



Introduction aux Radiofréquences par la Citizen-Band (CB)

Sylvie Jarrix^{1,2*}, Annick Penarier^{1,2}

¹ IES, Université de Montpellier / CNRS, UMR 5214, 860 Rue de St. Priest, Bât. 5, 34090 Montpellier, France

² Département EEA, Faculté des Sciences, Campus Triolet, Université de Montpellier, France

*Auteur de correspondance : sylvie.guenard-jarrix@umontpellier.fr

Résumé : *Aujourd'hui les applications au quotidien ont recours de façon extensive aux transmissions sans fil. Les notions fondamentales de propagation d'onde et de traitement du signal associé sont donc enseignées régulièrement dans nos filières EEA. Ainsi dans le cadre d'un enseignement autour des radiofréquences, des petites manipulations sont présentées autour d'un objet peu coûteux, un poste émetteur - récepteur CB. Avec quelques transformations très simples de ce poste Citizen-Band, il est possible d'aborder plusieurs thématiques autour de la transmission sans fil, comme la réglementation des fréquences, la modulation de signal, les problèmes d'adaptation RF ou le rôle et le design d'antennes.*

Mots clés : Transmission sans fil, Réglementation des fréquences, Modulation d'amplitude, Antenne monopôle, CB.

Abstract: Introduction to Radio-Frequency systems using a Citizen-Band (CB) unit

Everyday applications make extensive use of wireless systems. Fundamental concepts of wave propagation and associated signal processing are regularly taught in EEA courses. Thus, as part of a teaching curriculum focused on radio-frequency, practical experiments are presented involving a low-cost Citizen-Band transmitter/receiver unit. after some simple changes of the CB station, it is possible to address several themes around wireless propagation, such as frequency regulation, signal modulation, RF matching or antenna design.

Keywords: Wireless transmission, Frequency regulation, Amplitude modulation, Monopole Antenna, CB

1. But du projet pédagogique

Il s'agit d'initier des étudiants de niveau bac + 2 à Master 1 au principe de transmission sans fil à partir d'un objet de communication simple et peu coûteux, un poste d'émetteur-récepteur Citizen-Band, dit CB ou CiBi. Cet objet permet d'aborder plusieurs thématiques autour des radiofréquences (RF). Tout d'abord une sensibilisation des pratiquants à la réglementation des fréquences avec la notion de bande libre en opposition aux bandes commerciales doit être menée, pour justifier du choix des fréquences et des puissances émises. Ensuite le principe de modulation d'amplitude est directement observé sur l'oscilloscope, introduisant les notions de fréquence porteuse et de modulant. Enfin des études pratiques sont étendues à la caractérisation d'antennes, et à la problématique d'adaptation hyperfréquence. Ces deux points plus spécifiques peuvent être une manière de faire découvrir aux candidats une future option de spécialisation RF lors du master.

Le papier se déroule comme suit. Nous présentons ce que l'on nomme communément "la CB", et abordons quelques règles liées à la réglementation des fréquences. Ensuite les caractéristiques du poste émetteur / récepteur, et d'un ROSmètre associé sont détaillées. La troisième section concerne les modifications apportées à l'équipement pour caractériser des signaux à l'oscilloscope. La quatrième section décrit un panel de manipulations possibles pour une séance de TP complète approfondie. Une estimation du coût global est enfin explicitée et le retour des étudiants mentionné, avant de conclure.

2. La Citizen-Band ou CB

2.1. Généralités

Inventé par Al Gross en 1945 [1], la CB a servi à l'origine comme méthode de communication pour les troupes pendant la Seconde Guerre mondiale. Après la guerre, Al Gross s'est employé à rendre possible l'utilisation de radios bidirectionnelles pour les communications personnelles, et le service radio CB a été créé juridiquement aux États-Unis en 1949. Dans les années 1970 la technologie a progressé et le marché l'a imposée comme moyen de communication entre les conducteurs, notamment les routiers. La technologie est apparue en France dans les années 80. La CB propose donc un service de communication privée vocale à courte distance, bidirectionnel, destiné aux activités personnelles ou professionnelles du grand public. L'équipement, de plus en plus petit et économique, permet de rester en contact immédiat et permanent avec une communauté inclusive, ce qui de nos jours peut être attractif pour les jeunes. Aucun abonnement, diplôme ou redevance n'est nécessaire à son utilisation, totalement gratuite et illimitée. C'est en quelque sorte un réseau social communautaire sans fil.

