

**INITIATION À LA RECHERCHE SUR LES ROBOTS EN RÉSEAU
SANS FIL ET SUR LES SYSTÈMES DE POSITIONNEMENT
ROBOTIQUE RELATIF BASÉS SUR L'ANALYSE DE LA
PUISANCE DES SIGNAUX RADIO**

BEHIDJ Ramzi
Master Paris-Saclay, mention informatique
Parcours ANO : 1ere année

Table des matières

1	Introduction	2
2	Présentation du laboratoire	2
3	Contexte et objectifs	3
4	Description du travail réalisé	4
4.1	Montage d'un robot	4
4.2	LimeSDR et signaux WIFI	5
4.3	Collecte de données	6
5	Perspectives	8
6	Conclusion	9

1 Introduction

Dans le cadre de mon master Advanced Networks and Optimization a l’Université Paris-Saclay, j’ai souhaité réalisé mon stage dans un laboratoire de recherche en informatique ce qui s’inscrit dans la continuité de mon projet professionnel qui se veut être conclu par une thèse Cifre au sein d’une entreprise. Mon stage me permettrait ainsi d’avoir un première aperçu et avant goût de la recherche que je souhaitais découvrir. C’est ainsi que j’ai rejoint le LISN et l’équipe ROCS plus précisément en tant que stagiaire qui sera initié à la recherche sur les robots en réseau sans fil et en particulier sur les systèmes de positionnement robotique relatif basés sur l’analyse de la puissance des signaux radio. Plusieurs tâches me sont assignées comme la mise en place d’expériences avec les dispositifs robotiques présents au laboratoire, ainsi que de la mise en service du système de collecte des signaux et de l’analyse de ces signaux par des méthodes d’apprentissage automatique.

2 Présentation du laboratoire

Le Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique – LISN (Université Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec, Inria) est né, au 1er janvier 2021, de la fusion d’équipes du Laboratoire d’informatique pour la mécanique et les sciences de l’ingénieur - LIMSI (Université Paris-Saclay, CNRS) et du Laboratoire de recherche en informatique - LRI (Université Paris-Saclay, CNRS). CentraleSupélec et Inria sont également partenaires de ce nouveau laboratoire. Il se positionne en centre de recherche pluridisciplinaire d’envergure mondiale et couvre un vaste panel de recherches fondamentales et appliquées en sciences du numérique. Son approche consiste à aborder ces disciplines, et plus particulièrement l’intelligence artificielle, de manière variée. Il compte ainsi parmi ses membres des spécialistes en mathématiques et informatique, en mécanique, en linguistique, en psychologie, ou encore en sociologie.

Le LISN est structuré en cinq départements. Ils sont spécialisés en algorithmes, apprentissage et calcul ; en science des données (qui recouvre la bio-informatique, les réseaux, le web sémantique ou encore la gestion des connaissances) ; en énergétique et mécanique des fluides ; en science et technologie des langues (notamment pour développer des modèles automatiques d’analyse des langues) ; en étude des interactions avec l’humain, afin d’améliorer les rapports de ce dernier avec les différentes machines qui l’entourent. Cela s’illustre par exemple par le développement d’accès simplifiés à des ensembles de connaissances et à la visualisation de masses hétérogènes de données. Ce département est déjà l’un des plus grands centres de recherche en Europe sur le sujet, et la multiplicité de ses plateformes expérimentales le rend unique dans son domaine.

La pluridisciplinarité est dans l’ADN même du LISN. Par exemple, plusieurs équipes, notamment celles dédiées à la bio-informatique et au traitement automatique de la langue, mènent actuellement des travaux sur le Covid19. Il s’agit du projet « Covid-nma » qui, à l’aide des sciences numériques, intègre toutes les sources de données disponibles issues de la recherche mondiale sur l’épidémie. Grâce à ce recueil d’informations, tous les essais réalisés et leurs résultats sont restitués sous forme de synthèse dynamique et interactive. Ce qui simplifie grandement la planification des études médicales et l’accès aux informations.

