



HAL
open science

Isolignes en Imagerie Radar pour la Lecture et l'Identification de Capteurs Passifs Sans Fil

Dominique Henry, Timothee Marchal, Julien Philippe, Patrick Pons, Hervé Aubert

► **To cite this version:**

Dominique Henry, Timothee Marchal, Julien Philippe, Patrick Pons, Hervé Aubert. Isolignes en Imagerie Radar pour la Lecture et l'Identification de Capteurs Passifs Sans Fil. Journées nationales Micro-ondes (JNM), Jun 2022, Limoges, France. hal-03670185

HAL Id: hal-03670185

<https://laas.hal.science/hal-03670185>

Submitted on 19 May 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Isolignes en Imagerie Radar pour la Lecture et l'Identification de Capteurs Passifs Sans Fil

D. Henry¹, T. Marchal¹, J. Philippe¹, P. Pons¹, H. Aubert¹

May 19, 2022

Abstract

Cet article présente une méthode de lecture et d'identification de capteurs passifs sans fil à l'aide d'isolignes en imagerie radar. Deux capteurs de pression dépolarisants sont interrogés par un radar FM-CW à une fréquence de 24GHz et à des distances de 4.2m et 4.8m. Les isolignes d'échos radar sont utilisées pour la lecture de la pression et pour l'identification des capteurs à l'aide d'une classification des k-plus proches voisins. Une estimation de l'incertitude de mesure pour différentes combinaisons de polarisations est finalement proposée.

1 Introduction

L'interrogation à distance de capteurs peut s'avérer complexe pour des applications en environnement contraint où l'électronique embarquée risque d'être détériorée par des conditions extrêmes (par exemple des fortes températures ou de fortes doses de radiations nucléaires). Dans ces conditions, l'utilisation de capteurs passifs (sans batteries, ni circuits intégrés) et sans fil peut être envisagée. Les capteurs passifs RFID ou SAW peuvent être une solution si la portée requise ne dépasse pas quelques mètres. Pour de plus longues distances d'interrogation, une solution proposée par les auteurs de cet article est l'utilisation de capteurs passifs sans fils interrogeables par un radar à ondes continues et à modulation de fréquence (FM-CW). La distance d'interrogation de ces capteurs peut alors atteindre plusieurs dizaines de mètres dans des environnements fortement réfléchissants pour les ondes électromagnétiques [1].

On propose dans ce nouvel article une méthode de lecture et d'identification de capteurs passifs à l'aide d'*isolignes* d'écho radars. Ces isolignes sont définies comme des lignes de niveaux d'écho identiques utilisées pour segmenter des échos radars issus d'un balayage radar en trois dimensions. Elles servent dans ces travaux d'une part à la lecture de capteurs dépolarisants sans fil et passifs de pression placés dans une boucle d'essai à EDF, et d'autre part à l'identification des capteurs et du clutter électromagnétique dans cet environnement fortement réfléchissant par une classification des échos radar.

