



DÉSENTRELACEMENT ET CLASSIFICATION DE SIGNAUX RADAR BASÉS SUR DES DISTANCES DE TRANSPORT OPTIMAL

MANON MOTTIER, GILLES CHARDON, FRÉDÉRIC PASCAL
Laboratoire des signaux et systèmes, Université Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec

INTRODUCTION

L'identification d'émetteurs RADAR représente un enjeu primordial dans le domaine de la guerre électronique d'autant plus que ces émetteurs présentent des caractéristiques de plus en plus complexes. Basée sur l'utilisation des distances de transport optimal, nous avons développé une méthodologie pour désentrelacer les impulsions d'un nombre inconnu d'émetteurs, puis identifier ces émetteurs grâce à une base de données. La méthodologie est testée sur des données obtenues grâce à un simulateur de données.

DESCRIPTION DES DONNÉES

Les impulsions RADARs sont segmentées, analysées puis décrites par quatre caractéristiques :

- fréquence (f_n)
- durée d'impulsion (pw_n)
- niveau (g_n)
- temps d'arrivée (t_n)

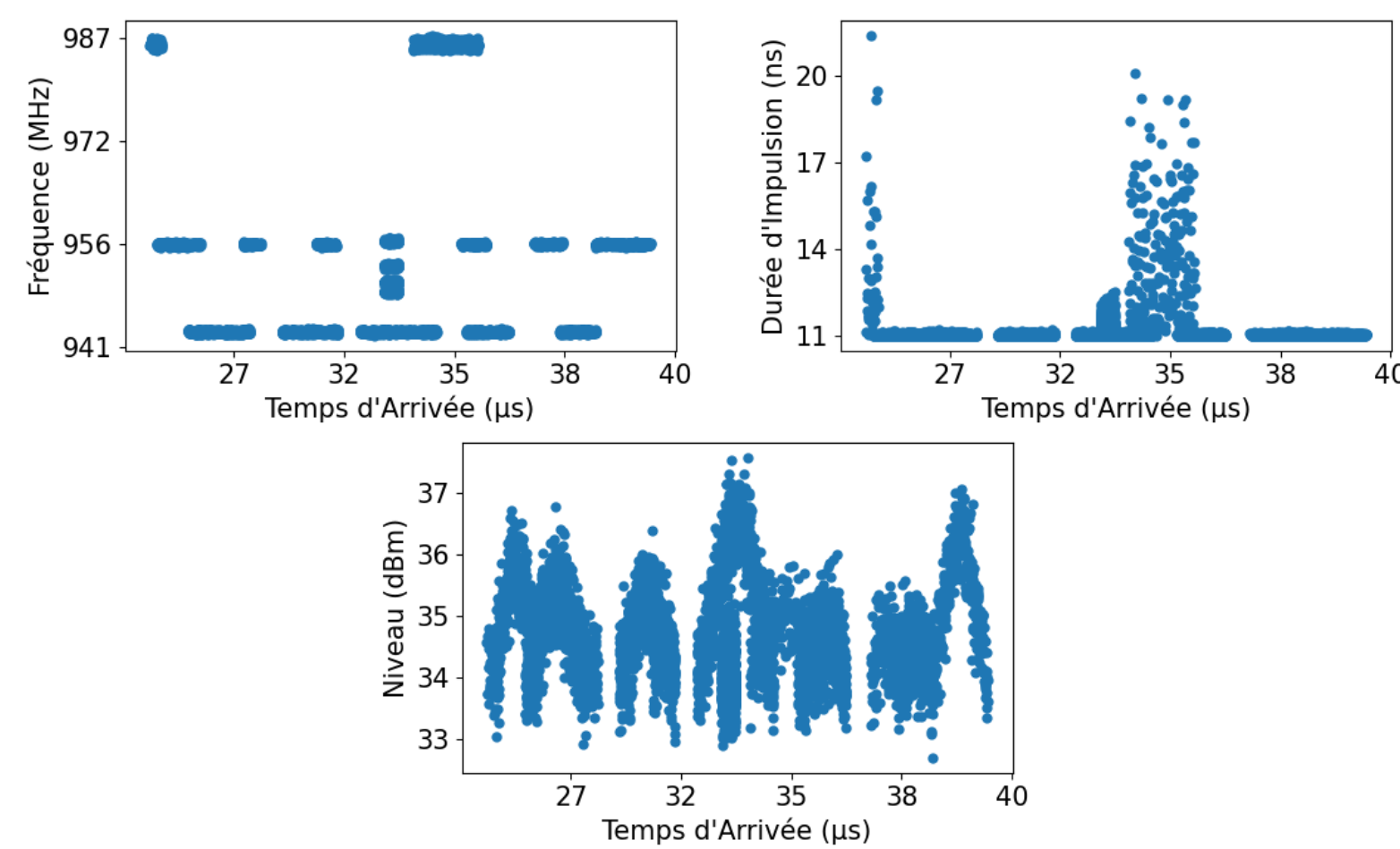


Figure 1: Exemple d'un signal simulé regroupant environ 6 000 impulsions de 4 émetteurs différents.

CONCLUSION

- Résultats obtenus sur les données simulées très encourageants
- Gestion de plus de 60 classes pour l'identification et facilité d'intégration de nouvelles classes
- Et après ?
 - Modélisation des erreurs de mesure de la durée d'impulsion
 - Intégration d'une 3e dimension dans le transport optimal pour mieux discriminer les RADAR.

TRANSPORT OPTIMAL

Approche: Comparer les distribution des groupes pour définir une distance et quantifier leur similarité et dissimilarité.

- Groupes 0 et 1 **proviennent** du même ensemble de données :

- ✓ Distributions **similaires**
- ✓ Coût de transport **faible**

- Groupes 1 et 2 **ne proviennent pas** du même ensemble de données :

