



HAL
open science

Caractérisation électromagnétique d'un environnement industriel 4.0

Thomas Steve NKOLO BEKONO, Michael Bocquet, Iyad Dayoub, Sylvie Baranowski

► **To cite this version:**

Thomas Steve NKOLO BEKONO, Michael Bocquet, Iyad Dayoub, Sylvie Baranowski. Caractérisation électromagnétique d'un environnement industriel 4.0. WORKSHOP CEM 2024, Dec 2024, Angers, France. hal-04826786

HAL Id: hal-04826786

<https://hal.science/hal-04826786v1>

Submitted on 9 Dec 2024

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.

Caractérisation électromagnétique d'un environnement industriel 4.0

NKOLO BEKONO Thomas Steve*, **BOCQUET Michael**, **DAYOUB Iyad**, **BARANOWSKI Sylvie**

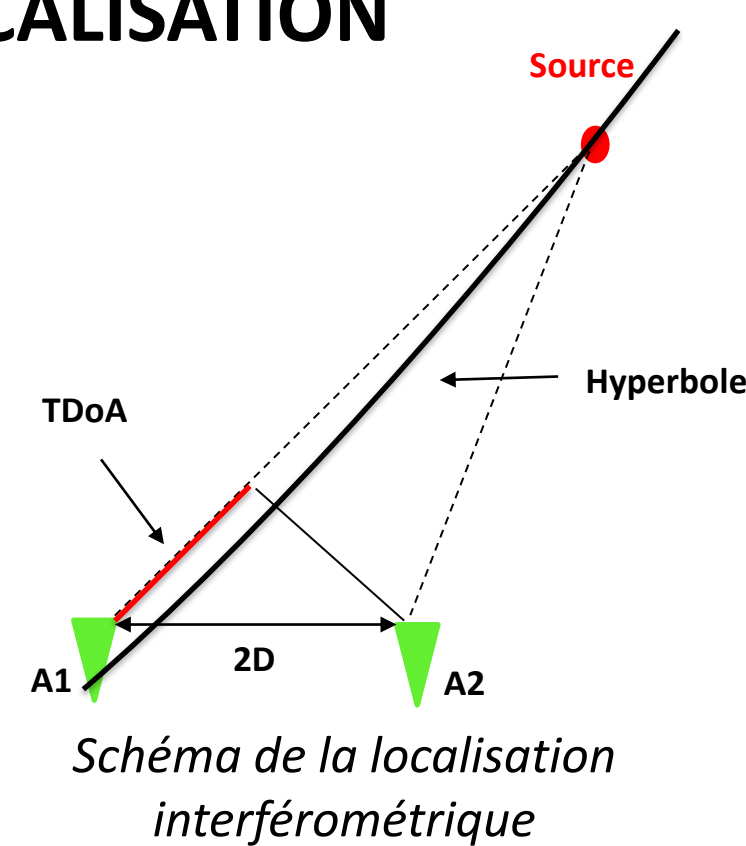
CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

L'industrie 4.0, marquée par la transformation numérique, l'intégration des technologies IoT et des systèmes cyber-physiques (CPS) dans les chaînes de production, dépend fortement des communications entre machines et systèmes. Ces derniers, comme les technologies de localisation, utilisent des ondes électromagnétiques (EM) pour identifier et suivre les produits. Cependant, les environnements de production sont souvent électromagnétiquement complexes, ce qui peut dégrader les signaux, rendant les communications sans fil moins fiables. Ces perturbations EM peuvent affecter la précision des systèmes de localisation, compromettant la coordination et le suivi des pièces dans les processus de fabrication automatisés. Il sera donc question dans ces travaux de faire une caractérisation électromagnétique de cet environnement afin d'en faire un modèle le plus représentatif possible.