2 Lecture de capteurs passifs sans fil

Dans cette application, deux capteurs de pression sans fil et passifs (c'est-à-dire sans batterie ni circuit d'alimentation) sont interrogés par un radar FM-CW en environnement fortement réfléchissant. Ces capteurs sont composés d'un élément sensible à la pression (transducteur électromagnétique sous forme de cavité résonante à deux accès [2]) connecté via une ligne à retard de longueur L à deux antennes cornets dont les polarisations sont orthogonales. Les caractéristiques de ces capteurs sont reportées dans le Tableau 2. La Figure 1 illustre un scénario où les deux capteurs passifs de pression sont positionnés à des distances respectives, notées R , de 4.2m (en bleu) et 4.8m (en rouge) d'un radar FM-CW. Le radar émet une fréquence de base $f_b=23.8\text{GHz}$ modulée sur une bande en fréquence $B=2\text{GHz}$ avec une puissance d'émission de 10mW. La résolution en profondeur théorique d est donc donnée par $\frac{c}{2B}=7.5\text{cm}$ où c désigne la célérité de la lumière dans le vide. Le front-end du radar est composé d'un canal d'émission (Tx) connecté à une antenne cornet avec lentille (gain de 28dBi, angle d'ouverture de 6°) en polarisation verticale (V) ou horizontale (H), et de deux canaux de réception (Rx_1 et Rx_2) connectés à deux antennes cornets dont les polarisations sont orthogonales (gain de 20dBi; V pour Rx_1 ; H pour Rx_2). Le radar est monté sur une plateforme à balayage mécanique de type *pan-tilt*. En scanant la scène, nous obtenons des images radars en trois dimensions (élévation θ , azimut φ et distance R) pour différentes combinaisons de polarisation en émission et réception, à savoir VV et HH en copolarisation et VH et HV en polarisation croisée. Les antennes cornets des capteurs sont polarisées de telle sorte que les amplitudes d'échos radar associés aux modes de détection VH et HV des capteurs varient en fonction de la pression appliquée sur le transducteur. L'amplitude des échos radars des capteurs 1 et 2 pour différentes valeurs de surpression est affichée sur la Figure 2 en configuration de polarisation VH . Les abscisses et les ordonnées des images sont respectivement les angles en azimut et élévation du balayage mécanique effectué. On observe une diminution de l'amplitude de l'écho radar en fonction de la surpression pour les deux capteurs. Afin de caractériser cette variation de niveau d'écho, les isolignes dans le plan (φ, θ) sont extraites et superposées sur la Figure 2. Ces isolignes relient les niveaux d'écho identiques dans l'image radar. En choisissant comme critère de sélection le nombre de maxima locaux d'amplitude, les échos radar sont segmentés par les isolignes. Le maximum d'amplitude d'écho radar, noté e_{max} , est alors extrait. Nous obtenons alors une caractérisation du capteur en calculant e_{max} en fonction de la surpression. Dans l'exemple présenté en configuration VH , les capteurs 1 et 2 présentent une sensibilité de 2.5dB/bar et des dynamiques pleine échelle respectives de 0.9dB et 2.3dB.

3 Identification de capteurs passifs sans fil

Il y a deux types d'identifications possibles: la distinction entre les échos radar des capteurs et le "clutter" (c'est-à-dire des échos radars parasites) et la distinc-

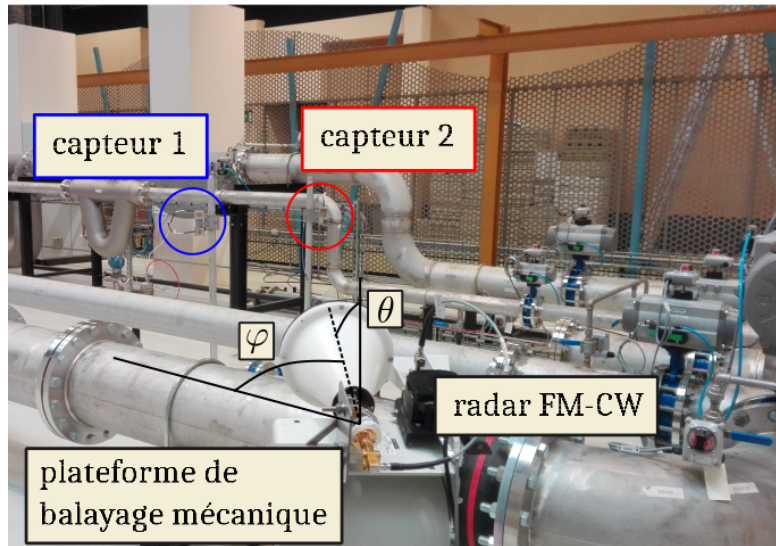


Figure 1: Deux capteurs passifs interrogés par un radar FM-CW à une distance de 4.2m (en bleu) et 4.8m (en rouge).

