



**HAL**  
open science

# Localisation 3D via des réseaux de capteurs en milieu électromagnétiquement perturbé: contexte de l'usine 4.0

Thomas Steve NKOLO BEKONO, Michael Bocquet, S. Baranowski

## ► To cite this version:

Thomas Steve NKOLO BEKONO, Michael Bocquet, S. Baranowski. Localisation 3D via des réseaux de capteurs en milieu électromagnétiquement perturbé: contexte de l'usine 4.0. Mardi des chercheurs, Mar 2024, Mons, Belgique. hal-04524864

**HAL Id: hal-04524864**

**<https://hal.science/hal-04524864>**

Submitted on 28 Mar 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.



# Localisation 3D via des réseaux de capteurs en milieu électromagnétiquement perturbé pour l'usine 4.0

**NKOLO BEKONO Thomas Steve\*, BOCQUET Michael, BARANOWSKI Sylvie**

## CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

L'usine connectée, ou usine du futur, va utiliser les équipements déjà existants, les améliorer, puis les placer au cœur d'un réseau où toutes les informations pourront être échangées. Cela va mettre en évidence l'intérêt : de l'internet des objets, des robots collaboratifs (cobots), de la réalité augmentée, des systèmes cyber physiques et bien évidemment du big data industriel. Que ce soit pour la traçabilité, ou la gestion du cheminement des produits, dans ces différentes situations, il y a un besoin de précision, résolution et fiabilité. La solution proposée pour résoudre ces trois problématiques consiste en : la fusion de différentes techniques de localisation, La connaissance du canal pour maîtriser les réflexions, et l'étude et la proposition d'un modèle statistique des perturbations électromagnétiques liées à la production.

## COMMENT GÉRER AU MIEUX LES DÉPLACEMENTS DANS CET ENVIRONNEMENT?

L'automatisation et la robotisation vont impliquer une gestion autonome de l'environnement et une cohabitation avec l'humain. La localisation est donc au centre du fonctionnement, aussi bien dans la traçabilité à grande échelle (suivi des marchandises et produits, de la production jusqu'à la consommation du produit) qu'à plus petite échelle lors de la production.



## PRINCIPE DE LA LOCALISATION PAR INTERFÉROMÉTRIE

La source S, mobile à localiser, envoie un signal qui est reçu par les différents capteurs (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> et A<sub>4</sub>). La différence de temps d'arrivée (TDOA) du signal aux récepteurs, permet ainsi de localiser la position de la source S.