Un autre projet concerne la recherche responsable et le traitement automatique des langues. Il doit prochainement voir le jour et est mené en partenariat avec la start-up Hugging Face. Cette dernière développe notamment une technologie open source de modélisation de réseaux de neurones pour le traitement du langage naturel. Ensemble, ils travaillent à trouver des approches pour minimiser l’impact écologique lié à l’énergie utilisée pour réaliser des calculs informatiques ; mais aussi à développer des modèles performants pour le traitement automatique de la langue.

De très nombreux autres axes de recherche sont développés au laboratoire. Comme l’étude des sujets éthiques relatifs aux robots conversationnels (chatbots) et l’usage de l’intelligence artificielle en général, l’analyse et la visualisation de langues régionales sur des cartes interactives et sonores, la traduction automatique, la conception de réseaux de télécommunication 6G ou Edge, le développement de systèmes de pilotage tactiles de fauteuils roulants, ou encore l’expérimentation de l’impact de la recherche sur les émissions de gaz à effet de serre.

Mon stage s'est déroulé au sein de l'équipe ROCS, une équipe conjointe avec des chercheurs en networking

et en optimisation stochastique et combinatoire. L'objectif ultime de la partie Réseaux est de traiter des recherches liées à la mobilité des utilisateurs, à la qualité de service et à la sécurité, principalement sur les réseaux de communication sans fil, quel que soit leur type, avec ou sans infrastructure. De nouvelles solutions sont étudiées pour optimiser plusieurs paramètres de mise en réseau tels que le routage, l'énergie, la sécurité, l'ordonnancement et les ressources. Ces solutions conduisent à la définition d'algorithmes et de protocoles qui doivent atteindre des résultats performants. La partie Optimisation stochastique et combinatoire utilise le paradigme de l'optimisation comme composante fondamentale de la méthodologie de recherche, qui repose principalement sur la conception, la modélisation et l'évaluation des performances des solutions optimisées proposées. La recherche principale est liée à l'optimisation combinatoire déterministe et à l'optimisation stochastique. L'objectif principal de ROCS est de traiter des sujets cruciaux et des développements futurs, en particulier dans les réseaux mobiles, en développant des collaborations solides pour résoudre des problèmes complexes d'optimisation de réseaux.

3 Contexte et objectifs

Le but du projet est de réussir à faire naviguer une flotte de drones, en ne contrôlant uniquement qu'un seul drone, dénommé "drone leader". Dans l'exemple illustratif de base, la flotte de drones est composée de ce drone leader ainsi que de 2 drones follower, disposés dans une formation en triangle. Le leader est au sommet du triangle, et les 2 suiveurs sont derrière lui.

Le projet s'appuie sur un article scientifique préalablement publié par des chercheurs de l'équipe ROCS (Nicola Roberto ZEMA, Dominique QUADRI, Steven MARTIN, Omar SHRIT) qui s'intitule « *Formation control of a mono-operated UAV fleet through ad-hoc communications : a Q-learning approach* ».

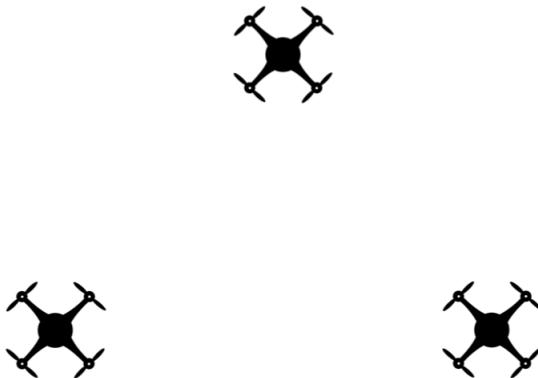


FIGURE 1 – schéma représentatif de la flotte de drone

Ces drones communiquent entre eux à l'aide d'une connexion Wifi et forment un réseau ad hoc, c'est-à-dire un réseau sans fil sans infrastructure définie préalablement. Les communications se font d'un appareil à un autre, sans passer par une plateforme centrale.

La seule information communiquée entre deux drones est la force du signal qui existe entre eux, en décibel. Par exemple, la force de signal entre deux drones proches va être plus élevée que de deux drones distants. L'angle de rotation par rapport à une référence commune est également transmis. Le drone leader est contrôlé par l'opérateur à l'aide d'une télécommande. Les mouvements réalisables par le drone sont des translations dans les 4 directions du plan horizontal (gauche, droite, devant, derrière), ainsi que des rotations selon l'axe vertical.

