance-Doppler.



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine de Fourier– Par réseau de neurones

Contribution – Une méthode sans paramètre et sans *a priori* sur la nature du signal d'intérêt ;

Limitation – Méthode supervisé par le CV-*k*P ou le PDP \iff **Aucune** données annotées ;

Approche – Un double VRCAE pour assurer la distinction entre le fouillis de mer et le signal d'intérêt

Résultat –

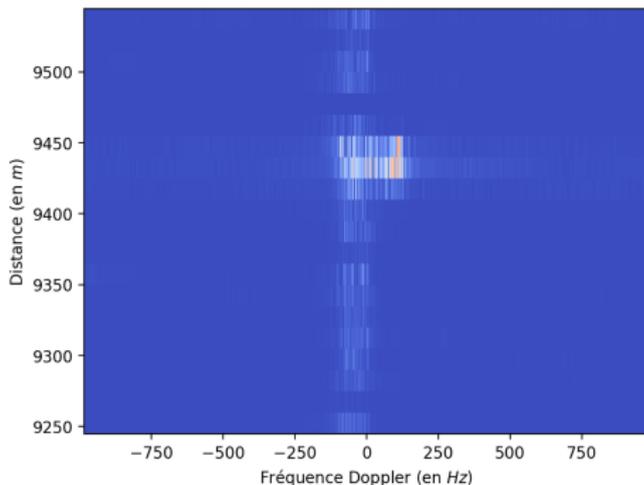


Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de l'auto-encoder et vu sur la carte distance-Doppler.



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine de Fourier– Par réseau de neurones

Contribution – Une méthode sans paramètre et sans *a priori* sur la nature du signal d'intérêt ;

Limitation – Méthode supervisé par le CV-*k*P ou le PDP \iff **Aucune** données annotées ;

Approche – Un double VRCAE pour assurer la distinction entre le fouillis de mer et le signal d'intérêt ;

Résultat –

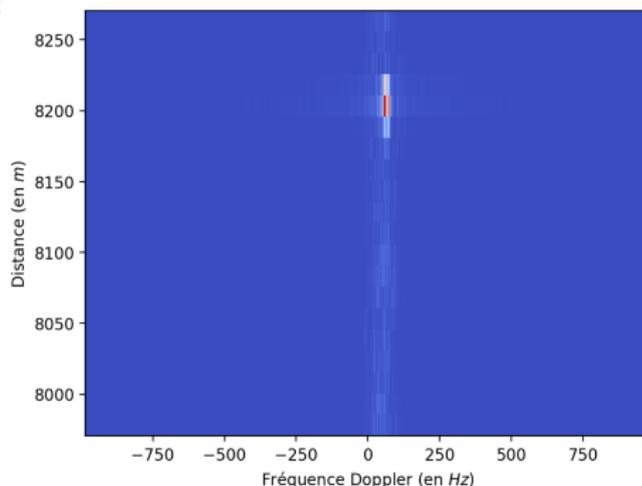


Figure – Carte distance-Doppler du signal rétro-diffusé.



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine de Fourier– Par réseau de neurones

Contribution – Une méthode sans paramètre et sans *a priori* sur la nature du signal d'intérêt ;

Limitation – Méthode supervisé par le CV-*k*P ou le PDP \iff **Aucune** données annotées ;

Approche – Un double VRCAE pour assurer la distinction entre le fouillis de mer et le signal d'intérêt ;

Résultat –

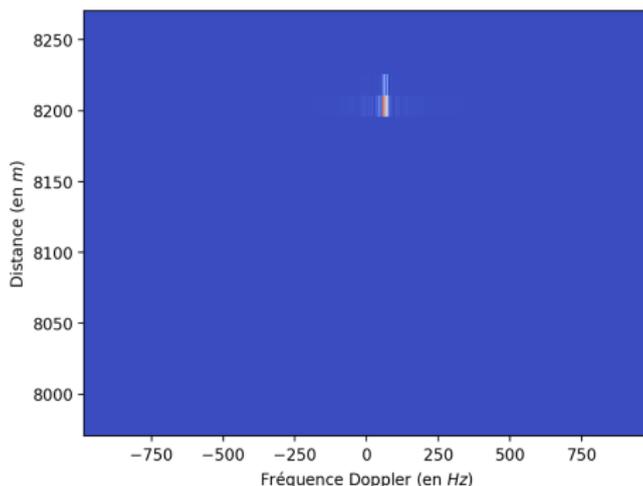


Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la réflectivité du signal rétro-diffusé et vu sur la carte distance-Doppler.