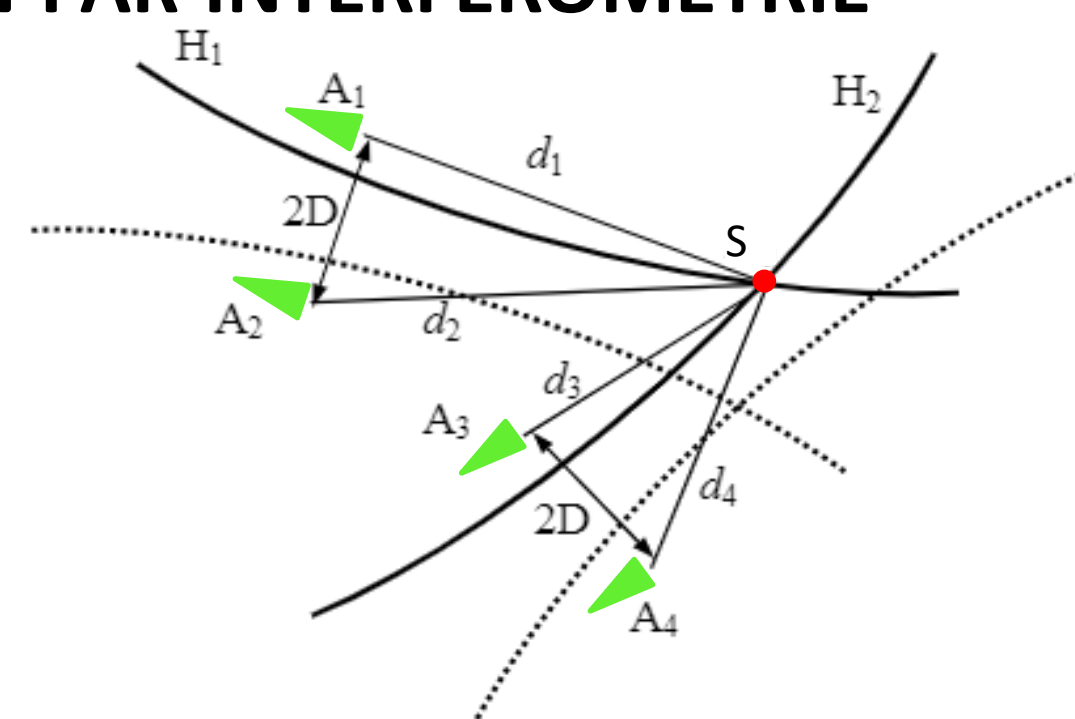


Schéma de la localisation interférométrique

Méthode par intersection d'hyperboles:

$$A_x = \frac{d_1 - d_2}{2} \quad TDOA_1 = \frac{d_1 - d_2}{c}$$

$$A_y = \frac{d_3 - d_4}{2}$$

$$B_x = \sqrt{D^2 - A_x^2}$$

$$B_y = \sqrt{D^2 - A_y^2}$$

## TOPOLOGIES DE FUSION : La fusion TDOA-RSS

La RSS est une technique qui consiste à estimer les pertes par atténuation du signal lors de sa propagation. A partir de l'équation de Friis, ces pertes d'énergie pour une onde qui se propage en espace libre, en fonction de la distance séparant la source émettrice et le récepteur, sont traduites par l'équation :

$$\frac{P_r}{P_e} = G_e * G_r * \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$$

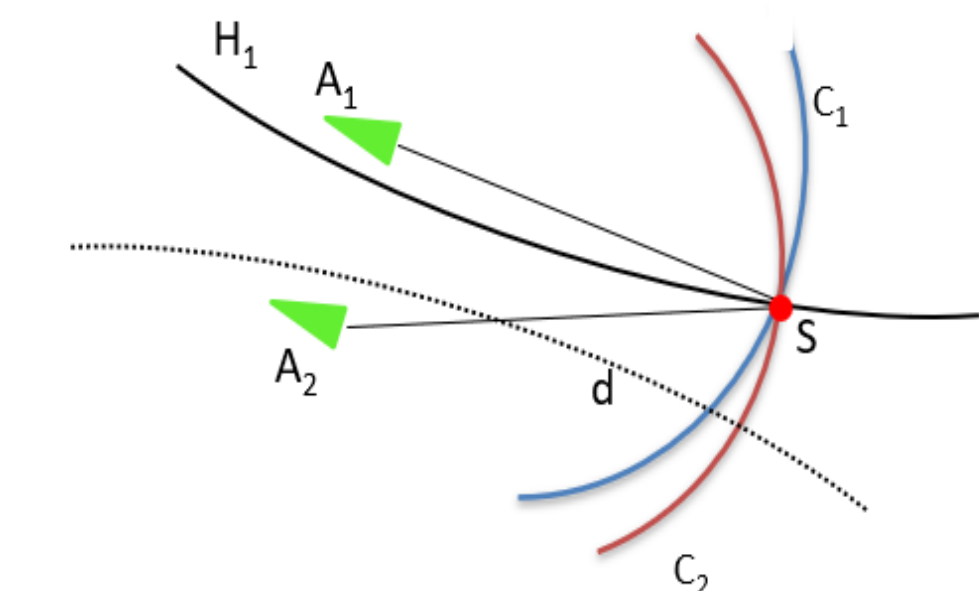


Schéma de la localisation par fusion TDOA/RSS

L'information RSS permet de décrire une sphère d'iso puissance dont l'équation est :

$$d = \sqrt{(x - x_{Ai})^2 + (y - y_{Ai})^2 + (z - z_{Ai})^2} ; i=1,2$$

Les coordonnées de la source sont données par l'intersection de cette sphère avec l'hyperbole H<sub>1</sub> déterminée à partir de la mesure de la TDOA.

