

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Faculté de génie

Département de génie électrique et génie informatique

RAPPORT APP3

Antennes et Rayonnement

Présenté à

Monsieur Max Hofheinz

Présenté par

Pascal-Emmanuel Lachance – LACP3102

Sacha Labbé– LABS2816

Sherbrooke 7 juin 2023

TABLE DES MATIERES

1.	Enclos à vache	2
1.1.	Précision relative de la mesure de distance basée sur l'équation de Friis	2
1.2.	Évaluation des différents effets qui pourraient altérer la puissance de réception.....	3
2.	Plans maraichers	4
2.1.	Portée théorique des ESP32.....	4
2.2.	Comparaison avec mesures expérimentales et explication.....	4
2.3.	Position de l'antenne dans la canne-tenne	5
2.4.	Comparaison des gains avec simulations	5
2.5.	Comparaison des positions d'antennes avec tests expérimentaux et explication	6
2.6.	Comparaison entre canne et antenne dipôle et explication.....	6
2.7.	Position de l'antenne dans la canne 540 ml avec un diamètre de 83 mm et une hauteur de 110 mm.	6
2.8.	Comparaison des gains et explications.....	7
3.	Érablière : atténuation sur un trajet de 1 km dans la forêt	8
4.	Pour finir votre étude de faisabilité vous vérifiez aussi au niveau de la couche MAC s'il pourrait y avoir un risque de congestion du réseau vu le nombre élevé de capteurs et les taux d'émission de paquets.	8
5.	Autre propriété des ondes électromagnétiques pour obtenir une bonne précision sur la position	8
6.	Réseau en mode infrastructure ou autre mode Wifi.....	8
7.	Proposition de réseaux mieux adaptés que le WiFi pour les capteurs fixes, (portée et consommation électrique) pour les rangs maraichers et l'érablière.	9
8.	Annexe.....	9

1. Enclos à vache

1.1. Précision relative de la mesure de distance basée sur l'équation de Friis

Sans prendre en compte des effets d'atténuation, de diffraction, réfraction ou autre, l'équation nous donnant la puissance reçue est l'équation de Friis que voici :

$$P_r = P_t + G_t + G_r + \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

Où P_r est la puissance reçue (en dBm), P_t est la puissance transmise (en dBm) de 20dBm, G_t et G_r sont les gains des antennes de transmission et de réception, à 0dB. R est le rayon de l'enclos.

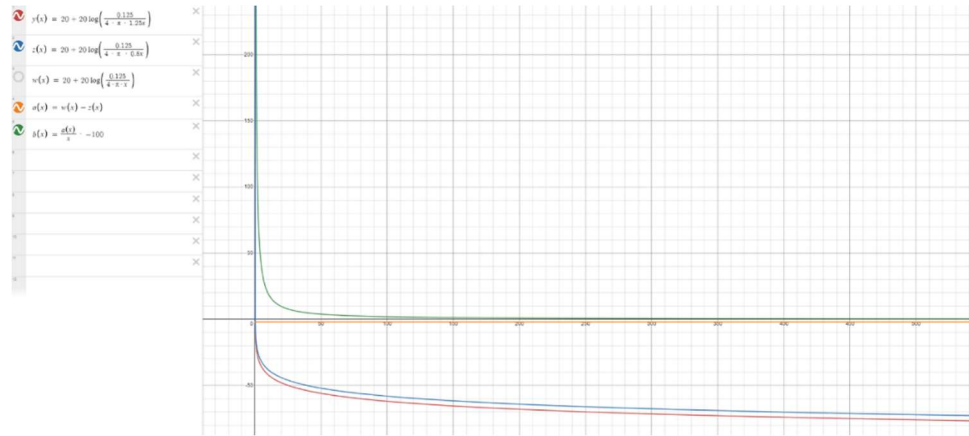


Figure 1 - Puissance du signal WiFi en fonction de la distance

La Figure 1 démontre que la puissance du signal à 80% (courbe bleue) et 125% (courbe verte) descendent exponentiellement avec le rayon de l'enclos. Par contre, la différence entre les deux reste fixe à -3.87dB (courbe orange):

$$\begin{aligned} P_r(1.25R) - P_r(0.8R) &= 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi 1.25R}\right) - 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi 0.8R}\right) \\ &= 20 \log\left(\frac{\lambda/4\pi 1.25R}{\lambda/4\pi 0.8R}\right) = 20 \log\left(\frac{1.25}{0.8}\right) = -3.87 \text{ dB} \end{aligned}$$