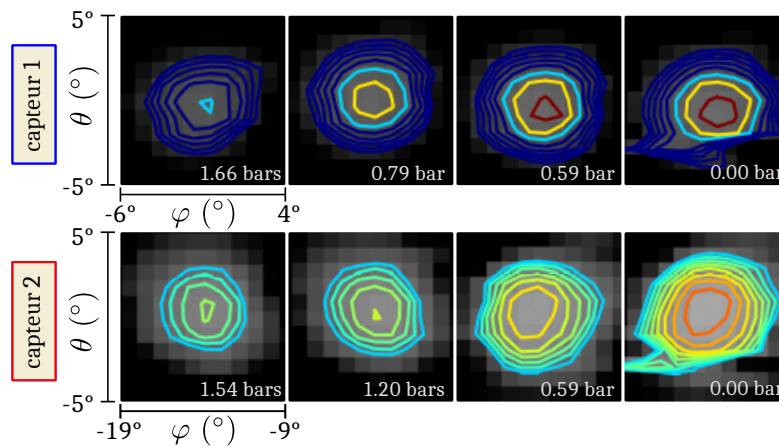


Figure 2: Images radar des capteurs 1 et 2 et isolignes d'échos radar pour différentes valeurs de suppression en configuration *VH*

tion entre les échos radars de différents capteurs présents dans la scène. Pour évaluer la faisabilité de ces identifications, une classification des échos radars est effectuée. On considère trois classes pour l'identification: le clutter (classe 0), le capteur 1 (classe 1) et le capteur 2 (classe 2). Quatre caractéristiques d'entrée de la classification sont des paramètres issus des échos radars segmentés par les isolignes. Ces paramètres sont les valeurs maximales d'écho radar e_{max} pour les quatre configurations VV , VH , HV et HH . La méthode de classification utilisée est celle dite des *k-plus proches voisins* de la librairie scikit-learn [3]. Sur les données issues de 20 interrogations radars effectuées pour différentes valeurs de pression, la première moitié des données est utilisée pour entraîner la classification avec une valeur $k=4$. La seconde moitié des données est utilisée pour tester la classification. Les matrices de confusion d'entraînement et de test de la classification sont affichées dans le tableau 1. On observe que pour ce scénario, les trois classes d'écho radar ont été extraites sans erreur durant l'entraînement et le test, et cela malgré le grand nombre d'échos radars de classe 0 (clutter). Pour illustrer ce résultat, les isolignes des échos radars dans le repère (θ, φ, R) pour les configurations VV , VH , HV et HH sont affichées après classification pour des suppressions de 0.7 bar et 1.1 bar appliquées sur les capteurs 1 (isolignes bleues) et 2 (isolignes rouges). On remarque que le nombre d'isolignes du clutter (en couleur noire) sont beaucoup moins nombreuses en combinaison de polarisations croisées qu'en copolarisation (environ 40% moins nombreuses) car dans notre application, l'environnement dépolarise peu les ondes électromagnétiques. Cette identification semble fonctionner pour deux capteurs dans cet environnement avec seulement 10 mesures, mais il est possible qu'un nombre supplémentaire de mesures soient nécessaires à l'entraînement du classificateur pour un fonctionnement dans des scènes de mesures différentes.

		estimation					
		entraînement			test		
		0	1	2	0	1	2
vraie classe	0	873	0	0	887	0	0
	1	0	5	0	0	5	0
	2	0	0	5	0	0	5

entraînement: 10 balayages - test: 10 balayages

Table 1: Matrices de confusion de la classification des échos radars

4 Lecture de capteurs passifs sans fil

La suppression appliquée sur les capteurs peut être retrouvée à partir des isolignes identifiées au préalable comme étant celles des échos radars des capteurs. Sur la Figure 4 est représenté l'estimateur statistique e_{max}^p en fonction de la suppression pour les quatre combinaisons de polarisations $p=VV, VH, HV$ et HH . Les lignes horizontales annotées de la lettre \mathcal{N} indiquent le niveau d'écho min-