## CONNAISSANCE DU CANAL DE PROPAGATION

Dans l'usine 4.0, plusieurs sources électromagnétiques ainsi que la présence de réflecteurs peuvent perturber un système de localisation basé sur l'exploitation des temps de propagation comme celui que nous proposons.

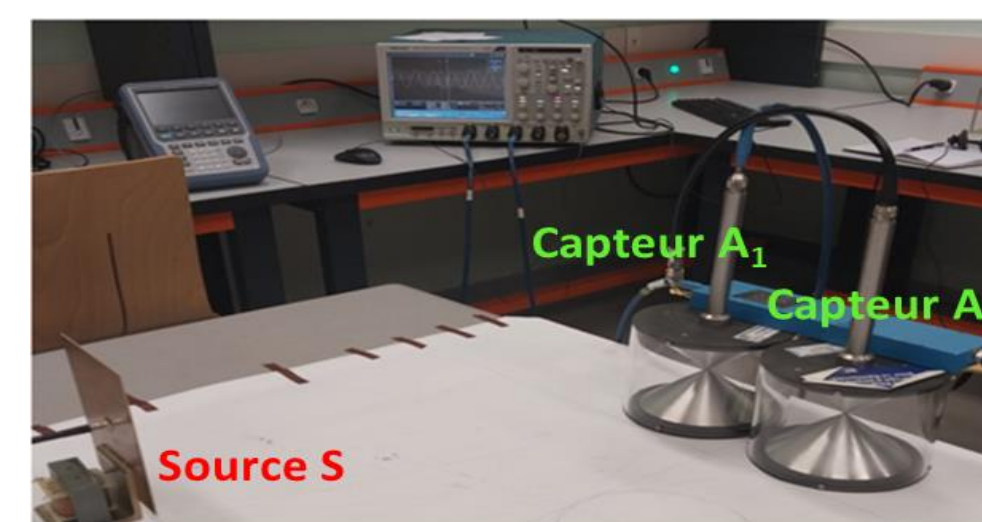
Il est primordial de maîtriser les différentes caractéristiques du canal de propagation. Un sondeur de canal a donc été développé pour requérir ces différentes informations.

Un environnement ainsi qu'un algorithme de contrôle du VNA (Virtual Network Analyser) a été développé sous environnement Python, il permet de connaître les atténuations, les réflexions, la diffractions, etc.

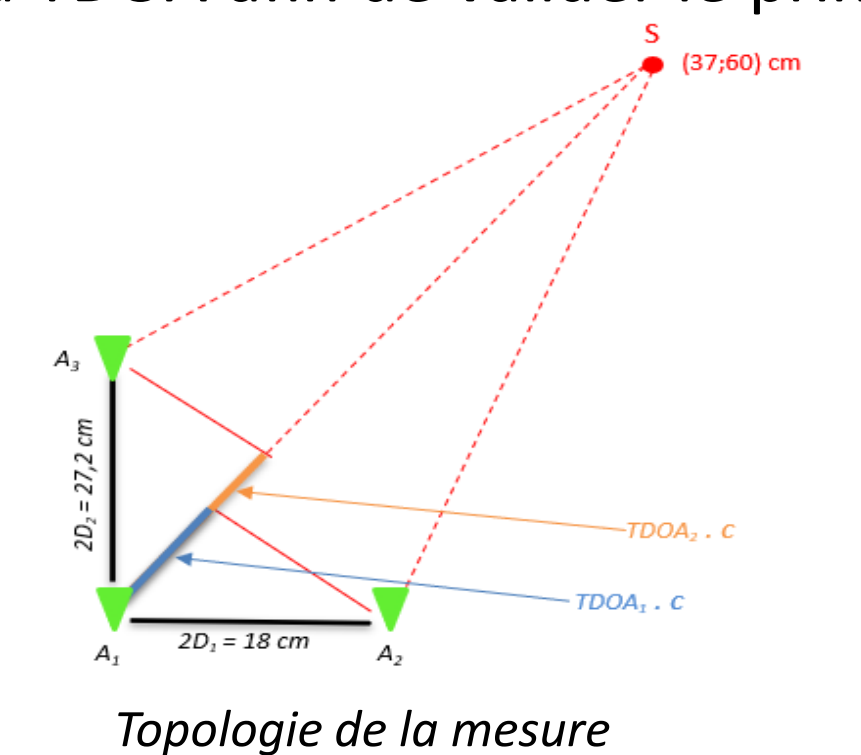
## TESTS ET RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