Ce -3.87dB représente notre plage absolue, mais il faut également considérer ce que cette marge nous donne en données absolues : À 100m, donc -60dBm \pm 3.87dBm/2, cette marge de -3.87dB représente 6.5% du signal. À 1km, donc -80dBm \pm 3.87dBm/2, ce qui représente 4.8% du signal. Ces calculs ne présentent toutefois pas d'effets pouvant altérer la puissance de réception (1.2), qui viennent jouer beaucoup sur des plus longues distances, et qui pourraient aider à distinguer des distances. Cependant, il faudrait plutôt se baser sur des mesures concrètes prises en conditions réelles avec le même équipement, à plusieurs distances et dans plusieurs conditions, pour avoir une bonne idée des vraies distances et incertitudes.

1.2. Évaluation des différents effets qui pourraient altérer la puissance de réception

Par contre, les calculs de la section 1.1 ne prennent pas en compte plusieurs facteurs, comme l'orientation des antennes si elles ne sont pas omnidirectionnelles, l'orientation de la vache elle-même ou le positionnement d'autres vaches, la condition météo, l'atténuation dans l'air, des signaux destructifs entre eux, le sol qui absorbe beaucoup du WiFi et qui en réfléchit de façon possiblement destructive ainsi que les imperfections dans les antennes. Pour ces effets, on peut chercher à considérer le pire scénario où l'enclot fait 1km, en commençant par évaluer l'atténuation causé par l'air et les vaches : En utilisant l'équation de Friis :

$$P_r = P_t + G_t + G_r + \left(\frac{\lambda}{4\pi km} \right)^2 - \left(Att_{air} \frac{dBm}{km} + Att_{vach} \frac{dBm}{km} \right) \cdot \frac{R}{1km}$$

Att_{air} et Att_{vache} sont les facteurs d'atténuation au travers des matériaux d'air et de vache.

On peut commencer par estimer les facteurs d'atténuation. Pour celui de l'air, la Figure 7 indique une perte d'environ 0.07dB/km, ce qui est complètement négligeable.

Pour l'atténuation au travers d'une vache, prenons encore le pire cas, où la vache fait derrière à la borne centrale, et que l'antenne, attaché à son cou, doit passer au travers de la vache, faisant en moyenne 1.593m de cou à queue¹. On voit une atténuation de 0.397dB/mm pour de la viande de bœuf², ce qui donne une atténuation de 630dB au travers d'une vache entière.

Il est donc complètement non-envisageable de faire communiquer un signal au travers d'une vache faisait dos à la borne principale. Cependant, les vaches s'éloignant de la borne y font nécessairement dos, ce qui s'avère être un problème majeur, dont on propose une solution en 5.

Même si le signal contournerait la vache (vu que l'étude du IEEE entoure l'antenne de viande), et qu'on considérerait la vache comme un mur à contourner, pour notre calcul d'atténuation, le facteur d_1 est presque 0 dans l'équation $v = H \cdot \sqrt{\frac{2}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$, qui donnerait un v très élevé et une atténuation trop importante.