2.2. Réglementation des fréquences

A l'exception d'un gouvernement étranger et de son représentant, toute personne, quel que soit son âge, peut exploiter une station sans licence individuelle. Toutefois certaines règles doivent être observées, tant au niveau équipement que lors de son usage.

- Un émetteur / récepteur CB doit être certifié par l'ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes) [2] qui délivre une attestation de conformité [3] lors de la mise sur le marché d'un appareil.
- Une station CB ne peut envoyer un message en continu pendant plus de 5 minutes. Après envoi d'un message, il faut attendre au moins une minute avant de commencer une nouvelle communication.

- Il est interdit d'augmenter la puissance de sortie d'un émetteur CB, notamment par l'ajout d'un amplificateur en transmission.
- L'émission et la réception doivent avoir lieu sur le même canal. Remarque : la bande CB est découpée en 40 canaux.
- L'émission doit être effectuée exclusivement en phonie (son), et ce en modulation de fréquence ou d'amplitude.
- Pour les antennes fixes, le point le plus haut ne doit pas excéder 6 m au-dessus du point le plus élevé du bâtiment sur lequel elle est montée.
- Donner en tout temps et sur tous les canaux la priorité aux communications d'urgence.

Ces réglementations sont facilement applicables en TP, notamment avec l'usage d'un appareil standardisé.

3. Equipement nécessaire au TP CB

3.1. Le poste émetteur / récepteur CB

L'objet au cœur de ce projet est un émetteur / récepteur CB, de marque CB PNI Escort HP 8000, montrée Figure 1. Peu encombrant avec un volume de 115 x 36 x 152 mm³ et un poids de 0,8 kg, il est facilement rangeable dans les armoires d'une salle de TP!



Figure 1. Photo d'un poste CB marque PNI Escort HP 8000L.

Le poste est alimenté en 12 V $\pm$ 15%. Selon la réglementation il délivre 4 W maximum sur la porteuse en modulation de fréquence et 1 W en modulation d'amplitude double bande latérale. Il consomme 200 mA en veille, et 2 A en émission. La bande de fréquence couverte standardisée va de 26.965 MHz à 27.405 MHz avec 40 canaux de bande passante 10 kHz.

Le microphone comporte une touche Push to Talk (PTT) permettant l'envoi du signal, le poste étant par défaut en réception. Le panneau avant et la description des différentes touches sont détaillés Figure 2 et Tableau 1. Cet équipement peu onéreux est facile à trouver sur les sites spécialisés.

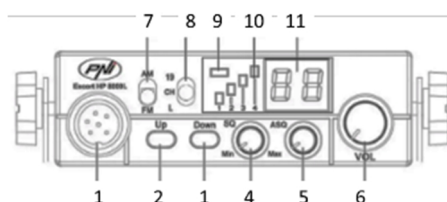


Figure 2. Détail de la face avant d'un poste CB PNI Escort HP 8000L. Se référer au Tableau 1 pour la nomenclature des numéros.

Tableau 1. Principales fonctions en face avant du poste CB PNI Escort HP 8000L.

1	Connecteur de microphone à 6 broches
2 et 3	Augmentation et diminution respectivement du numéro de canal de transmission.

4	Squelch : rend la radio plus silencieuse en supprimant le bruit de fond. Doit être au plus faible pour recevoir les signaux les plus faibles.
5	Automatic squelch : Réduit le bruit de fond mais aussi le niveau de signal reçu
6	Contrôle du volume de signal.
7	Bouton de sélection du mode de modulation AM ou FM
8	Sélection rapide du canal d'urgence 19 ou verrouillage sur le canal utile.