### LOCALISATION À 2.45GHZ

Des mesures préliminaires ont été réalisées à 2,45GHz pour mettre en œuvre la localisation. Dans un premier temps, elle est basée sur la TDOA afin de valider le principe interférométrique dans des conditions réelles

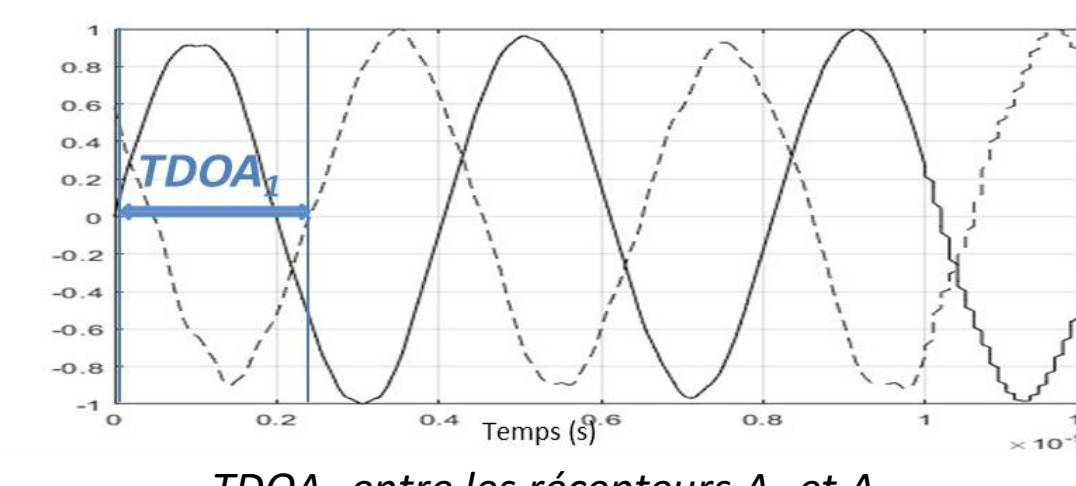


Source: antenne patch à 2,45GHz  
Capteurs: antennes Biconiques (400MHz - 8GHz)