Le but va ainsi d'être de programmer le comportement des deux drones followers afin qu'ils conservent automatiquement cette formation en triangle, par rapport à la position du drone leader grâce à un algorithme de Q-learning.

Mon objectif durant mon stage se focalise sur la partie collecte de données à fournir pour entraîner l'algorithme de Q-learning et ceci en collectant les valeurs RSSI via la réception de paquet WiFi en simulant la flotte de drones par une flotte de robots terrestres.

4 Description du travail réalisé

4.1 Montage d'un robot

La première partie de mon stage à consisté à mettre en oeuvre le montage d'un robot adeept rasptank. Ce dispositif basé sur raspeberry PI est une plate-forme de robot mobile sur chenilles, il est équipé d'un bras robotique 4-DOF qui peut saisir de petits objets. RaspTank est conçu pour les débutants et les professionnels pour apprendre l'IA, la robotique, la programmation et l'électronique.

L'objectif de cette mission était de se familiariser avec ce type de dispositif robotique utilisant des cartes raspberry PI programmable afin de contrôler le robot à distance grâce au wifi ou en filaire grâce à un câble Ethernet. Ce fut ma première expérience avec des cartes raspberry PI ce qui a conduit a ma toute première difficulté durant mon stage, en effet un travail de recherche a du être mené de ma part afin de manipuler et d'utiliser ce type de technologie. Plusieurs cartes étaient disponibles au laboratoire, un premier travail consistait donc à faire le tri entre les différents modèles et en comprendre les différences. Il s'est avéré que le modèle raspeberry Pi 3 était le plus adapté du fait qu'il dispose d'une carte WiFi afin de contrôler le robot à distance via une web app, malheureusement aucun modèle 3 était fonctionnel au laboratoire. De ce fait, une solution a du être trouvé. En effet, j'ai poursuivi le montage du robot avec une raspberry Pi 2 qui ne dispose pas de carte WiFi en ajoutant une clé WiFi tp-link qui a fait office de récepteur WiFi afin de contrôler le robot à distance.

Du fait de mon inexpérience dans le domaine de l'électronique et la robotique, j'ai du refaire le montage à plusieurs reprises avant qu'il ne soit complètement fonctionnel car plusieurs erreurs ont été commises de ma part. Tout d'abord je n'avais pas saisi l'importance de la carte Raspberry et la nécessité de la programmer dès le départ avant le début du montage a l'aide d'un écran et d'un clavier souris après avoir correctement initialisé la carte SD qui contient l'OS, ainsi que des erreurs de montage comme la mauvaise fixation de la caméra qui a conduit a une erreur au moment de connecter l'ordinateur au robot via SSH.

Cette mission non compliquée mais minutieuse m'a permit d'être plus rigoureux dans ma manière de travailler en suivant a la lettre un manuel d'explication de 70 pages afin de mener à bien le montage, cela m'a aussi permis d'entreprendre un premier travail de recherche sur des points qui ne m'ont pas été transmis par ma formation.



FIGURE 2 – Raspberry PI 2

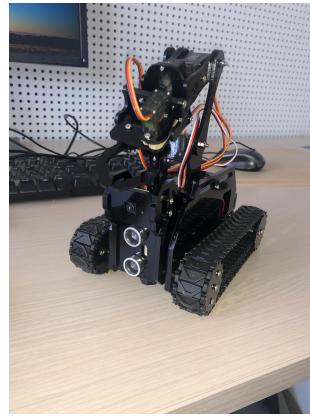


FIGURE 3 – Adeept RaspTank

Ce type de dispositif robotique sera utile dans le contexte des recherches menées par l'équipe dirigée par Mr Nicola Roberto Zema dans le cadre de la collecte de données essentiel a la mise en place du projet qui consiste a contrôler une flotte de drones via des algorithmes de Q-learning. Les données collectées par les robots au sol serviront d'une base de données réaliste et plus intéressantes afin de poursuivre les recherches sur le Q-learning. C'est dans cette optique que plusieurs autres robots ont été montés par d'autres étudiants

afin de constituer une véritable flotte.