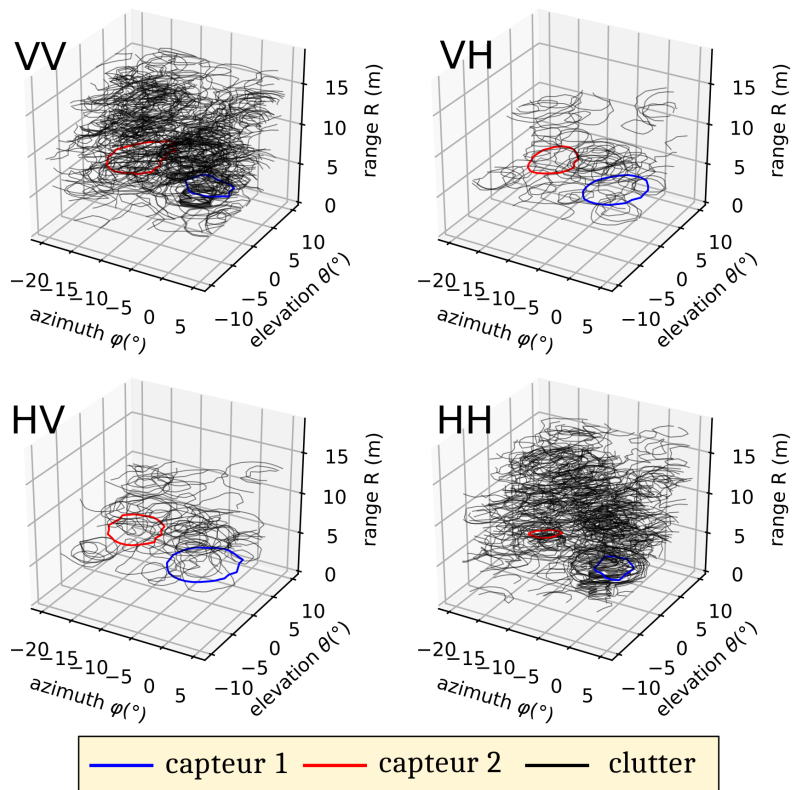


Figure 3: Isolignes tracées dans les 4 combinaisons de polarisation VV , VH , HV et HH après classification

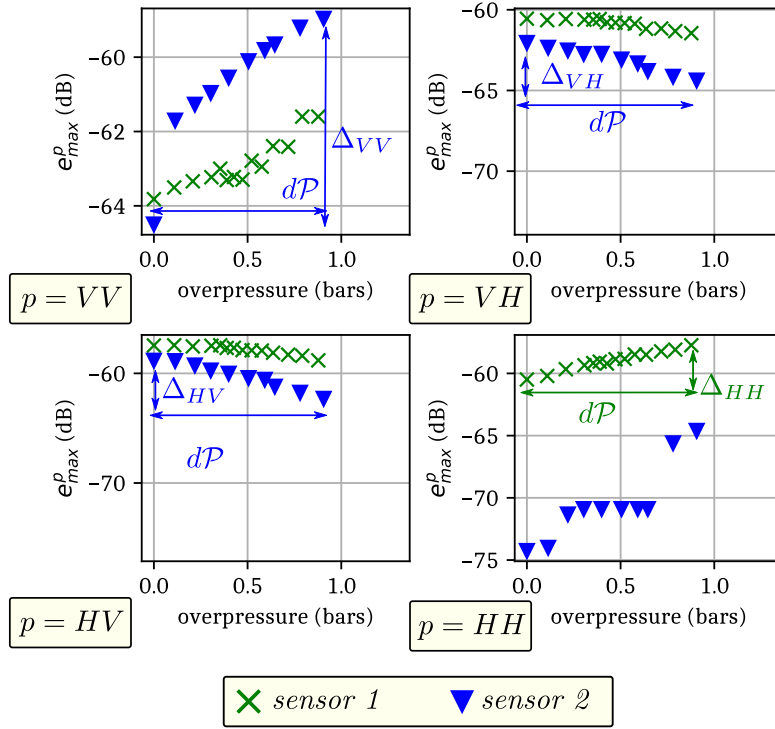


Figure 4: Estimateur e_{max}^p en fonction de la surpression appliquée sur les capteurs passifs 1 (triangles bleus) et 2 (croix vertes) pour différentes combinaisons de polarisation p