IMPACT DE L'ENVIRONNEMENT SUR LA LOCALISATION

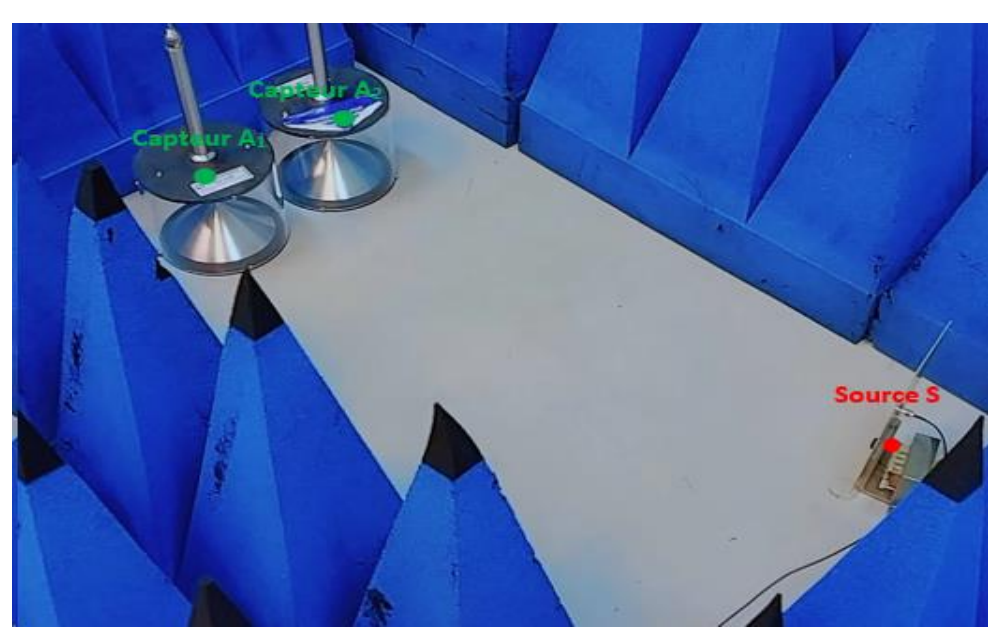
Notre système de localisation est de type interférométrique, c'est-à-dire qui exploite la différence de temps d'arrivée (TDoA) des ondes électromagnétiques provenant d'une unique source vers plusieurs capteurs situés sur notre récepteur. La TDOA est obtenue en calculant la différence de deux temps de propagation. Ces ondes sont donc susceptibles d'être influencées par le canal dans lequel elles se propagent, affectant ainsi le système.

Pour prouver cette théorie, des mesures préliminaires ont été réalisées à la fréquence de 2,45GHz dans un environnement non perturbé puis dans un milieu industriel.

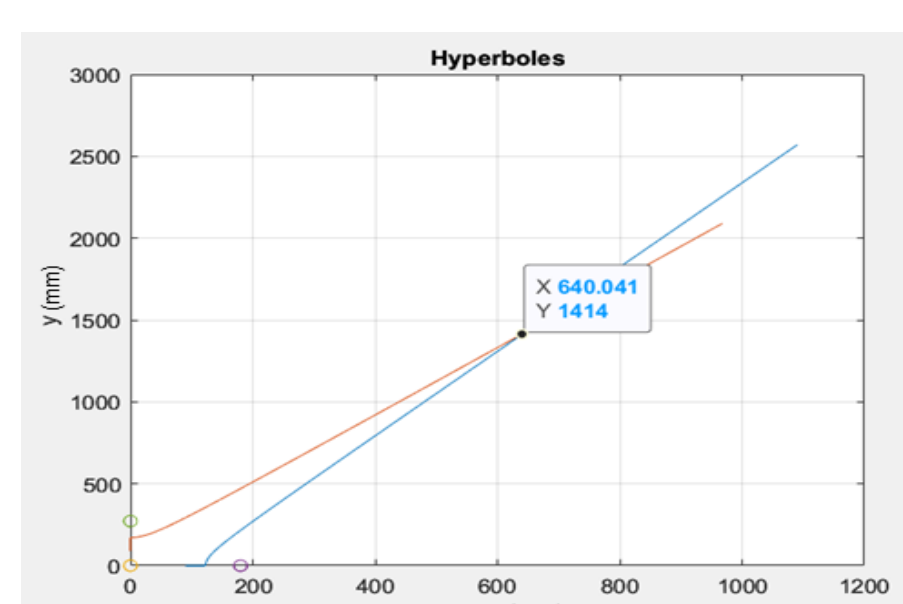
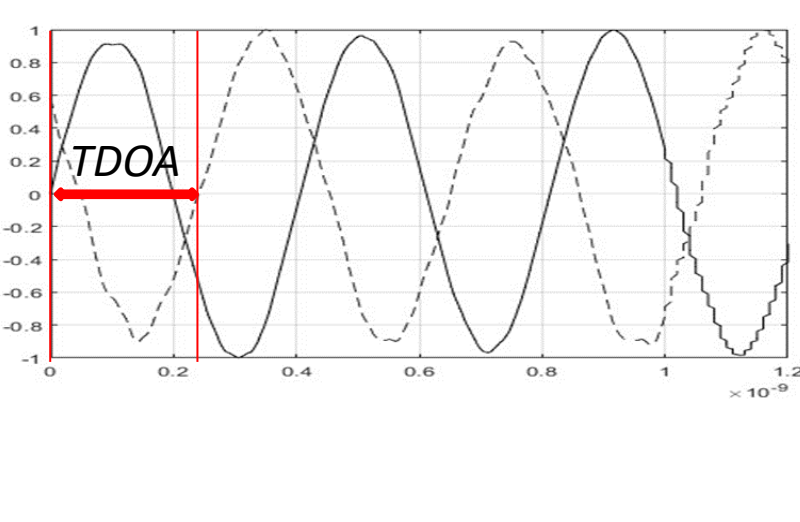