3.2. L'antenne

La fréquence centrale de la bande CB étant de 27 MHz, la longueur d'onde en espace libre associée est de $\lambda = 11$ m, soit pour une antenne quart-d'onde une longueur totale 2,7 m. Cette taille d'antenne est rédhibitoire dans une salle de TP, et concerne les antennes "fixes" montées sur bâtiment. Pour les antennes "mobiles" des antennes filaires "chargées" sont utilisées, avec une réduction de taille conséquente. Des inductances situées à la base de l'antenne permettent de réduire significativement leur taille, comme discuté plus loin. Le rayonnement de ces antennes est omnidirectionnel. L'antenne choisie dans le cadre de ce projet (cf. Figure 3) est une antenne de marque PNI ML29 de 29 cm de hauteur, adaptée à 50Ω dans la bande de fréquence CB. Elle possède un gain d'environ 3 dBi et peut supporter une puissance de 500 W.



Figure 3. Antenne monopôle quart-d'onde de marque CB PNI ML29

3.3. Le ROS-mètre

Pour ces TP nous avons choisi d'adjoindre au poste CB un ROSmètre de base qui fait office également de puissance-mètre, le SWR-2 de marque CRT (cf. Figure 4).



Figure 4. ROS-mètre de marque CRT utilisé en complément du poste CB

Ce ROSmètre fonctionne pour des fréquences allant de 26 à 30 MHz, fonctionnant avec des puissances en entrée de 10 à 100 W. Le ROS (Rapport d'Ondes Stationnaires) est un indicateur du niveau d'adaptation d'une antenne ou système, et doit être inférieur à 1,2 pour une adaptation correcte. L'appareil indique des valeurs précises du ROS à 5 % uniquement pour des valeurs de ROS inférieures à 3. Ceci pourrait être une limitation si l'on souhaitait évaluer un large éventail d'antennes avec des impédances d'entrée différentes. Néanmoins cette limitation tient lieu de garde-fou car il est déconseillé de brancher des antennes trop désadaptées sur le poste CB.

3.4. Autres appareils obligatoires et facultatifs pour le déroulé du TP

Les appareils classiques d'électronique, comme un oscilloscope et un Générateur Basse Fréquence (GBF), compléteront la table de TP. En complément un peu plus coûteux un analyseur de réseau vectoriel est intéressant à manipuler sur l'aspect pratique d'une mesure de ROS. Enfin pour compléter les manipulations une source de signal permettant de générer un signal modulé en amplitude est bienvenue.

4. Les modifications apportées à l'équipement

La première modification apportée au poste CB concerne le mode d'alimentation. La connectique initiale pour allume-cigare est remplacée par un transformateur 12V - 2 A (cf. Figure 5). Les fils de la prise jack du transformateur sont coupés et reliés à des fiches bananes avec détrompeur, permettant la réutilisation des transformateurs pour d'autres d'autres TP.



Figure 5. Remplacement de la prise pour allume-cigare par un transformateur 12 V pour alimentation du poste CB

La deuxième modification concerna la possibilité d'injecter en entrée du poste en mode émission un signal stable émis de façon continue, et pas seulement de la voix. Le microphone est connecté à l'équipement par un connecteur 6 broches. A partir du câblage du microphone donné dans la datasheet et représenté Figure 6, il a suffi d'ajouter et de souder un câble blindé entre la broche microphone et la broche de masse du connecteur, en parallèle du microphone. On peut ainsi injecter soit de la voix, soit un signal issu d'un GBF.

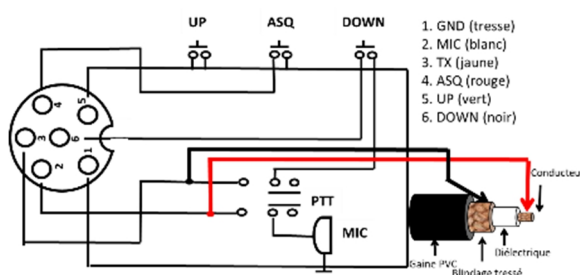


Figure 6. Pose en dérivation d'un câble blindé sur le microphone

Le résultat final de transformation du microphone est présenté Figure 7.

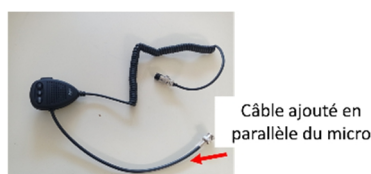


Figure 7. Microphone avec ajout de câble blindé pour injection d'un signal autre que la voix*

* La réglementation impose des signaux uniquement en phonie (voix), pour tout autre signal que la voix remplacer l'antenne par une charge fictive pour éviter d'émettre le signal.