imal attendu (ou niveau de bruit) pour pouvoir lire le capteur. Lorsque un écho radar n'est pas détecté pour une surpression donnée, on assigne à e_{max}^p la valeur par défaut du niveau de bruit \mathcal{N} . Afin d'évaluer les caractéristiques des capteurs pour une combinaison de polarisations spécifique p , on définit pour chaque capteur la dynamique pleine échelle Δ_p du niveau d'écho, ainsi que la sensibilité $\alpha_p = \frac{\Delta_p}{dP}$ dans l'intervalle de surpression notée dP . Plus la valeur de α_p est élevée, plus le capteur de pression est sensible. Pour comparer l'efficacité de chaque combinaison de polarisations, on définit le rapport $\frac{\Delta_p}{\Delta_{S_q}}$, où Δ_{S_q} est la dynamique pleine échelle des paramètres S du capteur de pression dans l'intervalle de surpression dP . Ces paramètres sont reportés dans le tableau 2 et les dynamiques pleines échelles Δ_p sont annotées sur la Figure 4. Le capteur 1 présente une haute sensibilité $\alpha_{VV}=0.75$ dans l'intervalle de surpression $dP=0.9$ bar. Le rapport $\frac{\Delta_{HH}}{\Delta_{S_{22}}}=0.30$ est en revanche plus bas que celui des autres combinaisons de polarisations. Ces différences sont causées par des niveaux de bruit variables dans l'environnement en fonction de la combinaison de polarisations utilisée.

Table 2: Performances des capteurs de pression passifs pour les différentes combinaisons de polarisation

p / S _q	capteur 1				capteur 2			
	Δ _p	ΔS _q	α _p	$\frac{\Delta p}{\Delta S_q}$	Δ _p	ΔS _q	α _p	$\frac{\Delta p}{\Delta S_q}$
VV / S ₁₁	2.2	2.9	2.5	0.75	2.8	4.2	3.1	0.66
VH / S ₁₂	0.9	2.5	1.0	0.36	2.3	2.7	2.5	0.85
HV / S ₂₁	1.3	2.5	1.5	0.52	3.4	2.8	3.8	1.21
HH / S ₂₂	2.7	9.0	3.1	0.30	NR ^a	6.9	NR ^a	NR ^a

R=4.2m; L=0.3m; R+L=4.5m R=4.8m; L=1.2m; R+L=6.0m
 dP=0.9bar dP=0.9bar

Δ_p en dB; ΔS_q en dB; α_p en dB per bar; $\frac{\Delta p}{\Delta S_q}$ en dB par dB

^aNR: échec de la lecture par la présence de clutter

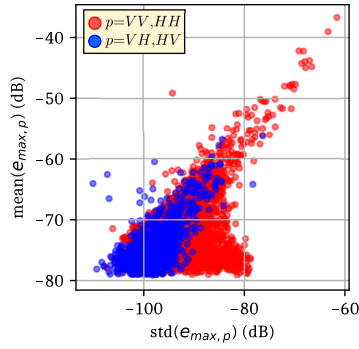
5 Incertitude de la mesure

Afin d'évaluer l'incertitude de la mesure du niveau d'écho radar, le balayage mécanique de l'antenne radar est répété successivement 50 fois. La valeur moyenne et l'écart-type du niveau d'écho, ainsi que toutes les isolines générées dans la scène, sont extraites. La valeur moyenne et l'écart-type de $e_{max,p}$ sont calculés et affichés sur la Figure 5a en échelle logarithmique. Chaque cercle représente un écho radar mesuré 50 fois. Les combinaisons en copolarisations et polarisations croisées sont affichées respectivement par les couleurs rouges et bleues. On observe que $mean(e_{max,p})$ et $std(e_{max,p})$ sont fortement corrélés et que $mean(e_{max,p})$ augmente avec $std(e_{max,p})$.