Topologie de Mesure: Localisation d'un mobile de coordonnées (x=60cm; y= 150cm)

LOCALISATION À 2.45GHZ DANS UN MILIEU NON PERTURBÉ



Signaux d'un milieu non perturbé normalisés



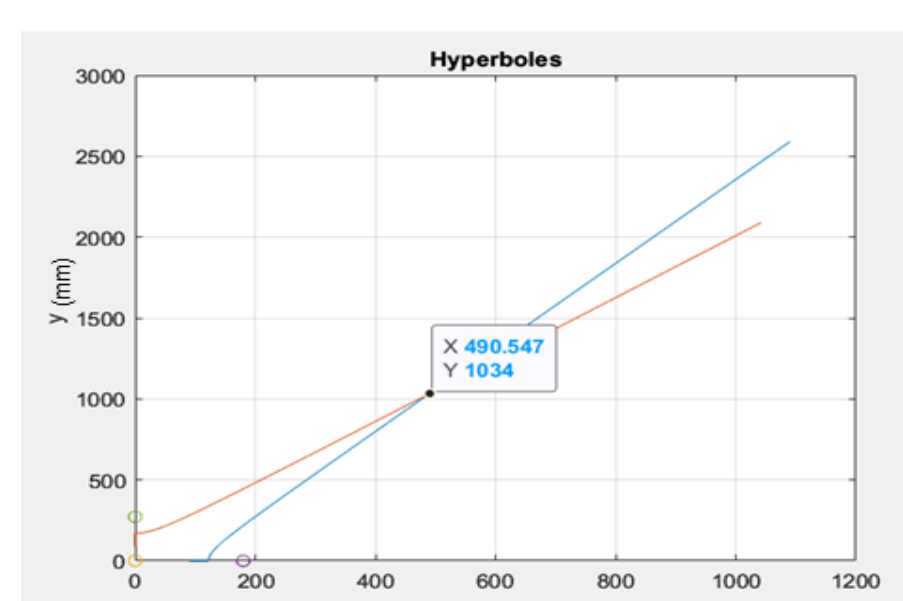
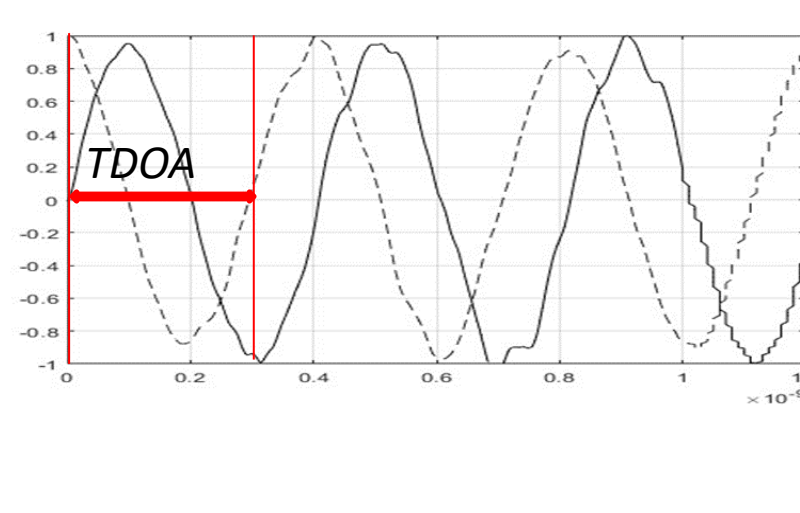
Coordonnées mesurées à l'intersection des hyperboles (cm): $x = 64$ et $y = 141,4$