FIGURE 4 – Flotte de robot terrestre

4.2 LimeSDR et signaux WIFI

Le LimeSDR est un récepteur-émetteur SDR open-source couvrant les fréquences de 0.1MHz à 3.8GHz en full-duplex avec une bande passante de 64Mhz, 2x2 Mimo. Il peut transmettre et recevoir des signaux UMTS, LTE, GSM, LoRa, Bluetooth, Zigbee ou RFID, pour n'en citer que quelques-uns.

Ma seconde mission lors de mon stage consiste à mettre en place et à trouver des solutions afin de capturer des paquets wifi grâce au limeSDR usb qu'on veut connecter plus tard à nos dispositifs robotiques présents au laboratoire afin de simuler la collecte de données.

Au bout de plusieurs jours de recherche et de documentation sur le domaine, je me suis aperçu qu'il existait un moyen très efficace d'utiliser le limeSDR usb avec une raspberry pi, en effet os de raspberry pi nommé PiSDR qui est un système d'exploitation basé sur Raspbian pour le Pi pré-chargé avec plusieurs logiciels de radio logicielle. Il a été créé pour servir de bootstrap rapide et fiable pour les projets SDR ce qui convient parfaitement à notre projet. J'ai découvert ainsi un moyen nous facilitant grandement la connectivité entre raspberry pi et limeSDR qui sera essentiel dans un futur proche lors des simulations avec les robots terrestres disponibles en laboratoire. Après la mise en point de la connexion entre raspberry pi et LimeSDR, je devais trouver le moyen de capturer des paquets wifi. Pour cela j'ai utilisé gr-802.11 - un émetteur-récepteur OFDM basé sur GNU Radio pour les réseaux IEEE 802.11a/g/p - qui peut être utilisé avec le LimeSDR Usb pour observer et enregistrer les signaux Wi-Fi.

Le signal Wi-Fi est capturé dans un fichier qui peut ensuite être lu par le célèbre analyseur de protocole réseau, Wireshark. Les avantages de l'utilisation d'une SDR avec Wireshark au lieu d'un matériel 802.11 sont les suivants : vous n'avez pas à vous soucier de savoir si votre adaptateur WLAN filtre les paquets, et bien sûr vous êtes libre de modifier la couche physique puisqu'il s'agit d'un logiciel.

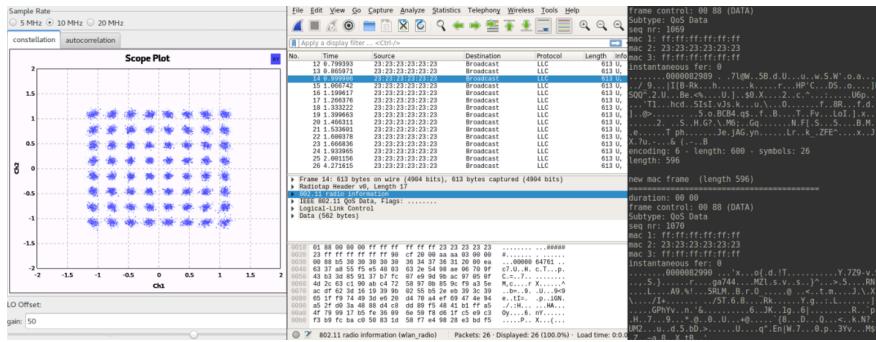


FIGURE 5 – Visualisation des signaux WiFi et paquet receptionés sur Wireshark

Dans la figure ci dessus on peut observer qu'en exécutant un script python, une fenêtre wireshark ainsi qu'une fenêtre GnuRadio s'ouvrent simultanément. Sur la fenêtre gnu radio on peut paramétriser notre capture de

paquets wifi en variant plusieurs paramètres comme le gain, la fréquence ou la bande passante. Après avoir établit les paramètres adéquat, on remarque la formation de constellation sur la fenêtre Gnuradio ainsi que des paquets capturés sur Wireshark qui s'accumulent au fil du temps et qui sont plus ou moins nombreux selon la fréquence utilisé. En effet, plus la fréquence est utilisé plus le trafique y sera charger et ainsi provoquer la capture de plusieurs paquet Wifi, on peut cité par exemple les canaux 1,6,11 qui sont principalement utilisés en Wifi 2.4 Ghz.