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Dans le domaine de Fourier– Par réseau de neurones

Contribution – Une méthode sans paramètre et sans *a priori* sur la nature du signal d'intérêt ;

Limitation – Méthode supervisé par le CV-*k*P ou le PDP \iff **Aucune** données annotées ;

Approche – Un double VRCAE pour assurer la distinction entre le fouillis de mer et le signal d'intérêt ;

Résultat –

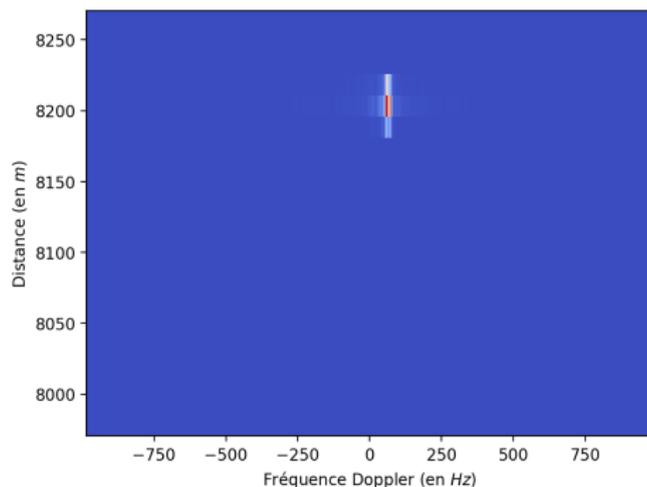


Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de l'auto-encoder et vu sur la carte distance-Doppler.



Problématique – Le fouillis de mer reste encore présent. Du bruit (au sens image) apparaît par application de la transformée de Fourier numérique;

Idée – Renforcer le signal d'intérêt tout en continuant d'extraire le fouillis de mer et réduire le bruit au sens image;



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Complément– Par traitement d'image

Problématique – Le fouillis de mer reste encore présent. Du bruit (au sens image) apparaît par application de la transformée de Fourier numérique;

Idée – Renforcer le signal d'intérêt tout en continuant d'extraire le fouillis de mer et réduire le bruit au sens image;

Méthode – Schéma LB (en temps réel) pour l'équation RAD.

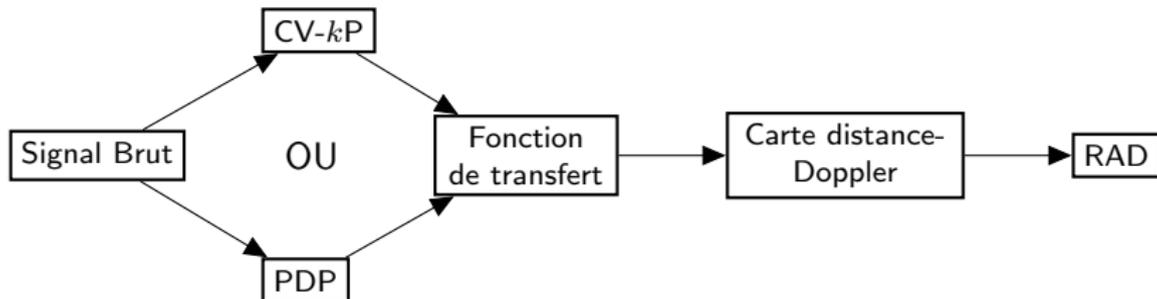


Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Complément– Par traitement d'image

Problématique – Le fouillis de mer reste encore présent. Du bruit (au sens image) apparaît par application de la transformée de Fourier numérique;

Idée – Renforcer le signal d'intérêt tout en continuant d'extraire le fouillis de mer et réduire le bruit au sens image ;