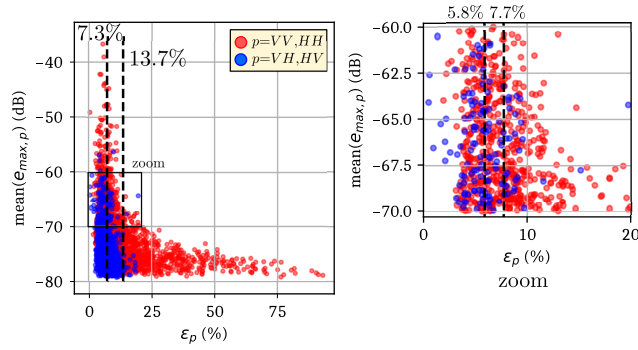
On définit alors à partir de ces deux paramètres l'incertitude de mesure ϵ_p du niveau d'écho radar par:

$$\epsilon_p = \frac{std(e_{max,p})}{mean(e_{max,p})} \quad (1)$$

L'incertitude de mesure ϵ_p (in %) est affichée sur la Figure 5b en fonction de $mean(e_{max,p})$. ϵ_p diminue avec $mean(e_{max,p})$ et comme attendu, l'estimation de la suppression obtenue à partir des isolignes de faible niveau d'écho radar est moins précise que celle obtenue à partir des isolignes de niveau d'écho radar élevé. En revanche, comparées aux combinaisons de copolarisations, l'incertitude de mesure est fortement réduite en combinaisons de polarisations croisées. La valeur de ϵ_p est affichée en lignes pointillées noires: $\epsilon_p=13.7\%$ pour $p=VV$ et $p=HH$, $\epsilon_p=7.3\%$ pour $p=VH$ et $p=HV$. À titre d'exemple pour le capteur 2, on observe sur la Figure 4 que $e_{max,p}$ varie entre -60dB and -70dB. À partir du zoom de la Figure 5b, la valeur moyenne obtenue de ϵ_p est égale à 7.7% pour $p=VV$ et HH dans cet intervalle de niveau d'écho. L'incertitude de mesure sur le niveau d'écho radar en combinaisons de polarisations croisées



(a)



(b)

Figure 5: Valeur moyenne $mean(e_{max,p})$ de l'estimateur statistique $e_{max,p}$ en fonction de (a) l'écart-type $std(e_{max,p})$ et (b) de l'incertitude de mesure ϵ_p . Les cercles rouges et bleus représentent les isolignes obtenues respectivement en combinaisons de copolarisations et polarisations croisées.

diminue: la valeur moyenne obtenue de ϵ_p est égale à 5.8% pour $p=VH$ et HV dans l'intervalle $-70\text{dB} \leq e_{max,p} < -60\text{dB}$.

6 Conclusion

Ces travaux montrent que la lecture et l'identification de capteurs passifs et sans fil dans un environnement contraint est possible à l'aide d'un traitement par isolignes d'images radars. Il reste cependant à évaluer si cette identification est applicable sur un ensemble varié d'environnements et pour un plus grand nombre de capteurs. La classification présentée ici est construite sur des amplitudes d'échos radar pour différentes configurations de polarisation, mais d'autres paramètres peuvent être envisagés pour réaliser cette classification, comme par exemple la forme des isolignes dans les images radar.

References

- [1] D. Henry *et al.*, "Classification of radar echoes for identification and remote reading of chipless millimeter-wave sensors," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 69, no. 1, pp. 926–937, 2021.
- [2] J. Philippe *et al.*, "In-situ wireless pressure measurement using zero-power packaged microwave sensors," *Sensors*, vol. 19, no. 6, 2019.
- [3] F. Pedregosa *et al.*, "Scikit-learn: Machine learning in Python," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.