5. Les manipulations

La notice du poste CB stipule de ne pas le charger par une impédance de valeur éloignée de 50 Ω . Ceci impose de charger la sortie soit par une charge adaptée de puissance, dite charge "fictive" (cf. Figure 8), soit par un appareil ou antenne d'impédance d'entrée 50 Ω . Pour analyser des signaux à l'oscilloscope classique haute impédance l'entrée de celui-ci doit être fermée avec une charge adaptée via un té.



Figure 8. Charge de puissance 50 Ω dite " fictive"

Ces considérations faites, plusieurs mesures ou observations de signaux peuvent alors être menées, dont certains sont décrites ci-après. Il est à noter que pour mettre le poste en mode "émission" il faut appuyer sur la touche "PTT", qui envoie systématiquement alors un signal porteur, qu'il y ait ou non en plus un signal utile arrivant dans le micro.

5.1. Mesures de Rapport d'Ondes Stationnaires et caractérisation d'antenne

Le Rapport d'Ondes Stationnaires (ROS) noté S est un indicateur de la désadaptation entre deux systèmes [4]. Sa définition à partir de la mesure d'un coefficient de réflexion r est donnée par l'équation (1).

$$S = \frac{1+|r|}{1-|r|} \quad (1)$$

Une adaptation parfaite se traduit par $S = 1$, mais en pratique il est toléré d'avoir des valeurs de S allant jusqu'à 1,2.

Dans le TP, une calibration du ROSmètre est d'abord effectuée à l'aide de la charge "fictive" connectée à la place de l'antenne. L'aiguille du ROSmètre est ajustée pour parcourir toute l'échelle de mesure du ROSmètre, puis l'on vérifie qu'avec cette charge on obtient bien une valeur de $S = 1$. La charge est ensuite remplacée par l'antenne. Le poste CB est mis en émission pour envoi de la porteuse qui fait office de signal d'excitation et le ROS de l'antenne est mesuré. Le montage de cette manipulation est donné Figure 9.

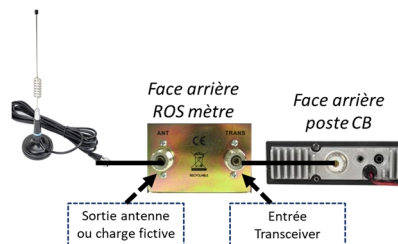


Figure 9. Montage pour mesure du ROS de l'antenne avec poste CB en émission.

Plusieurs études découlent de cette manipulation. Pour les étudiants de licence pour lesquels une initiation aux Radiofréquences est prévue dans le cursus nous proposons:

- Une mesure de ROS, avec fil d'antenne déroulé, pour illustrer le discours sur les ondes stationnaires.
- Un calcul d'impédance à partir de la relation (1).



Figure 10. Mesure de ROS de l'antenne fouet CB (a) avec plan de masse (b) sans plan de masse.

Pour les étudiants de niveau master inscrits dans un cursus de spécialisation Radiofréquence ou Transmission sans fil nous proposons:

- De mettre en avant l'importance d'un plan de masse pour une antenne quart-d'onde (cf. Figure 10). La valeur de S est différente selon que l'antenne est posée ou non sur une feuille d'aluminium représentant le plan de masse. Pour une antenne de longueur h la surface de la feuille doit être au moins de $h \times h$ pour une adaptation correcte.
- De montrer l'importance de dérouler les câbles complètement. Selon que le câble de connexion de l'antenne au poste est enroulé ou non, la valeur de S varie beaucoup.
- D'utiliser un analyseur de réseau vectoriel (VNA) si la salle est équipée. La valeur d'impédance calculée à partir de la relation (1) est alors confirmée. Pour rester dans l'esprit d'un TP RF à faible coût, des VNA à moins de 100 euros, de type NanoVNA [5] conviennent. Un exemple de mesure avec un tel VNA est présenté Figure 11.



Figure 11. Interface du mini VNA Tiny, mesure du coefficient de réflexion S11 (dB) de l'antenne et calcul associé de l'impédance d'entrée.