Problématique – Le fouillis de mer reste encore présent. Du bruit (au sens image) apparaît par application de la transformée de Fourier numérique;

Idée – Renforcer le signal d'intérêt tout en continuant d'extraire le fouillis de mer et réduire le bruit au sens image;

Résultat –

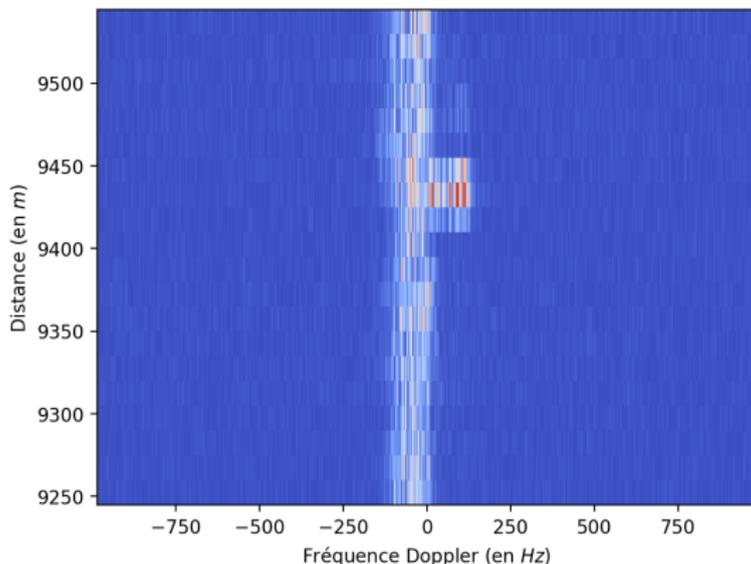


Figure – Carte distance-Doppler du signal rétro-diffusé.



Problématique – Le fouillis de mer reste encore présent. Du bruit (au sens image) apparaît par application de la transformée de Fourier numérique;

Idée – Renforcer le signal d'intérêt tout en continuant d'extraire le fouillis de mer et réduire le bruit au sens image;

Résultat –

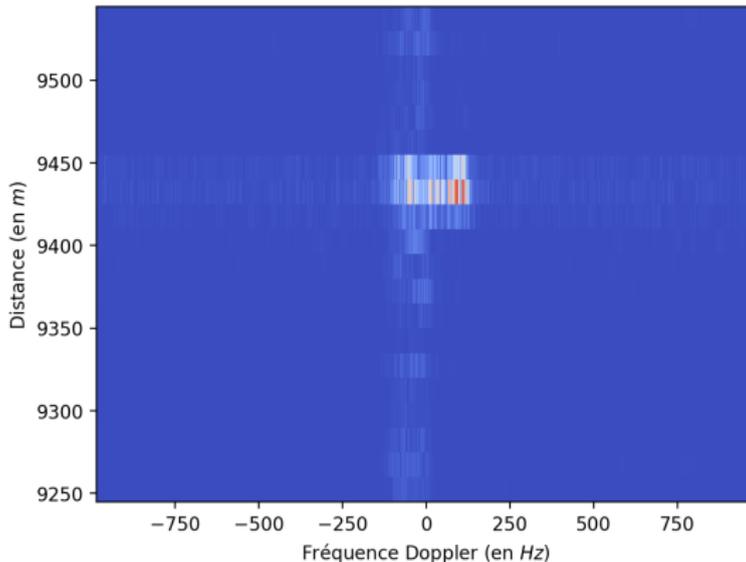


Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la phase du signal rétro-diffusé et vu sur la carte distance-Doppler.