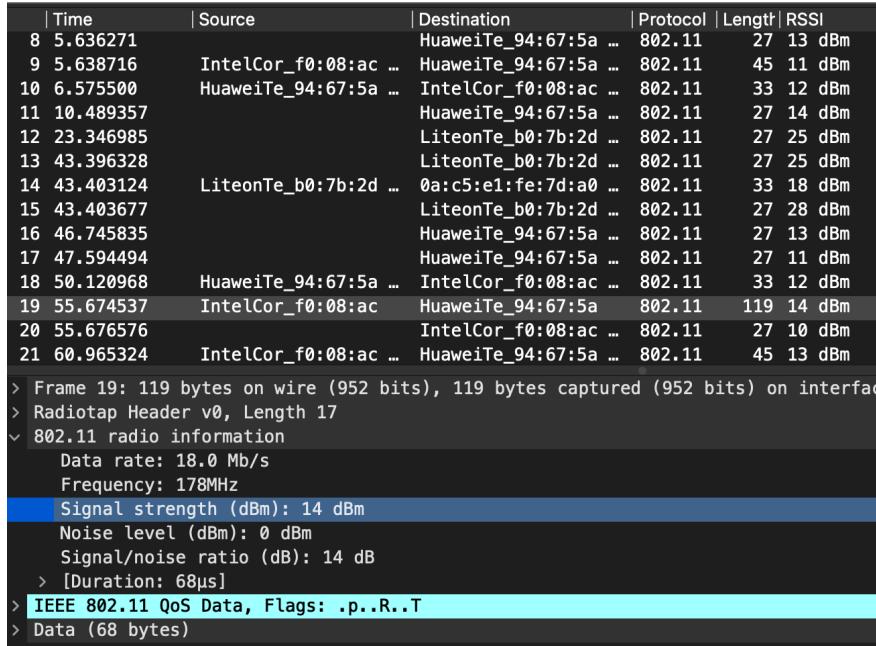


FIGURE 6 – exemple d'un paquet wifi

Les paquets wifi capturés via notre programme nous permettent d'obtenir plusieurs informations : adresses mac de la source et du destinataire, protocole utilisé, la taille du paquet ainsi que des informations radio tel que le ratio signal sur bruit, la fréquence ainsi que la force du signal.

Comme nous l'avons mentionné plus haut, c'est cette dernière information qui nous intéresse et qu'on souhaite collecter afin de correctement simuler l'expérience et entraîner les algorithmes de machine learning. On remarque sur le figure 6 une donnée Signal strength qui correspond donc a la RSSI. En télécommunications, le Received Signal Strength Indication ou RSSI est une mesure du niveau de puissance en réception d'un signal issu d'une antenne (classiquement un signal radio). Son utilité est de fournir une indication sur l'intensité du signal reçu. Ainsi, le signal peut être mesuré en analogique ou en continu, par exemple à partir d'une échelle 0/5 V (le niveau le plus élevé est 5 V, le plus bas est 0 V) ou, le plus souvent, à partir d'une échelle de puissance généralement référencée en mW.

La signification de la mesure, exprimée dans un échelle logarithmique (souvent en dBm) est la suivante : une valeur de 0 dBm correspond à une puissance reçue de 1 mW, 30 dBm correspond à 1 microwatt. Cela permet de connaître la qualité de la réception et éventuellement d'ajuster, par rétroaction, le niveau d'émission de l'émetteur distant. En Wi-Fi les valeurs usuelles de RSSI pour un terminal varient de 30 dBm (niveau élevé de réception) à 90 dBm (niveau minimum permettant d'exploiter le signal).

4.3 Collecte de données

L'objectif de collecter la force du signal via le dispositif limeSDR est né du besoin d'avoir des données de la plus grande précision, en effet on remarque sur les simulations de vol de drones par Q-learning effectué par l'équipe de recherche qu'après un certains laps de temps les drones finissent par se désorganiser et peuvent

même aboutir à des collisions entre eux si on leur fournit des données peu précise et arrondi. On peut constater ce manque de précision si on collecte les données directement via les cartes wifi des dispositifs robotique, j'ai mené l'expérience de collecte des RSSI entre un robot terrestre et un point d'accès wifi à différentes distances via l'outil « *iwconfig* » ainsi qu'en capturant un certains nombres de paquets à différentes distances via wireshark et en récupérant le RSSI dans chaque paquet.