¹Lardy, Romain & De Boyer des Roches, Alice & Capdeville, Jacques & Bastien, R. & Mounier, Luc & Veissier, Isabelle. (2020). New recommendations for self-locking barriers to reduce skin injuries in dairy cows. animal. 14. 1-12. 10.1017/S175173112000052X.

https://www.researchgate.net/publication/340283152_New_recommendations_for_self-locking_barriers_to_reduce_skin_injuries_in_dairy_cows, p.1748

² M. J. Christoe, J. Yuan, A. Michael and K. Kalantar-Zadeh, "Bluetooth Signal Attenuation Analysis in Human Body Tissue Analogues," in IEEE Access.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9449897>

2. Plans maraichers

2.1. Portée théorique des ESP32

En reprenant l'équation de Friis présentée en 1.1, et en cherchant une puissance de réception minimale de -97dBm^3 , on se retrouve avec une portée théorique maximale de :

$$-97\text{dBm} = 20\text{dBm} + 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)$$

$$-117\text{dBm} = 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)$$

$$R = \frac{\lambda}{4\pi 10^{-\frac{11}{20}}} \approx 7\text{km}$$

2.2. Comparaison avec mesures expérimentales et explication

Problèmes à moins de 100m : interférences, sol absorbe, autres

Par contre, ces valeurs théoriques ne prennent pas en compte des interférence, l'absorption du sol et la réflexion contre celui-ci, ni l'atténuation au travers de l'air et les problèmes d'orientation d'antennes.

La Figure 2 montre qu'à 25m, on peut facilement avoir moins de -60dBm de puissance reçue, alors que dans nos calculs théoriques, on devrait atteindre cette puissance reçue seulement autour de 100m. De la même façon, nos mesures autour de 10m de distance tournent autour de -50dB , qu'on ne devrait théoriquement avoir qu'autour de 30m.

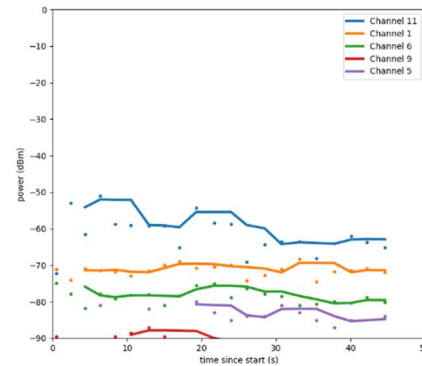


Figure 2 - Mesures avec l'antenne de l'ESP32 à 25m

Il y a donc un facteur possiblement de 1/3 voire 1/4 au niveau de la distance pratique vs théorique, donc les sources sont discutées en 1.2 et consistent principalement à l'absorption du sol. Ce facteur devrait être précisé en faisant plus de mesures, ce qui n'a pas été fait correctement avec les contraintes du laboratoire et l'environnement de l'université.

³ ESP32 Specifications – Receiver Performance : <https://www.esp32.com/viewtopic.php?t=3096>

2.3. Position de l'antenne dans la canne-tenne

$$f_c = \frac{\beta_c \cdot c}{2\pi} = \frac{\left(\frac{1.841}{0.0475}\right) \cdot c}{2\pi} = 1.85 \text{ GHz}$$

$$f_m = \frac{\beta_c \cdot c}{2\pi} = \frac{\left(\frac{2.405}{0.0475}\right) \cdot c}{2\pi} = 2.41 \text{ GHz}$$

Le 2.4 GHz du Wifi se retrouve entre les 2 fréquences de coupure

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{0.125} = 16\pi$$

$$\beta_m = \sqrt{\beta^2 - \beta_c^2} = \sqrt{16\pi^2 - \left(\frac{1.81}{0.0475}\right)^2} = 32$$

$$\beta_m = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow \frac{\lambda}{4} = 0.049 \text{ m}$$

Dans le 2^e cas, $\beta < \beta_{c,m}$, donc β_m devient imaginaire et l'onde ne se propage plus. La position idéale de l'antenne est donc à 49mm du fond.