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Complément– Par traitement d'image

Problématique – Le fouillis de mer reste encore présent. Du bruit (au sens image) apparaît par application de la transformée de Fourier numérique;

Idée – Renforcer le signal d'intérêt tout en continuant d'extraire le fouillis de mer et réduire le bruit au sens image;

Résultat –

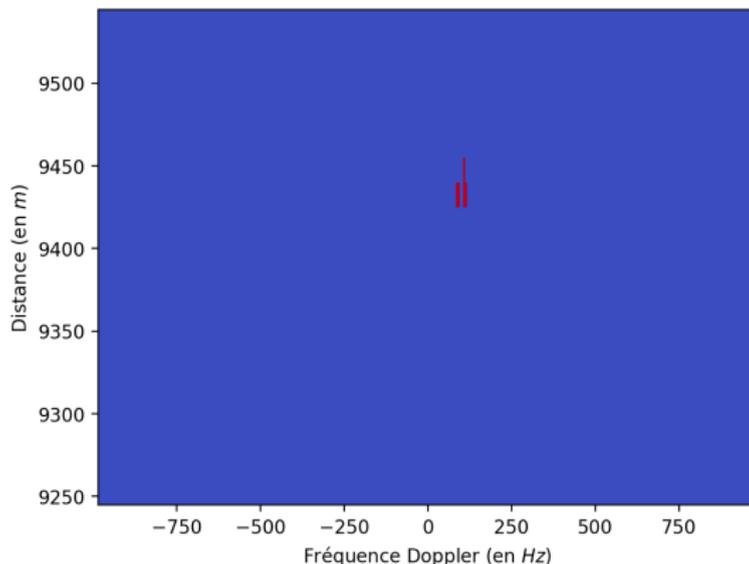


Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la phase du signal rétro-diffusé puis application du schéma LB et vu sur la carte distance-Doppler.



Problématique – Le fouillis de mer reste encore présent. Du bruit (au sens image) apparaît par application de la transformée de Fourier numérique;

Idée – Renforcer le signal d'intérêt tout en continuant d'extraire le fouillis de mer et réduire le bruit au sens image ;

Résultat –

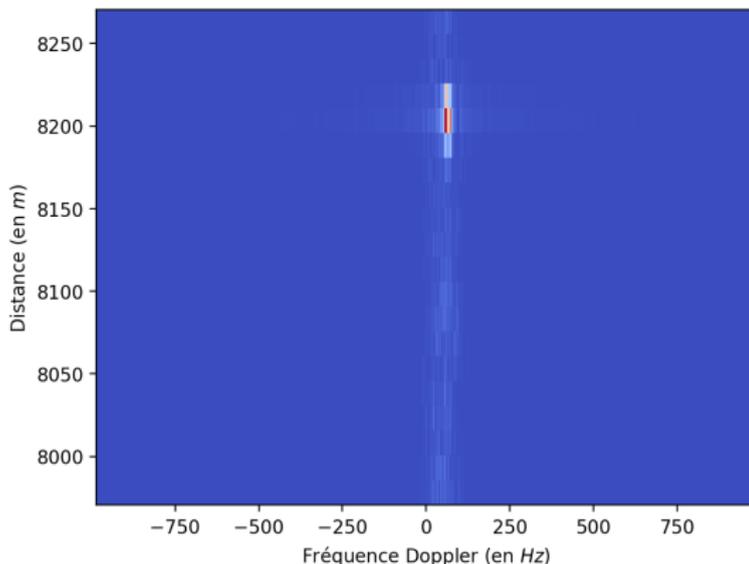


Figure – Carte distance-Doppler du signal rétro-diffusé.



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Complément– Par traitement d'image

Problématique – Le fouillis de mer reste encore présent. Du bruit (au sens image) apparaît par application de la transformée de Fourier numérique;

Idée – Renforcer le signal d'intérêt tout en continuant d'extraire le fouillis de mer et réduire le bruit au sens image;