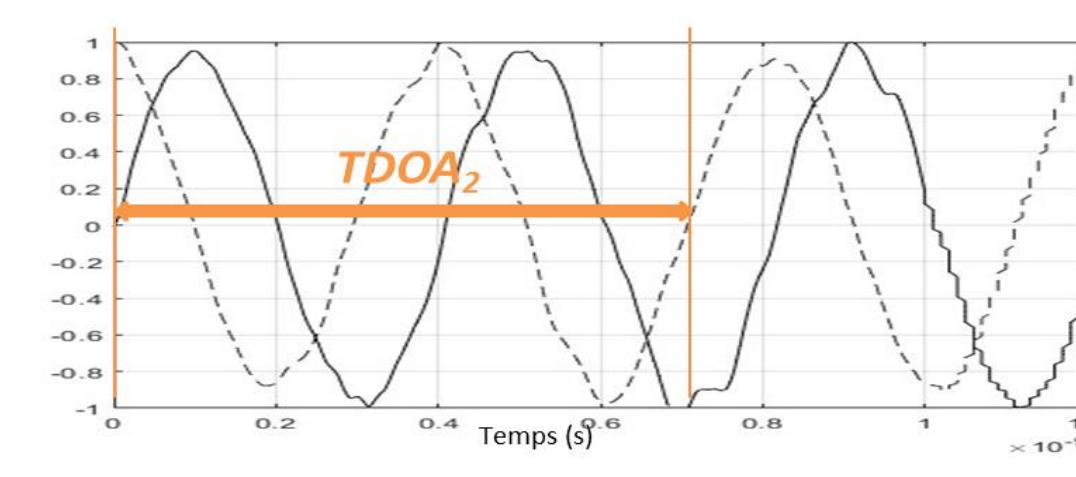


Topologie de la mesure

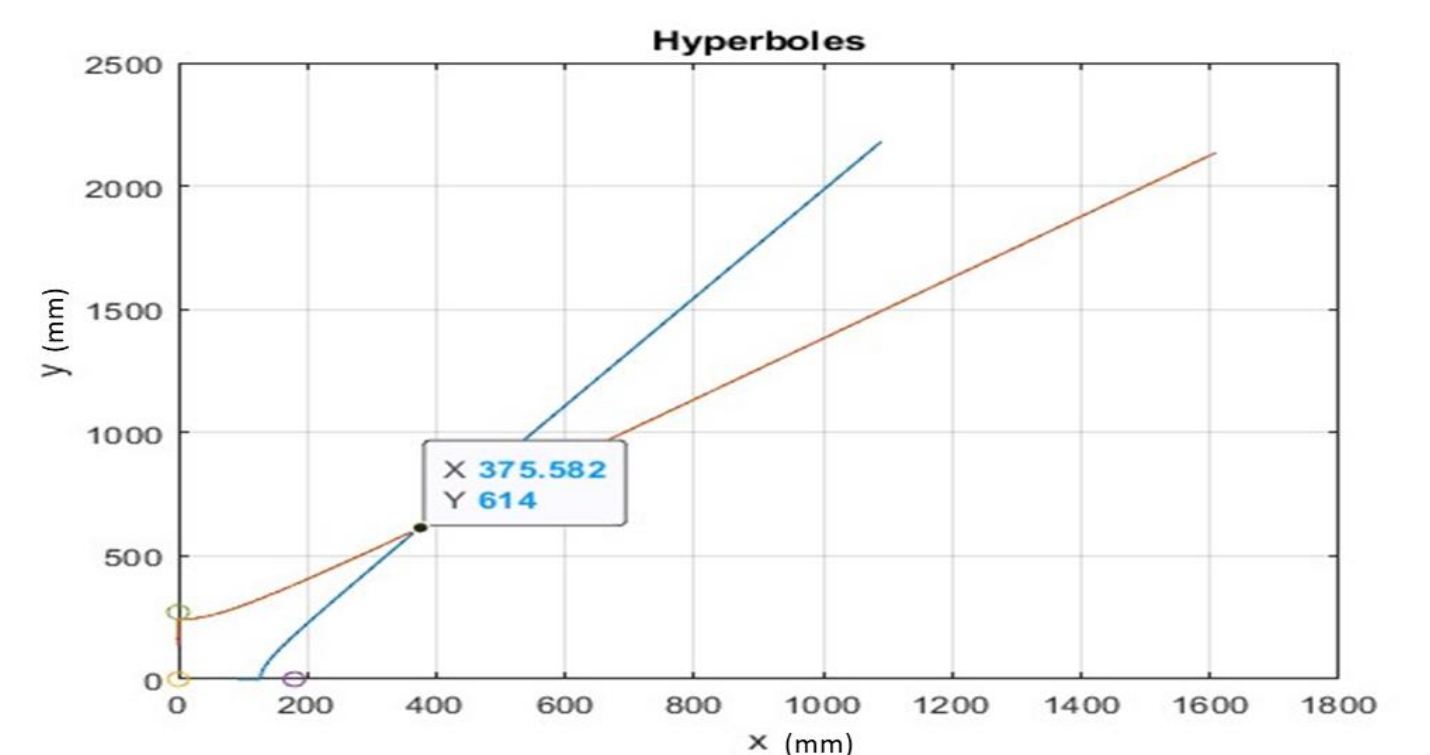
Mesure de la position : coordonnées réelles (37;60) cm