Source (émetteur): antenne patch à 2,45GHz
Capteurs (récepteurs): antennes Biconiques (400MHz - 8GHz)

LOCALISATION À 2.45GHZ DANS UN MILIEU INDUSTRIEL



Signaux d'un milieu industriel normalisés



Coordonnées mesurées à l'intersection des hyperboles (cm): $x = 49,05$ et $y = 103,4$

Source (émetteur): antenne patch à 2,45GHz
Capteurs (récepteurs): antennes Biconiques (400MHz - 8GHz)

A partir de ces résultats, nous démontrons l'impact de l'environnement sur la précision de notre système de localisation. Il est donc impératif pour nous, de déterminer ces sources de perturbation.

SOURCES DE PERTURBATIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Dans l'usine 4.0, nous avons plusieurs sources pouvant perturber notre système de communications: la propagation du signal (les trajets multiples) et les perturbations électromagnétiques.



Sources de Perturbations EM en Industrie 4.0

Les sources de perturbations électromagnétiques peuvent être intentionnelles ou non, et elles se distinguent par leurs caractéristiques incluant

- le spectre,
- la forme d'onde,
- le temps de montée
- l'enveloppe spectrale
- l'amplitude
- l'énergie associée.

Parmi les principales causes de perturbations, il est possible d'identifier :

- la distribution d'énergie électrique
- les ondes hertziennes
- les décharges électrostatiques

TECHNIQUES DE MESURE DES PERTURBATIONS EM

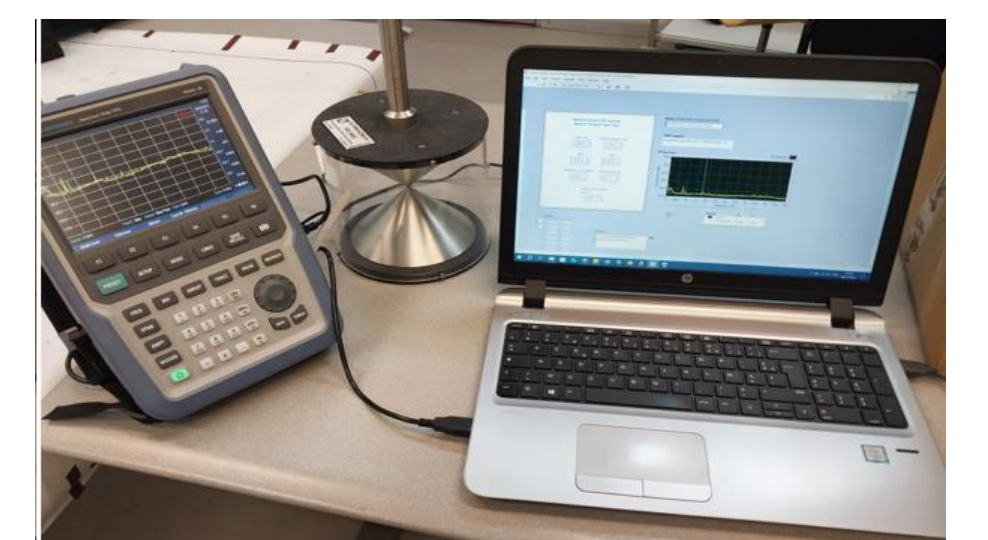
- **Les méthodes indirectes:** qui reposent sur une simulation dans le domaine temporel, suivie d'une analyse fréquentielle des signaux simulés, réalisée via des logiciels spécialisés. Cependant, ces simulations imposent des temps de calcul prolongés, une production de grandes quantités de données et des exigences accrues en ressources de calcul.
- **Les méthodes directes:** dont l'objectif est la détermination du spectre des signaux perturbateurs directement dans le domaine fréquentiel, avec une simplicité de mise en place, permettant ainsi de réduire le temps de mesure.