- ✗ Distributions **différentes**
- ✗ Coût de transport **élevé**

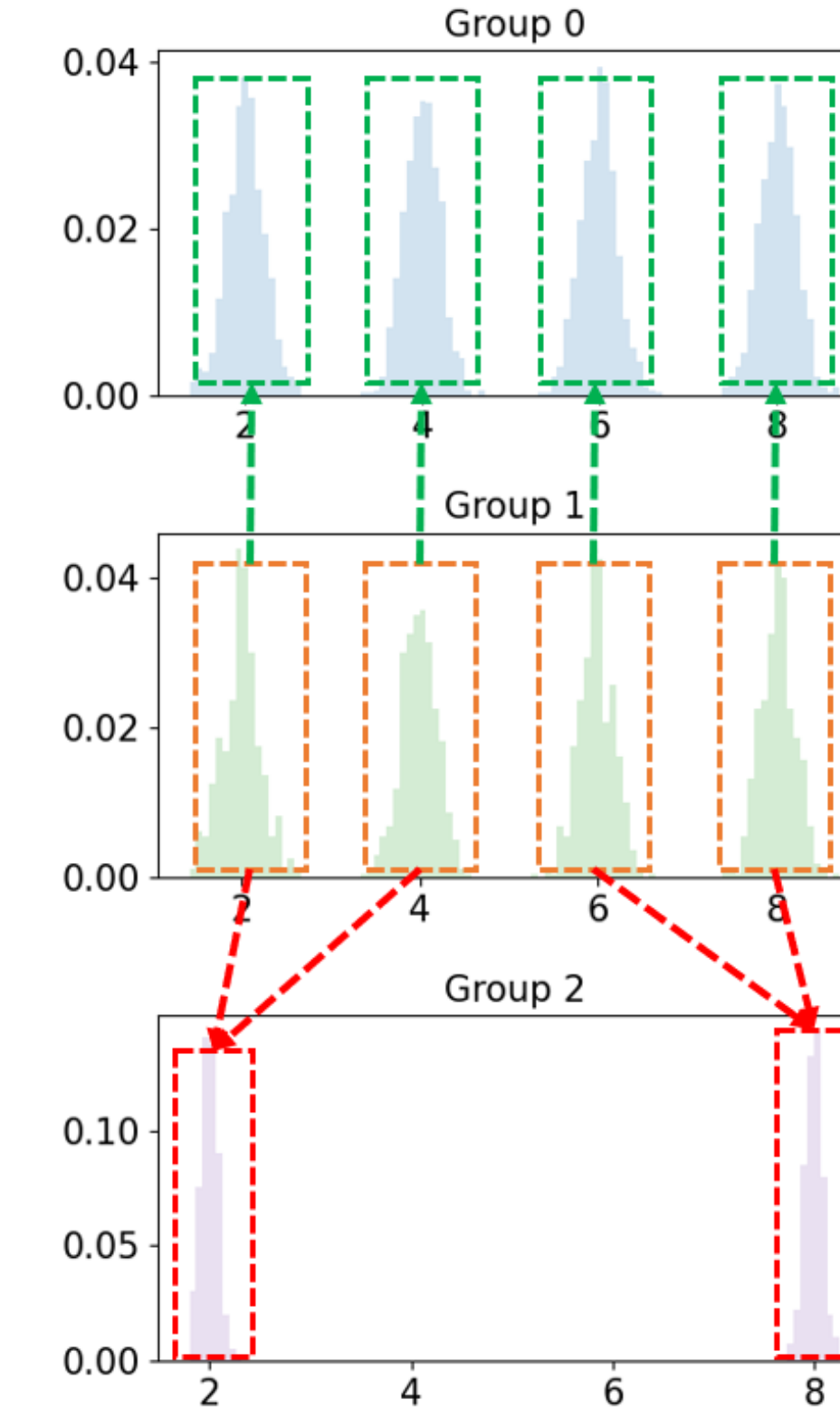


Figure 2: Histogrammes de 3 groupes.

- Déplacer une distribution d'un endroit à un autre a un coût :

$$C(\mathbf{P}) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M C_{nm} P_{nm} = \langle \mathbf{C}, \mathbf{P} \rangle \quad (1)$$

$C(\mathbf{P})$ = Coût total, C_{nm} = coût de déplacement d'une distribution x_n à y_m , P_{nm} = quantité de points déplacés de x_n vers y_m

- Le plan de transport optimal est un problème de minimisation :

$$\mathbf{P}^* = \underset{\mathbf{P} \in \mathbf{R}_+^{N \times M}}{\operatorname{argmin}} \langle \mathbf{C}, \mathbf{P} \rangle \text{ tel que}$$

$$\mathbf{P} \mathbf{1}_M = \mathbf{a}, \mathbf{P}^T \mathbf{1}_N = \mathbf{b}. \quad (2)$$

DÉSENTRELACEMENT

Définition : séparation et regroupement d'impulsion d'un signal RADAR contenant un nombre inconnu d'émetteurs.

- Séparation des impulsions dans le plan (f_n, pw_n) avec l'algorithme de clustering non-supervisé HBSCAN
- Regroupement des clusters grâce à un clustering agglomératif hiérarchique utilisant des distances de transport optimal dans le plan (g_n, t_n) . Le processus de fusion est interrompu lorsqu'un critère d'arrêt est atteint.