TDOA<sub>1</sub> entre les récepteurs A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>



TDOA<sub>2</sub> entre les récepteurs A<sub>1</sub> et A<sub>3</sub>



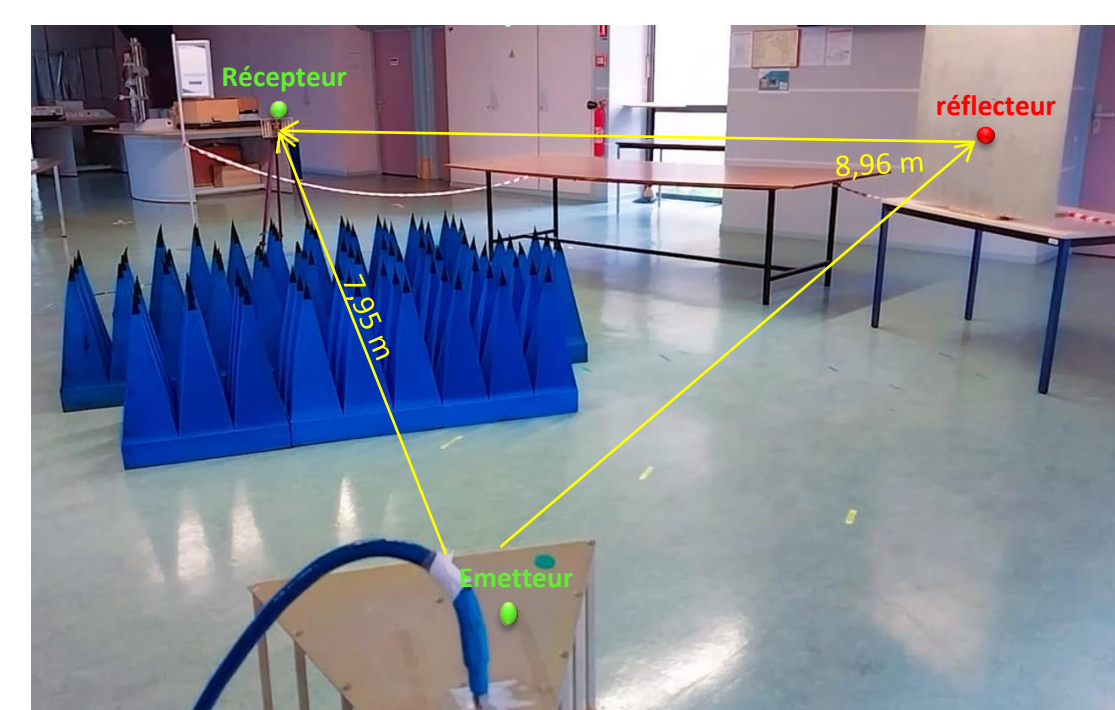
Coordonnées mesurées à l'intersection des deux hyperboles (cm):  
x= 37,55 et y= 61,4

### SONDAGE DE CANAL

Des mesures préliminaires ont été réalisées afin de définir un dispositif de détermination des caractéristiques de l'environnement de propagation.