2.4. Comparaison des gains avec simulations

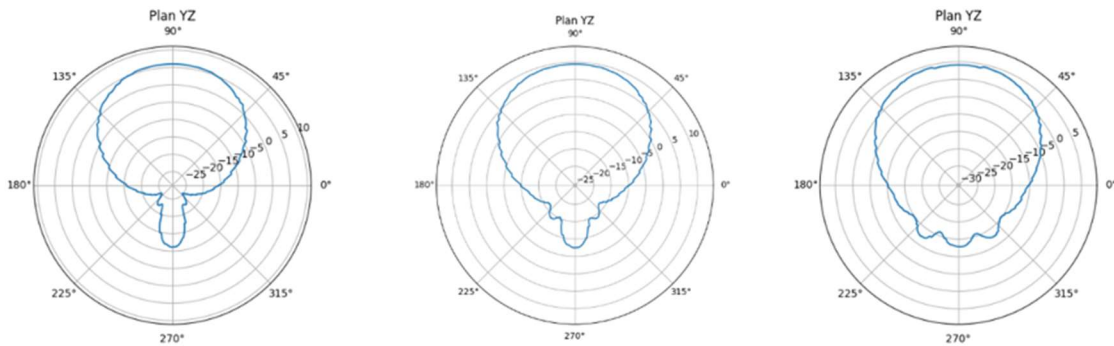


Figure 3: Gain en fonction de la position de l'antenne: 0.02m, 0.049m et 0.07m

En simulation, on peut voir que la canne est plus efficace quand l'antenne est placée à 0.049m, car sa puissance est d'environ 10dB et les autres sont plus près de 5dB.

2.5. Comparaison des positions d'antennes avec tests expérimentaux et explication

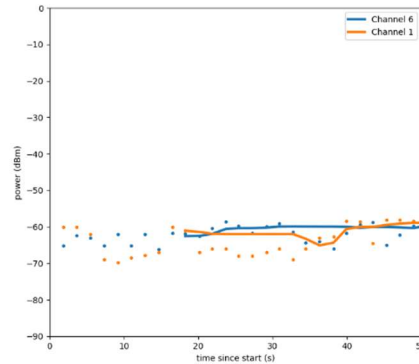


Figure 4: Déplacement de l'antenne dans la canne en pointant vers le canal 6

En déplaçant l'antenne dans la canne, on semble observer une meilleure puissance vers le milieu de la canne, ce qui correspond environ à la position de l'antenne. Comme le déplacement de l'antenne n'était pas uniforme dans le temps, ça peut expliquer l'irrégularité du graphique. Cependant, avec les nombreuses interférences et le peu de gain par rapport aux autres positions dans la canne (environ 4dB), il est très possible qu'on aurait pu avoir un résultat similaire sans bouger l'antenne.

2.6. Comparaison entre canne et antenne dipôle et explication

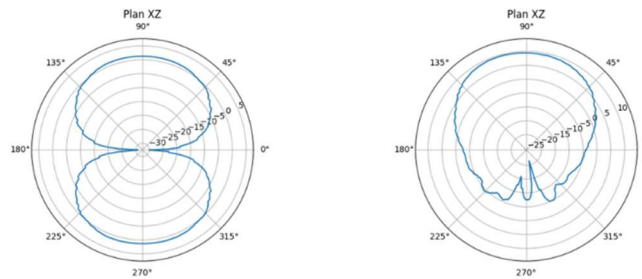


Figure 5: Comparaison des gains entre une antenne dipôle et la canne-tenne bien placée

On voit que la canne avec une antenne bien placée est bien meilleure que toutes les autres options avec environ 10dB de gain, autour de 5dB avec une antenne mal placée et environ 1dB pour l'antenne dipôle.

2.7. Position de l'antenne dans la canne 540 ml avec un diamètre de 83 mm et une hauteur de 110 mm.

$$f_c = \frac{\beta_c \cdot c}{2\pi} = \frac{\left(\frac{1.841}{0.0415}\right) \cdot c}{2\pi} = 2.12 \text{ GHz}$$

$$f_m = \frac{\beta_c \cdot c}{2\pi} = \frac{\left(\frac{2.405}{0.0415}\right) \cdot c}{2\pi} = 2.76 \text{ GHz}$$

Le 2.4 GHz du Wifi se retrouve entre les 2 fréquences de coupure

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{0.125} = 16\pi$$

$$\beta_m = \sqrt{\beta^2 - \beta_c^2} = \sqrt{16\pi^2 - \left(\frac{1.841}{0.0415}\right)^2} = 23.63643$$

$$\beta_m = \frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow \frac{\lambda}{4} = 0.066m$$

Dans le 2^e cas, $\beta < \beta_{c,m}$, donc β_m devient imaginaire et l'onde ne se propage plus. La position idéale de l'antenne est donc à 66mm du fond.

