



## L'ÉLECTROMAGNÉTISME, 150-1 UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

### Conception d'une antenne adaptée à un Radar GPR impulsionnel pour une utilisation sur une tête de tunnelier

### Design of antenna suitable for a GPR Radar impulse use on a tunnel boring machine

---

*Mouhamed Sow\**, *Valérie Bertrand\*\**, *Noel Feix\**, *Michèle Lalande\**, *Edson Martinod\**

\*Xlim-OSA, [mouhamed.sow@xlim.fr](mailto:mouhamed.sow@xlim.fr), 7 rue Jules Vallès, 19100 Brive-La-Gaillarde

\*\* CISTEME, [valerie.bertrand@cisteme.net](mailto:valerie.bertrand@cisteme.net), 7 rue Jules Vallès, 19100 Brive-La-Gaillarde

---

Mots-clefs: Tunnelier, Géoradar, Ultra Large Bande.

Keywords: Tunnel boring machine, Ground Penetrating Radar, Ultra Wide Band.

---

#### Résumé

L'industrie des tunneliers exprime le besoin de développer de nouvelles technologies pour faciliter la détermination de la nature du terrain auquel une machine doit être confrontée. Lorsque la tête de coupe creuse un matériau plutôt meuble et qu'elle rencontre une roche dure, elle peut subir des dégâts suffisamment importants pour la rendre inutilisable.

Xlim, intervenant dans le cadre du projet européen NETTUN, présente les premiers travaux sur le choix des antennes devant être intégrées à un système RADAR GPR Ultra Large Bande. Les problématiques de l'encombrement et de l'environnement spécifique dans lequel le système devra fonctionner sont abordées et une discussion sur le choix de la gamme fréquentielle de travail est amorcée.

Dans ce travail, nous présentons une étude comparative d'une antenne cornet ridgé et d'une antenne K pour une application géoradar impulsionnelle. Nous montrons par ailleurs l'intérêt de travailler en basses fréquences dans un milieu humide.

#### Introduction

Il existe actuellement un besoin important de développement de nouvelles technologies pour l'aide au creusement de tunnels.

Un tunnelier est un système à usage unique, extrêmement complexe et coûteux, chargé à la fois du creusement du sous-sol, de l'évacuation des débris, et de la pose de la structure assurant la solidité mécanique du futur tunnel.

Les sociétés spécialisées dans la conception de tunneliers expriment le besoin d'outils de prédiction de la constitution de l'environnement proche lui faisant face. En effet, la tête de coupe est adaptée à la nature du terrain. Aussi lorsque celle-ci creuse un sol plutôt meuble et qu'elle rencontre une roche dure, elle peut subir des dégâts suffisamment importants pour la rendre inutilisable. Il peut aussi y avoir des cavités à proximité provoquant des affaissements à la fois dommageables pour l'environnement et dangereux pour le personnel présent.

Cette situation a conduit au développement du projet européen NeTTUN (New Technologies for Tunneling and Underground Works) financé par la commission européenne dans le cadre du programme NMP.2011.4.0-2 (Advanced underground technologies for intelligent mining and for inspection, maintenance and excavation). L'un des axes de recherche du projet consiste à développer un système RADAR GPR Ultra Large Bande (ULB) fonctionnant dans une gamme de fréquences inférieures au GHz, intégré dans la tête de coupe d'un tunnelier, en vue de prédire les changements topologiques de terrain par la détection des contrastes diélectriques.

## 1. Choix d'un système antenne adapté aux contraintes opérationnelles

L'élaboration du système RADAR ULB repose sur l'association d'un générateur de signaux impulsionnels et d'une antenne adaptée à leur rayonnement. L'antenne doit à la fois transmettre correctement le signal et être conçue pour prendre en compte les interactions spécifiques de l'environnement du tunnelier. En effet, une tête de coupe est une structure métallique en contact direct avec le matériau à creuser. L'antenne fonctionne donc en champ proche avec des risques de désadaptations fortes conduisant à tenir compte du milieu spécifique dès la phase de conception. Celle-ci sera en outre disposée dans une cavité, impliquant de fortes contraintes sur ses dimensions.