Résultat –

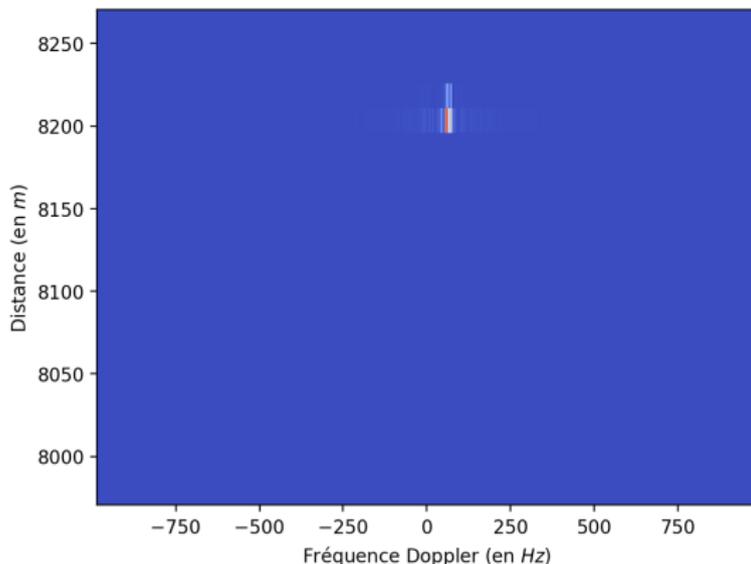


Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la réflectivité du signal rétro-diffusé et vu sur la carte distance-Doppler.



Segmentation/Extraction du fouillis de mer

Complément– Par traitement d'image

Problématique – Le fouillis de mer reste encore présent. Du bruit (au sens image) apparaît par application de la transformée de Fourier numérique;

Idée – Renforcer le signal d'intérêt tout en continuant d'extraire le fouillis de mer et réduire le bruit au sens image;

Résultat –

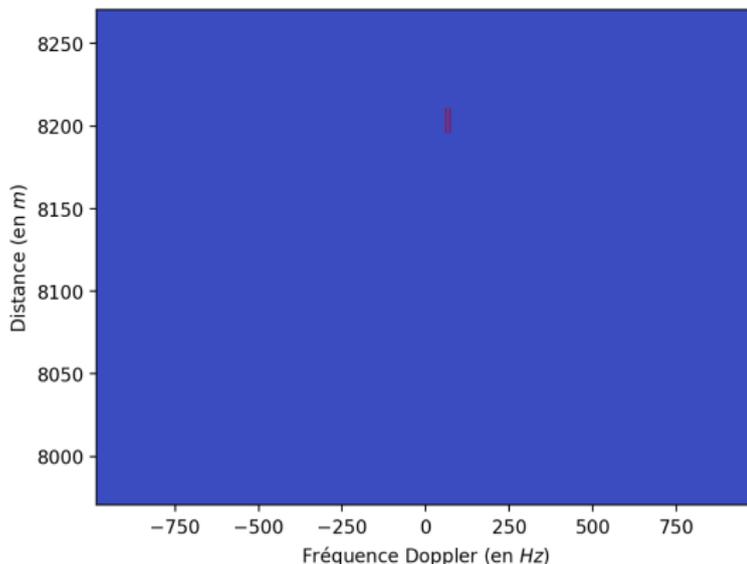


Figure – Extraction du fouillis de mer à partir de la réflectivité du signal rétro-diffusé puis application du schéma LB et vu sur la carte distance-Doppler.



D. d'Humières, "Generalized lattice-Boltzmann equations," in *Rarefied Gas Dynamics : Theory and Simulations*, vol. 159, pp. 450–458, AIAA Progress in Aeronautics and Astronautics, 1992.



J. Michelet, M. M. Tekitek, and M. Berthier, "Multiple relaxation time lattice Boltzmann model for advection-diffusion equations with application to radar image processing," *Journal of Computational Physics* (under review), 2021.



K. L. Nguyen, M. M. Tekitek, P. Delachartre, and M. Berthier, "Multiple relaxation time lattice Boltzmann models for multigrid phase-field segmentation of tumors in 3D ultrasound images," *SIAM Journal on Imaging Sciences*, vol. 12, pp. 1324–1346, jan 2019.



J. Michelet, L. Mascarilla, H. Chandran, and M. Berthier, "Geometric segmentation of sea clutter in coherent radar images : Range-Doppler Map versus Range-Time Intensity Map," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 57, pp. 2278–2287, aug 2021.



Y. Li and J. Kim, "Multiphase image segmentation using a phase-field model," *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 62, no. 2, pp. 737–745, 2011.



J. Michelet, L. Mascarilla, H. Chandran, and M. Berthier, "Coherent marine radar images : training a CNN using dedicated image processing methods for sea clutter extraction and signal of interest enhancement," Soumis à *IEEE International Conference in Image Processing*, feb 2022.



Merci de votre attention !

Questions ?