Tout d'abord, le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus en utilisant l'outil *iwconfig* avec deux robots différents ainsi que les mêmes distances au point d'accès.

Distance (m)	RSSI (dbm)	
	Robot 1	Robot 2
0	-15/-18	-18
0.05	-20/-22	-20/-21
0.15	-26/-29	-22/-24
0.25	-30/-33	-28/-33
0.35	-35/-38	-36/-39
0.50	-41/-43	-40/-41
0.75	-45/-48	-41/-42
1	-50	-43/-44
2	-55/-58	-46/-47
3	-63/-65	-48
5	-64	-49/-51

On remarque en premier lieu l'instabilité de la mesure qui donne un intervalle du RSSI plutôt qu'une valeur unique précise ainsi qu'une différence assez notable entre les deux robots qui se situe pourtant à la même distance au point d'accès. On peut facilement en conclure le manque de précision de cette mesure via *iwconfig* en utilisant les cartes wifi des robots.

L'utilisation de la deuxième méthode impliquant la capture de paquet directement via Wireshark en utilisant la carte wifi d'un raspberry pi 4 nous a permis d'obtenir les résultats suivant :

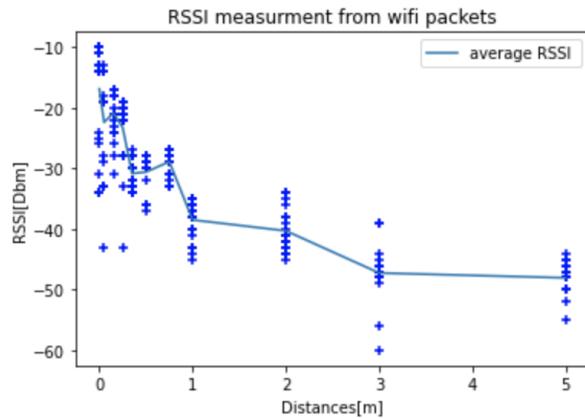


FIGURE 7 – Mesures de RSSI en fonction de la distance

	CI min	CI max	mean
0	-20.919994	-12.880006	-16.90
0.05	-26.120641	-18.679359	-22.40
0.15	-22.765271	-19.034729	-20.90
0.25	-25.974213	-20.525787	-23.25
0.35	-32.057851	-29.642149	-30.85
0.5	-31.827966	-29.372034	-30.60
0.75	-29.822382	-27.977618	-28.90
1	-39.991630	-37.008370	-38.50
2	-41.914837	-38.685163	-40.30
3	-49.407440	-45.092560	-47.25
5	-49.269251	-46.830749	-48.05

FIGURE 8 – Intervalle de confiance et moyenne

L'allure de la courbe nous indique bien que le RSSI diminue au fonction de la distance, les croix bleu correspondant au RSSI mesure dans chaque paquet capturé parmi les 20 à plusieurs distances ce qui nous a permis de déterminer un RSSI moyen à chaque distances ainsi qu'un intervalle de confiance à 95% en utilisant la loi de Student qui nous permet d'évaluer le RSSI à chaque distance du point d'accès. On remarque néanmoins que la mesure n'est pas stable et peut avoir des écarts conséquents entre deux paquets captures à la même distance et à très court intervalle de temps ainsi qu'une mince différence de RSSI entre 2 et 5 m ce qui pose

problème pour la suite du projet.

C'est ainsi, pour palier a ce problème de précision qu'on souhaite utiliser le LimeSDR usb qui lui peut donner une mesure bien plus précise de la RSSI. En capturant les paquets wifi comme explique dans la partie précédente et en filtrant ces paquets sur Wireshark en limitant les échanges entre les appareils qui nous intéresse (entre le point d'accès et le robot) on peut théoriquement obtenir une mesure précise de la RSSI entre les deux appareils ce qui constituera notre donnée.