5.2. Design d'antenne

Pour les étudiants de master en spécialité Radiofréquence on peut sensibiliser ces derniers au design d'antenne. L'antenne usuelle CB est une antenne quart-d'onde, dite monopôle, placée au-dessus d'un plan de masse (en général une voiture). A $f_0 = 27$ MHz, la longueur d'antenne théorique vaut $L_{\text{theo}} = 2,77$ m. L'antenne commerciale ici a une longueur $L = 29$ cm, soit un raccourcissement d'un facteur 10 à peu près. Raccourcir une antenne monopôle entraîne deux effets : une dégradation de son efficacité de rayonnement et une augmentation de sa capacité parasite d'entrée. Une inductance pour compenser ce dernier effet peut être placée à divers endroits de l'antenne (cf. Figure 12).

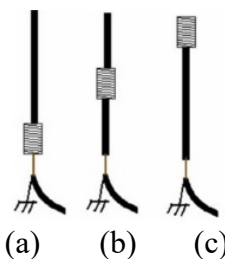


Figure 12. Placement de l'inductance de charge sur la tige de l'antenne monopôle : a) en entrée d'antenne, b) au milieu, c) en haut (d'après [6])

Un placement à la base de l'antenne nécessite une petite valeur d'inductance mais n'a pas d'effet sur la faible efficacité de rayonnement. A l'inverse une localisation en haut de la tige d'antenne améliore l'efficacité au détriment d'une valeur d'inductance très élevée, entraînant des défis mécaniques (inductance encombrante et lourde). Un placement vers le centre de l'antenne amène le meilleur compromis entre valeur d'inductance et efficacité de rayonnement. Une charge hélicoïdale, dite "en continu", permet de distribuer cette valeur d'inductance sur une partie de la tige de l'antenne, améliorant encore le rendement. L'antenne choisie ici exhibe une charge inductive distribuée qui se situe plutôt au premier tiers de l'antenne.

D'un point de vue pédagogique on peut faire calculer un certain nombre de paramètres d'antenne. A partir de la fréquence centrale $f_0 = 27$ MHz, on peut faire déterminer la longueur théorique pour une antenne quart-d'onde, et faire comparer le résultat à la longueur réelle mesurée.

Ensuite on peut modéliser l'antenne par une ligne en circuit ouvert. Un monopole possède une réactance X_c donnée par [7] (cf. eq. 2) :

$$X_c = Z \cot(h) (\Omega) \quad (2)$$

Dans le cas du TP il s'agit d'une réactance capacitive car la longueur L totale de l'antenne est inférieure à $\lambda/4$, avec λ la longueur d'onde associé à la fréquence f_0 .

L'angle h (en $^\circ$) peut se calculer par :

$$h = 360 \cdot L / \lambda (^\circ) \quad (3)$$

Dans le cas où la longueur L est très petite devant la longueur d'onde λ le terme Z peut se calculer par [8].

$$Z = 60 \left[\ln \frac{L}{d} - 1 \right] (\Omega) \quad (4)$$

avec d diamètre du câble, ici $d = 2$ mm.

Une fois la réactance calculée il suffit de la compenser avec une inductance de charge L_{coil} telle que :

$$L_{coil} = \frac{X_c}{2\pi f_0} (H) \quad (5)$$

Dans le cas du TP Les dimensions sont les suivantes : diamètre du fil d'antenne $d = 2$ mm, longueur totale $L = 29$ cm, soit $h = 9,4^\circ$. Ceci donne un terme $Z = 238 \Omega$, soit pour la réactance $X_c = 1438 \Omega$, et enfin une inductance d'environ $L_{coil} = 8,5 \mu H$.

L'ordre de grandeur de L_{coil} peut être retrouvée à partir d'un programme gratuit accessible en ligne [9]. La structure de l'antenne considérée est présentée Figure 13.