CARACTÉRISATION DE L'ENVIRONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE

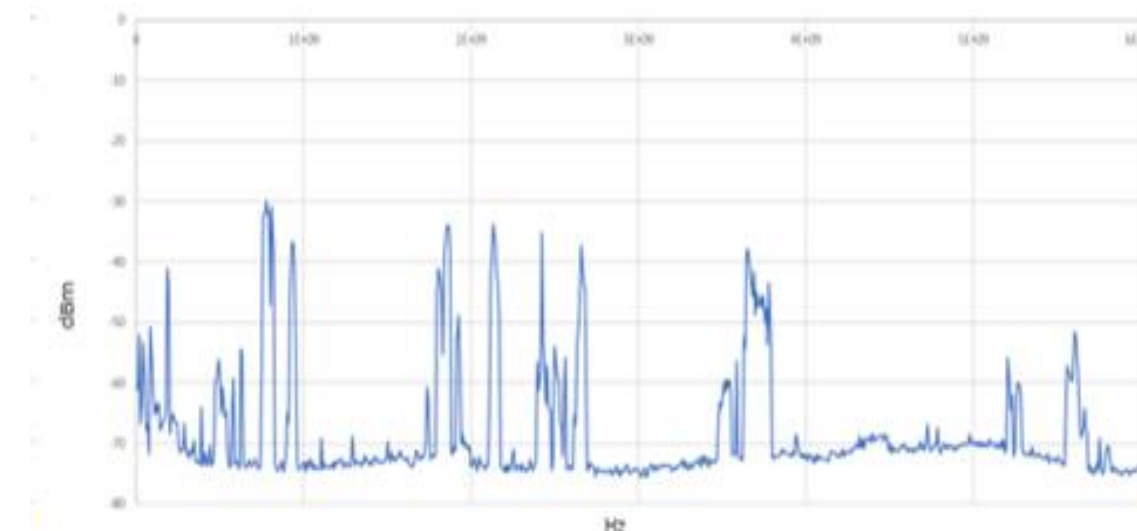
Méthode directe

Matériels: une antenne omnidirectionnelle biconique et un analyseur de spectre (12MHz – 6GHz).

Perturbations EM: nous avons effectué deux mesures, une avec toute les machines au repos et l'autre en fonctionnement (en mouvement).



Système de mesure de perturbations EM



Mesures respectivement sans et avec mouvement des robots

L'activation du système de production génère des perturbations sur certaines bandes de fréquences spécifiques (13 MHz, 2400 MHz et 5200 MHz) correspondant au RFID et au WiFi, tandis que d'autres fréquences, telles que les émissions radio et télévision locales ainsi que la téléphonie mobile, demeurent stables.

SOLUTION PROPOSÉE

La caractérisation électromagnétique de notre environnement, nous a permis de constater que nous avons des plages fréquentielles perturbées de façon permanente et d'autres de manière aléatoire.