Malheureusement il s'avère que cette collecte de donnée sera plus difficile que prévu car la donnée présente dans les paquets capturé s'intitulant « signal stregnth » n'est pas une réel mesure de la RSSI mais une estimation du SNR (signal to noise ratio) ce qui n'est pas recherche dans notre cas. Après certaines recherches sur le sujet, il s'avère qu'il faut procéder a la calibration du dispositif SDR qui n'est pas un instrument de mesure. Il faudrait calibrer la bande passante, le gain et la fréquence, puis faire correspondre la magnitude moyenne à une puissance/intensité de signal. Après avoir effectue cela, il faut déterminer ou le RSSI est calculé au niveau sous-jacent de GNU radio au niveau des librairies C++ qui régissent ce logiciel et faire les modifications nécessaire pour que la valeur correct du RSSI soit mesuré et affiche dans les paquets capturés. Comme mon stage ne dure que deux mois et me restant uniquement une semaine, mon tuteur a décidé de laisser cette partie pour mon collègue après que je lui ai expliqué le travail a fournir qui était plus complexe que prévu.

Cette étude avait pour but de comparer la précision du RSSI mesure en utilisant plusieurs méthode et ainsi obtenir l'allure du RSSI moyen pour ces 3 méthodes ce que je n'ai pas pu établir par manque de temps, on remarque donc la présence que des deux première méthodes uniquement.

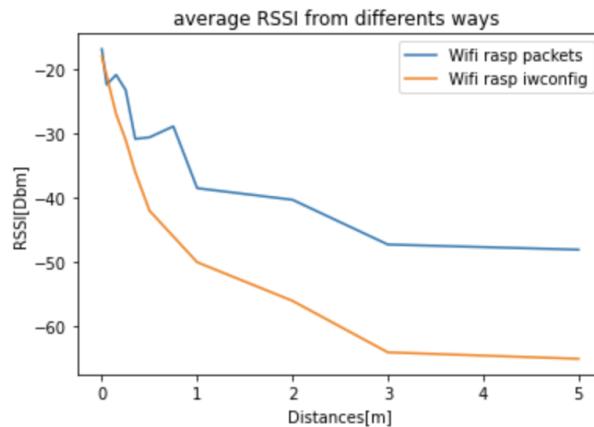


FIGURE 9 – Comparaison de la mesure du RSSI

5 Perspectives

Mon travail pour la collecte de donnée sera important pour la suite du projet qui dépend entièrement de la qualité des données récoltés qui doivent être le plus réaliste possible pour pouvoir simuler correctement l'algorithme de Q-learning et ainsi pouvoir l'optimiser au mieux avec les hyper-paramètres adéquats. N'ayant pas eu assez de temps pour pouvoir terminer ce qui a été entrepris, j'ai néanmoins effectue une grande partie du travail qui devra faciliter la tache a mon collègue en M2 qui doit reprendre et terminer mes recherches, une passation a été effectuer entre moi et mon collègue pour lui permettre de finir mes recherches dans les meilleures conditions en lui explicitant le travail effectué par des tutorial notamment détaillant l'utilisation de gnu radio avec le LimeSDR entre autre ainsi qu'en lui expliquant en détail ou réside la problématique la plus récente et les pistes que j'avais en ma possession pour la résoudre. C'est ainsi que mon travail fera partie intégrante de ce projet ambitieux et novateur liant réseaux et intelligence artificielle pour le pilotage de flottes d'UAV.

6 Conclusion

Ce stage au LISN qui a constitué ma toute première expérience professionnel m'a permis d'avoir une idée concrète de la recherche et du monde du travail. Après une année de formation théorique c'était pour moi très enrichissant et intéressant de voir et de travailler sur des projets concrets utilisant des connaissances qu'on a acquis durant notre formation. Déjà intéressé par la possibilité de poursuivre mes études par une thèse CIFRE, ce stage ma non seulement permis d'acquérir de l'expérience mais a aussi consolidé mon envie de poursuivre mes études par une thèse. En effet, j'ai très vite été séduit par l'ambiance de travail qui règne au sein du LISN et de l'équipe ROCS plus particulièrement, mon tuteur Nicola que je remercie pour son accompagnement ma très vite mis à l'aise et je me suis toute suite entendu avec le reste des stagiaires ainsi que mon collègue Joachim qui s'occupait d'une autre partie de ce même projet. Ce stage m'a donc apporté une expérience cruciale pour la suite de mon cursus et ma permis de concrétiser mes ambitions.