2.8. Comparaison des gains et explications

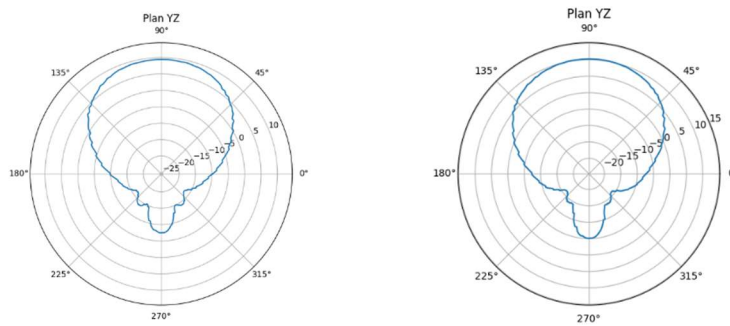


Figure 6: Comparaison entre la canne-tenne de rayon 0.095m et 0.083m

La 2^e canne est légèrement plus efficace à la distance idéale, car la fréquence utilisée de 2.4GHz se retrouve plus au milieu des 2 fréquences de coupure calculées : Dans le cas de la première canne-tenne, les fréquences sont de 1.85GHz et 2.41GHz, donc on est très près de l'une des fréquences de coupure, où le gain est déjà de -3dB. Pour la 2^e, elles sont de 2.12GHz et 2.76GHz, donc le 2.4GHz est presque au milieu, ce qui est bénéfique.

3. Érablière : atténuation sur un trajet de 1 km dans la forêt

Grâce à nos mesures expérimentales sur le terrain, nous avons découvert une perte d'approximativement -5dB par 20m de forêt. Si on additionne ces pertes sur 1 km, on obtient environ -250dB, ce qui est vraiment trop peu pour qu'une borne WiFi soit capable de détecter un signal, vu que la limite normale pour du WiFi tient autours de -95dB. La solution WiFi par infrastructure n'est donc pas viable pour l'érablière car les arbres au fond de celle-ci n'auront pas moyen de communiquer avec la borne principale.

4. Pour finir votre étude de faisabilité vous vérifiez aussi au niveau de la couche MAC s'il pourrait y avoir un risque de congestion du réseau vu le nombre élevé de capteurs et les taux d'émission de paquets.

Pour l'érablière, si chacun des 100 capteurs doit envoyer 1ko de données 1 fois par heure, on a 100ko/heure ou 800kb/heure. Avec différents standards de wifi, on peut obtenir des vitesses théoriques entre 11Mb/s pour du 802.11b, jusqu'à du 600Mb/s pour du 802.11n. Même si ces vitesses sont théoriques et que réalistiquement nous aurions quelque chose moins faible, on compare tout de même un débit en ko/heure avec une bande passante en Mb/s. La bande passante est bien plus grande que le besoin des capteurs, donc il n'y a aucun risque de congestion. Les mêmes considérations s'appliquent aux cultures maraichères.

Pour les vaches, les 100 vaches doivent envoyer 1ko/s au minimum, donc 100ko/s au total. Comme précisé plus haut, même en n'étant pas dans des conditions idéales, le WiFi reste toujours en Mb/s (autour de 10x plus de bande passante que d'information), donc il n'y aurait pas de congestion.