Une étude bibliographique préliminaire a conduit d'une part à la détermination d'une permittivité diélectrique moyenne ( $\epsilon_r$ ) du sol d'environ 6 [1] et d'autre part au choix de deux types d'antennes volumiques pouvant convenir à l'application. La première est l'antenne cornet ridgé [2] qui a comme caractéristiques d'être peu dispersive et d'avoir un gain atteignant plus de 10 dB sur la bande de l'étude. La seconde, appelée antenne K, est basée sur une évolution de l'antenne Koschelev [3], elle présente les mêmes caractéristiques de dispersion mais est de dimensions plus petites au détriment du gain.



Figure 1 : Géométrie des antennes

Il s'agit donc d'optimiser les caractéristiques de ces deux antennes en termes d'adaptation et de niveaux de champs rayonnés dans un milieu diélectrique de permittivité relative moyenne égale à 6.

## 2. Choix de l'antenne

### 2.1. Comparaison antenne K/ antenne cornet ridgé

L'étude préliminaire consiste tout d'abord à l'aide de simulations électromagnétiques menées de 200 MHz à 3 GHz (réalisées avec CST Microwave Studio), à faire le choix de l'antenne la plus efficace en terme de gain, d'encombrement, et de niveau de champ rayonné. Afin de comparer leur comportement, les antennes sont placées soit dans l'air, soit posées sur un sol de constante diélectrique de  $\epsilon_r = 6$  et sans perte.

Les résultats ont montré d'une part que les dimensions nécessaires à une bonne adaptation (coefficient de réflexion  $S_{11} < -10$  dB) et au rayonnement d'une impulsion couvrant ce spectre conduit à des dimensions de 40 cm de profondeur, 30 cm de hauteur et 15 cm de largeur pour l'antenne K, et de 94 cm x 68,5 cm x 97,6 cm pour l'antenne cornet ridgé.

Les résultats présentés sur la Figure 2 montrent d'autre part les champs électriques dans l'axe des antennes. Ils sont obtenus pour la même alimentation de 1V crête avec un sol homogène placé à 17 mm au-dessous des antennes. L'interaction de celui-ci avec l'antenne cornet est plus importante et fait apparaître un écho d'amplitude et de durée rendant difficile l'imagerie envisagée par la suite.

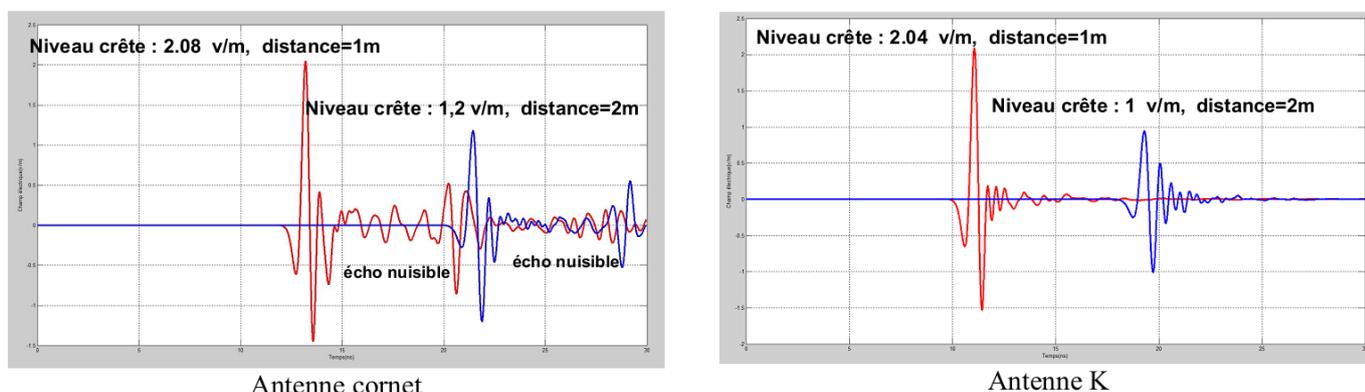


Figure 2 : Evolution du champ électrique dans le sol pour les deux antennes

Cette étude préliminaire montre les avantages de l'antenne K en termes d'encombrement et de forme de champ électrique rayonné vis-à-vis du cornet ridgé.