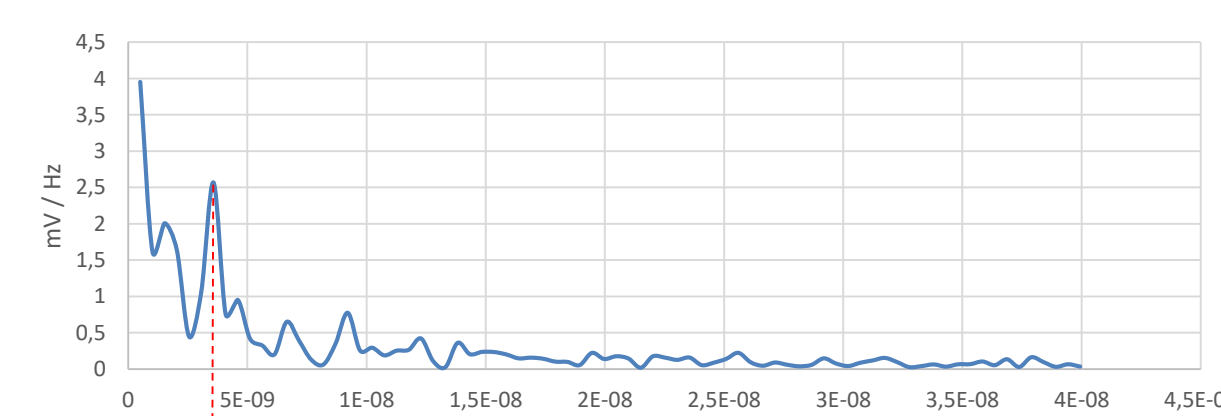
Pour cela une topologie a été mise en place (un VNA, une antenne en émission et en réception, une plaque réfléchissante et des absorbants), afin de maîtriser les réflexions.

### Réponse impulsionnelle



Milieu pseudo-anéchoïque

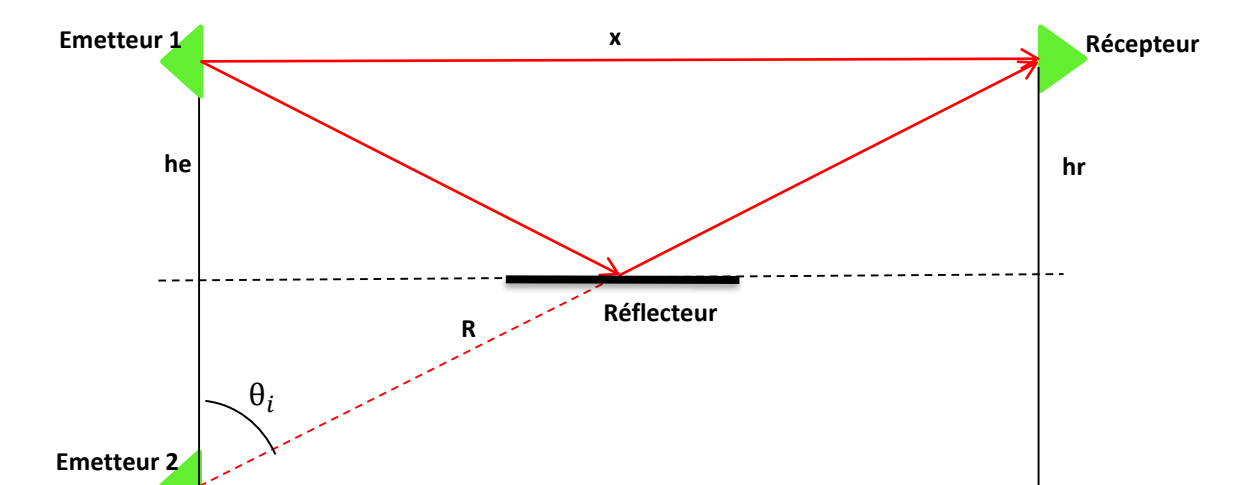
Des mesures fréquentielles effectuées à l'aide du VNA, traitées grâce à une TFDI (afin d'obtenir la représentation temporelle) sont représentées ci-dessous.