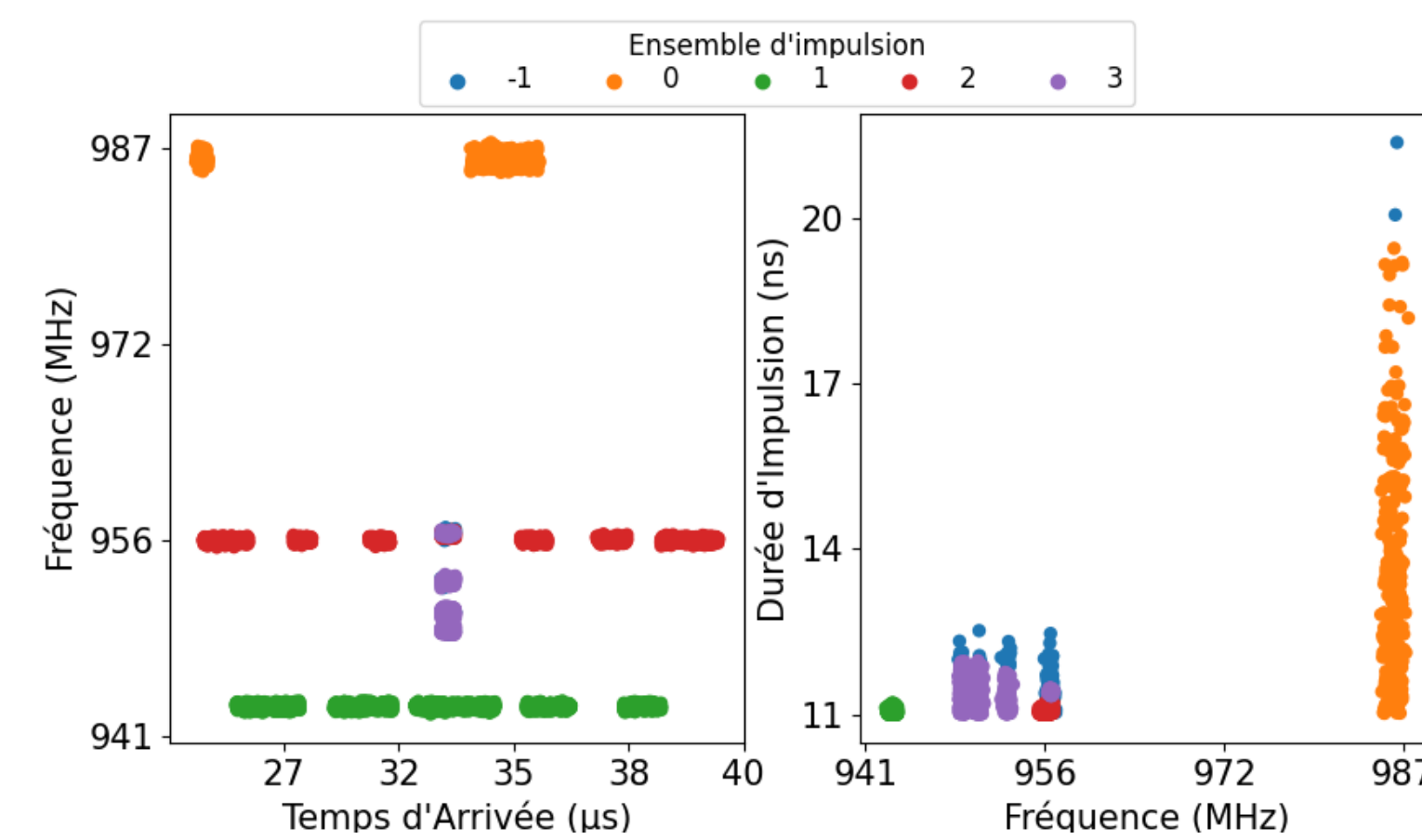


Figure 3: Regroupements finaux obtenus. La méthodologie identifie 4 émetteurs ainsi qu'une classe d'outliers (-1).

CLASSIFICATION

Définition : élaboration d'une distance entre un ensemble d'impulsions RADARs reçues et une description des caractéristiques d'un émetteur RADAR à partir d'une base de données de référence.

- Construction d'une mesure décrivant chaque RADAR appartenant à une base de données de référence à partir du plan (f_n, pw_n) :

$$\mu_j = \sum_{m=1}^M \alpha_m \delta_{f_m, pw_m} \quad (3)$$

M = le nombre de fréquences et de durée d'impulsion sur lesquelles le RADAR émet, α = le poids de la fréquence et de la durée d'impulsion, j = l'index de l'émetteur dans la base de données, δ = masse de dirac (avec $\sum \alpha_m = 1$)

- Construction d'une distribution de probabilité à partir de l'ensemble d'impulsions à partir du plan (f_n, pw_n) :

$$\nu = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \delta_{f_m, pw_m} \quad (4)$$

avec M le nombre d'impulsion de l'ensemble.

- La classification est faite en identifiant les émetteurs RADARs les plus proches des données reçues :

$$j^* = \underset{j \in \{1, \dots, J\}}{\operatorname{argmin}} d(\mu_j, \nu). \quad (5)$$

avec J le nombre de classes d'émetteurs.