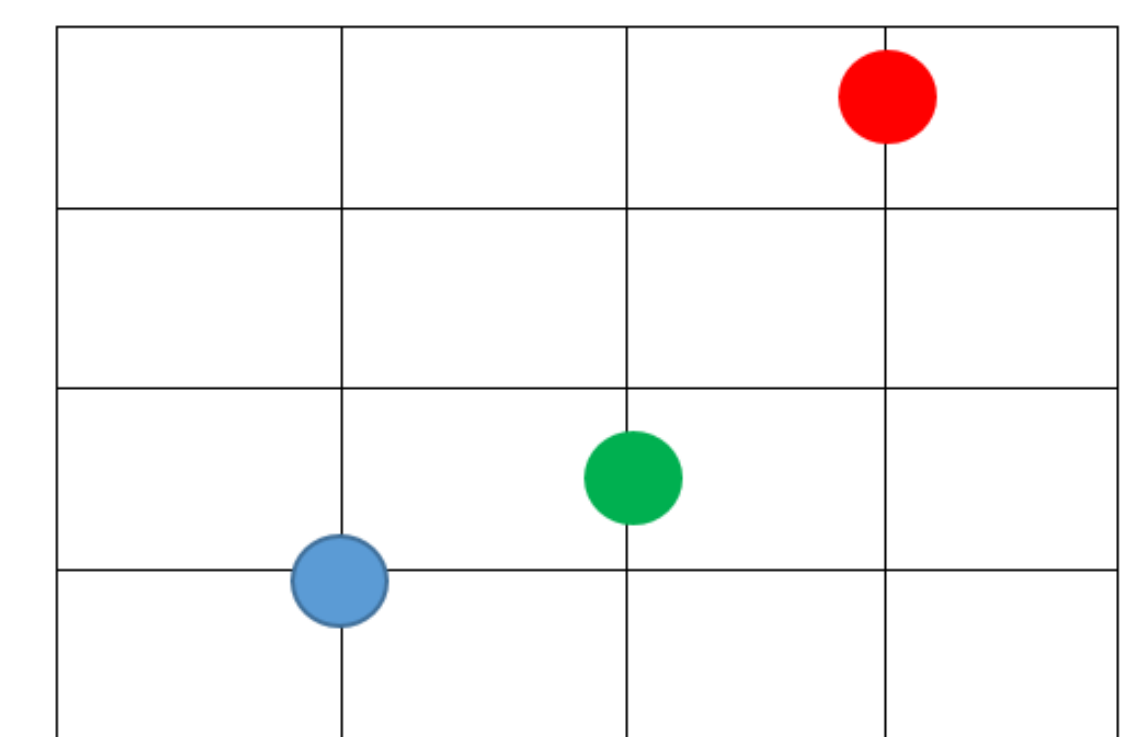
Comme nous l'avons vu, leurs impacts sur la précision sont importants. Il convient donc de proposer des plages de fonctionnement exploitant le masque issu de notre étude.

La seconde solution qui peut être plus couteuse, consiste à faire évoluer le fonctionnement d'un signal mono fréquentiel vers une étalement multi fréquentiel.

Cette seconde option a été mise en œuvre. La moyenne des signaux obtenus, nous a permis de réduire considérablement l'impact de l'environnement et d'améliorer la précision.

Mesures effectuées au Laboratoire:

Fréquences (GHz)	Positions trouvées
2,342	(29,3 ; 78,5)
2,386	(21,6 ; 44,7)
2,408	(32,3 ; 77,6)
2,43	(24,2 ; 48,4)
2,45	(29,9 ; 70,1)
2,474	(28,5 ; 61,6)
2,496	(22,6 ; 47,4)



Position réelle (cm) : (25,5 ; 56,5)

Position trouvée à 2,45 GHz (cm) : (29,9 ; 70,1)

Position trouvée avec diversité fréquentielle (cm) : (26,9 ; 61,1)

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre étude a permis de caractériser les perturbations électromagnétiques dans un environnement industriel, révélant une prépondérance des émissions des radios et télévision locales, du WiFi et de la téléphonie mobile. De plus, la multi propagation due aux réflexions machines en mouvement par exemple, est susceptible d'impacter notre système de localisation et doit également être caractérisée. Afin de réduire cet impact, nous avons opté pour plusieurs techniques, notamment l'élargissement de la bande passante. De plus, il sera utile de prospecter de nouvelles technologies telles que: la fusion de multiples métriques (TDoA-RSS), ou l'égalisation du canal de propagation.