## 2.2. Dimensionnement d'une antenne fonctionnant à des fréquences plus basses fréquences

Dans le cadre de la détection de cibles à grande distance, il est intéressant de conserver un niveau de champ crête le plus important possible. Pour ce faire l'antenne K a été dimensionnée de façon à être adaptée sur la bande de fréquence [60 MHz – 600 MHz] dans l'air. Le tableau ci-dessous montre l'évolution du champ électrique sur l'axe des antennes.

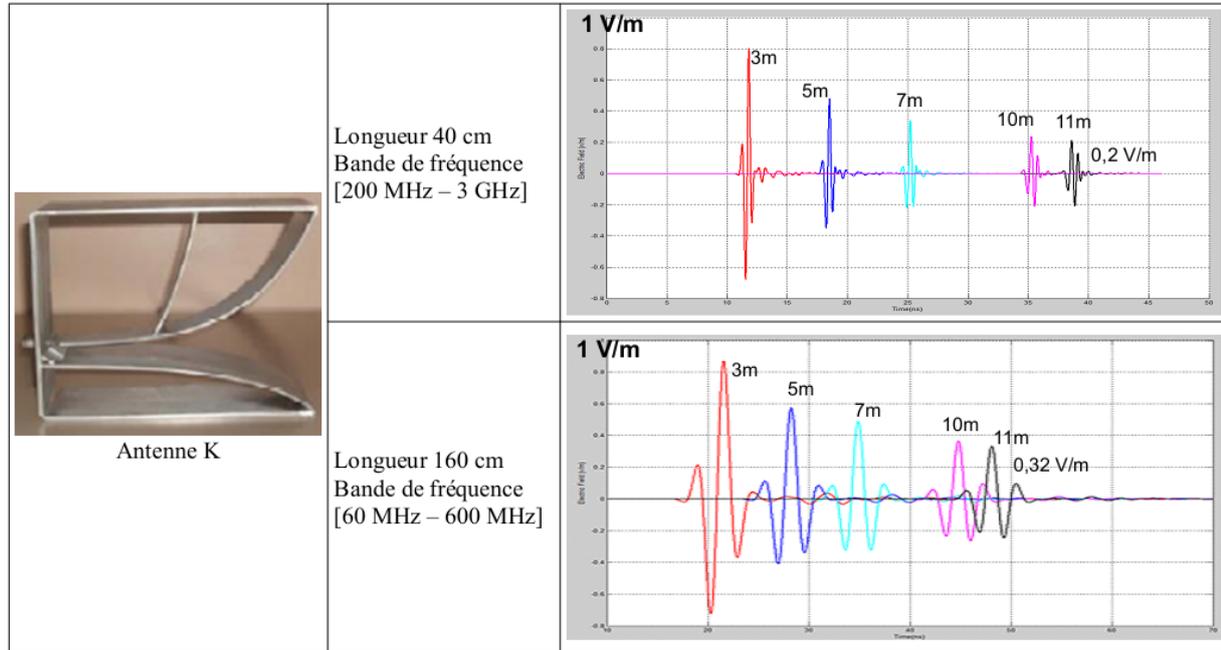


Tableau : comparaison des niveaux de champ en regard des distances de propagation

L'encombrement est plus important certes, mais le niveau crête du champ rayonné est supérieur de 35 % à 11 m dans l'air.

## Conclusion

Dans cette première phase de l'étude, nous avons montré l'intérêt de l'antenne K pour le rayonnement d'un signal Radar impulsif pour cette application. Nous montrerons l'intérêt des basses fréquences sur l'influence des pertes diélectriques et de l'humidité du sol lors de la présentation. D'autres géométries d'antennes sont envisagées dont certaines seront étudiées dans le cadre de cette application.

## Références

- [1] D. Daniels, Ground Penetrating Radar, RADAR HANDBOOK, 1996.
- [2] M. G. A. Khaleghi, «Wideband Double Ridged Horn Antenna: Pattern Analysis and Improvement,» *Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, pp. 909-912.
- [3] Y. A. Y. B. V. P. K. S. V.I. Koshelev, «Ultrawideband transmitting antennas, arrays, and high power radiation sources,» *Ultrawideband Short Pulse Electromagnetics*, 2003.

Les recherches NeTTUN menant aux présents résultats ont bénéficié d'un soutien financier du septième programme-cadre de la Communauté européenne (FP7 2007-2013) en vertu de la convention de subvention n° 280712.