5. Autre propriété des ondes électromagnétiques pour obtenir une bonne précision sur la position

On peut se servir de la vitesse de l'onde, en sachant que la vitesse de l'onde, multipliée par le temps égale la distance. On serait capable de trianguler la position des vaches, en ajoutant d'autres bornes WiFi. En effet, en calculant la distance entre la vache et chacune des bornes et en connaissant le délai de réponse, on peut trianguler la vache. Le protocole Wifi le permet, car on peut communiquer avec plusieurs bornes à la fois et ainsi, trianguler.

6. Réseau en mode infrastructure ou autre mode Wifi

Comme nous avons déterminé qu'il était impossible de transmettre à 1km de distance en forêt, le mode ad hoc serait plus efficace. Le mode infrastructure oblige chacun des capteurs à communiquer avec la même borne, qui peut parfois être hors de portée. Avec le mode ad hoc, chacun des capteurs devient une borne WiFi pour retransmettre l'information jusqu'à la borne principale.

7. Proposition de réseaux mieux adaptés que le WiFi pour les capteurs fixes, (portée et consommation électrique) pour les rangs maraîchers et l'érablière.

Plusieurs autres options de réseau s'offrent à nous pour les capteurs fixes. Premièrement, pour l'érablière, il y a le ZigBee, utilisé régulièrement en domotique, qui agit un peu comme le mode ad hoc du Wifi, mais de façon plus économique au niveau énergétique. Les appareils connectés créent un réseau qui permet de redistribuer l'information entre les appareils pour pouvoir communiquer sur une plus longue distance totale. Cependant, les appareils ne peuvent couvrir que de 10m à 100m, donc si les capteurs sont espacés de 50m à 100m, il faut s'assurer que le réseau est fonctionnel. On pourrait augmenter notre qualité de signal en utilisant une paire d'antennes directionnelles pointées vers les bornes les plus proches.

Pour les plans maraîchers ou même l'érablière, la communication LoRa par onde radio peut aussi être une manière d'envoyer l'information à une grande distance, au travers de 1km de végétation. LoRa consomme peu d'énergie et possède une longue portée, mais possède une bande passante plus faible. Sa bande-passante de 0.3 à 5.5kb/s permet également de bien recevoir les 800kb/h ou 0.2kb/s acheminés par les capteurs.

8. Annexe

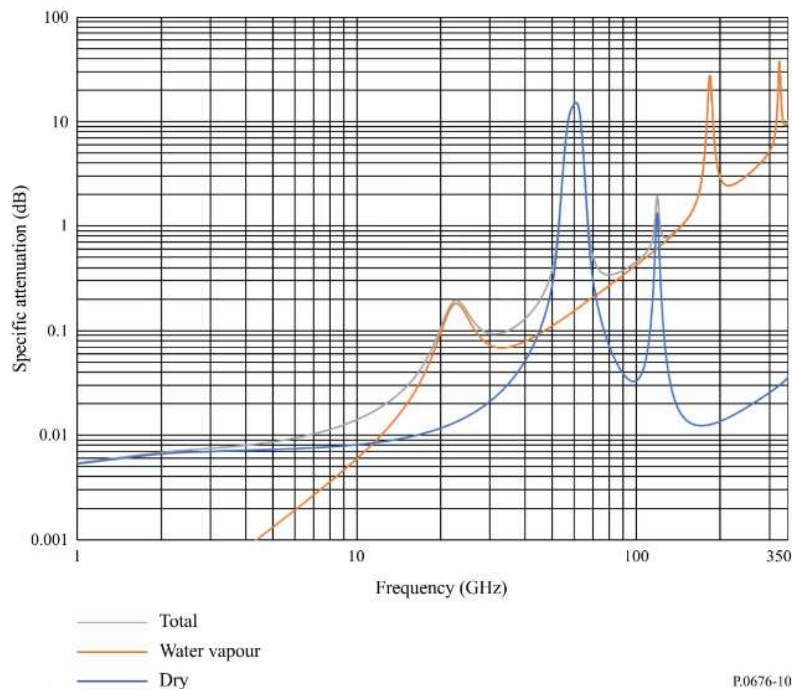


Figure 7 - Atténuation d'un signal dans l'air selon la fréquence