Réponse impulsionnelle

Les pics représentent les réflexions sur les différents obstacles présents dans notre milieu.

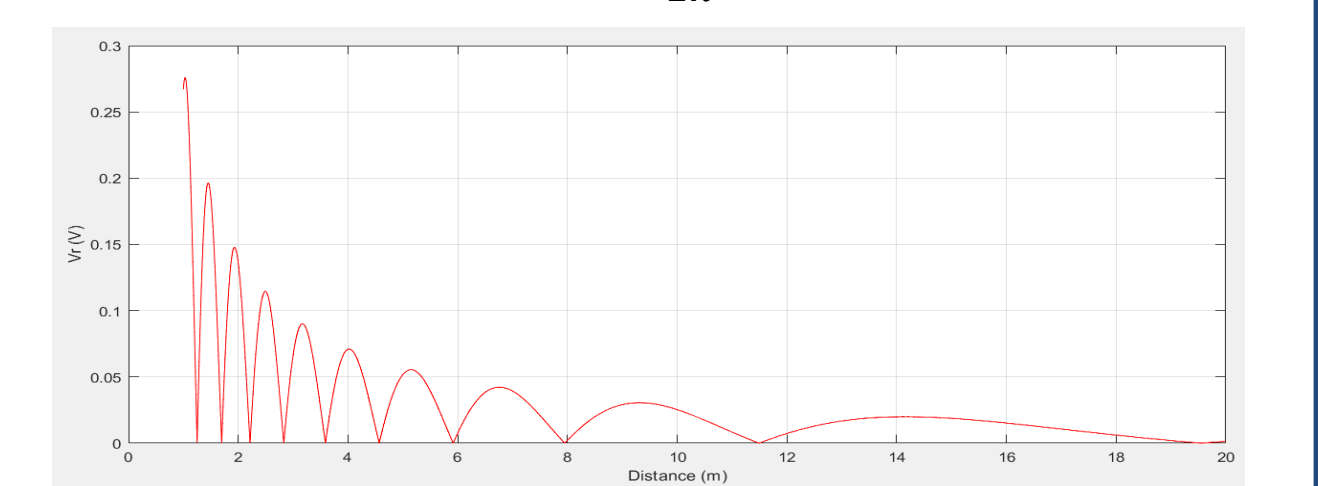
### Simulation: Tracé de rayons



Topologie étudiée

$$|V_R| = \frac{K}{x} \cos\left(k_0 x - k_0 \sqrt{(2h_e)^2 + x^2}\right)$$

$$\text{Avec } K = \frac{\sqrt{\mu_0} I_0 \lambda}{2\pi^2}$$



Tension reçue au niveau du récepteur (configuration 1LOS+1NLOS)

Le graphique ci-dessus représente la tension obtenue au niveau du récepteur à une fréquence unique (1GHz). Cette situation simulée correspond à la variation d'un LOS et d'un NLOS (réflecteur) en fonction de la distance.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le contexte de l'usine 4.0, nous avons proposé de développer une solution de localisation capable de déterminer les coordonnées d'un mobile dans un environnement électromagnétiquement perturbé. Dans un premier temps, une localisation 2D a montré l'efficacité de l'algorithme basé sur la TDOA. A partir de ces mesures fondées sur des relevés réels, le mobile est localisé avec une erreur maximale de 5% sur la distance radiale. Le développement d'un banc de mesure a permis de sonder le canal et d'évaluer l'impact d'un réflecteur dans un environnement pseudo-anéchoïque. Ce banc permettra d'effectuer l'acquisition avec plusieurs éléments réfléchissants fixes ou mobiles afin de s'approcher au maximum de l'environnement type de l'usine 4.0.