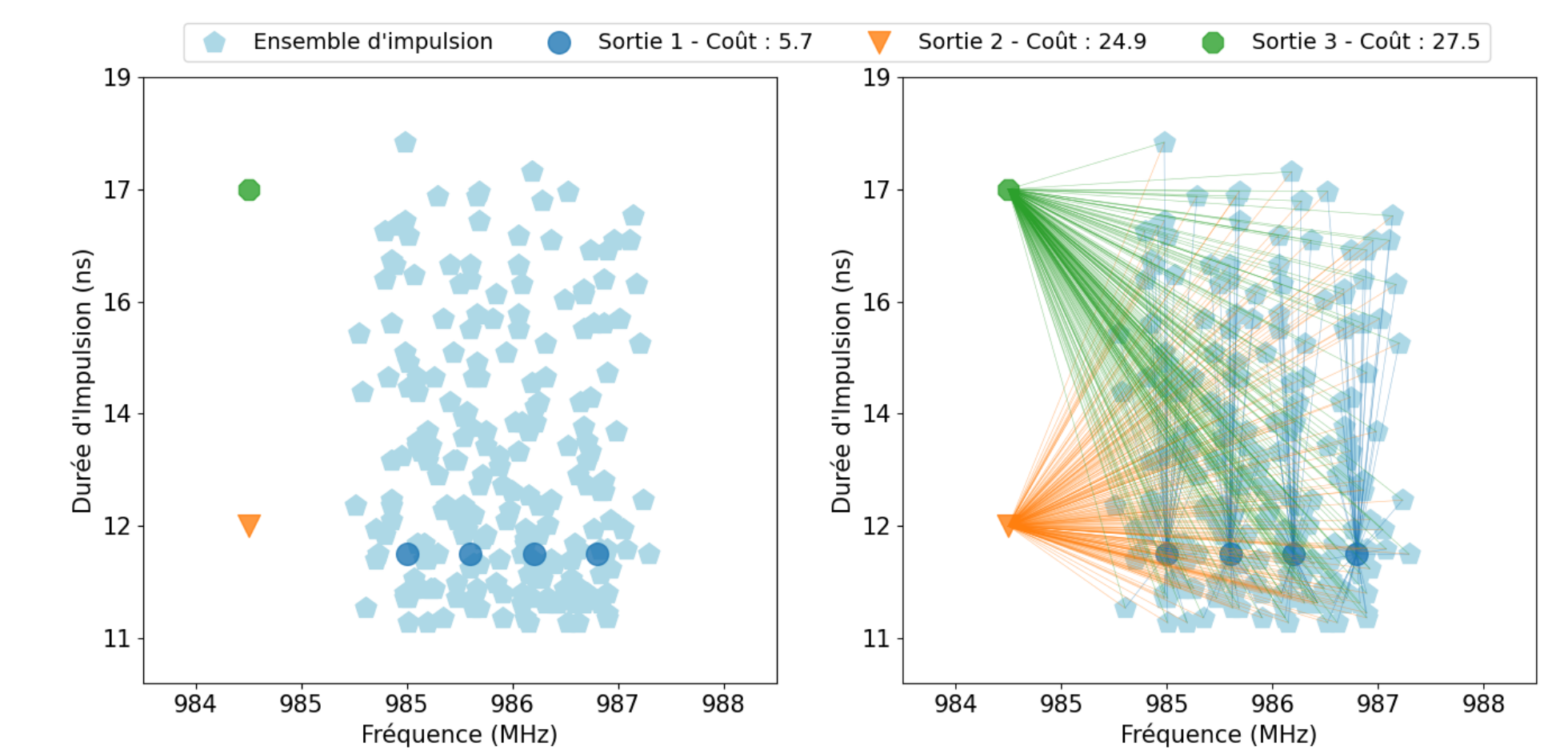


Figure 4: Plan de transport entre l'ensemble d'impulsion 0 et les trois classes les plus proches identifiées par l'algorithme.