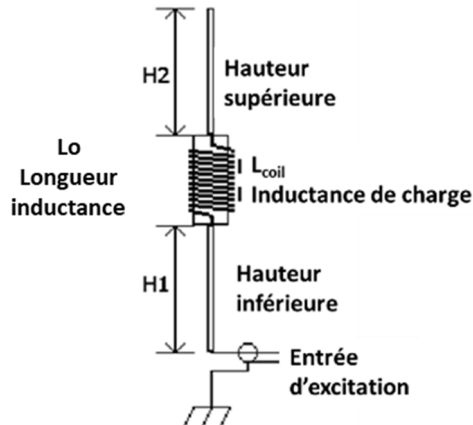


Figure 13 : Structure de l'antenne utilisée dans [9]

Les paramètres géométriques dans le cas de l'antenne de TP sont les suivants : hauteur de la base de l'antenne au début de la bobine $H1 = 11$ cm, longueur de la bobine $4,5$ cm, hauteur de la fin de la bobine au point culminant de l'antenne $H2 = 13,5$ cm, diamètre des spires $D = 1,6$ cm, ce qui donne une inductance nécessaire d'environ $L_{coil} = 6 \mu H$.

Avec le même programme [9] le nombre de tours est calculé à partir des paramètres géométriques suivants : D / Lo avec Lo longueur de l'inductance enroulée de $Lo = 4,6$ cm. Alors $D / Lo \approx 0,3$ soit un nombre de tours d'environ 7, ce qui correspond à ce que l'on peut observer sur l'antenne commerciale.

5.3. Mesure de puissance

La suite des mesures sur les signaux issus du poste CB peut s'adresser à des étudiants de niveau licence EEA. Une onde sinusoïdale faisant office d'onde porteuse est générée directement par le poste après activation du "PTT" sur le microphone. La puissance est mesurée sur le ROS-mètre qui possède aussi une fonction puissance-mètre. Le signal est observé simultanément sur l'oscilloscope. Le ROS-mètre peut être chargé indifféremment par l'antenne ou la charge "fictive", comme le montre la Figure 14. L'oscilloscope est connecté au poste CB et au ROSmètre par un té, ce qui permet d'assurer l'observation du signal à l'oscilloscope sur une charge adaptée.

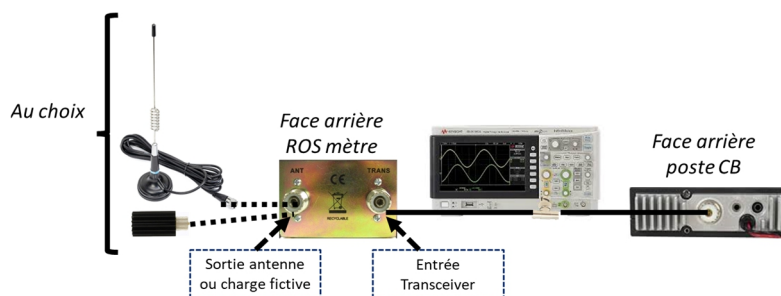


Figure 14 : Montage pour observation de la porteuse et mesure de la puissance émise.

La mesure de puissance directe est un prétexte à des calculs de conversion dBm - Watt. L'observation de la tension V_{pp} à l'oscilloscope permet de retrouver la valeur de puissance (cf. Figure 15).

La réglementation des fréquences stipule qu'en modulation d'amplitude (AM) on doit retrouver une mesure de puissance standard de 2 W. La tension V_{pp} mesurée à l'oscilloscope vaut $V_{pp} = 32,6$ V ce qui entraîne une puissance sur 50Ω de 2,65 W. Cela permet une discussion

sur les désadaptations apportées par les connections, sources de réflexions d'où cette valeur légèrement supérieure à celle autorisée en émission.

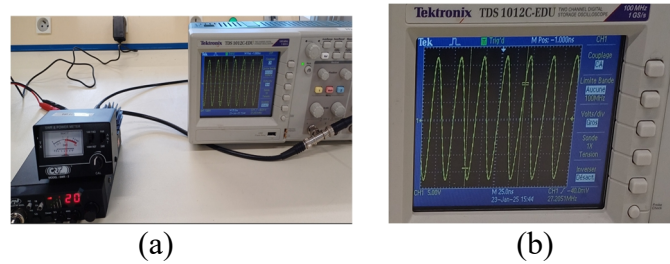


Figure15 : a) Banc de mesure de l'onde porteuse et de la puissance émise, b) zoom sur la porteuse affichée

5.4. Observation de modulation d'amplitude

Le fait de parler dans le microphone amène à l'observation d'un signal modulé en amplitude sur l'oscilloscope. Ensuite la parole est remplacée par un signal stable généré par un GBF (cf. Figure 16). En changeant la fréquence du signal au GBF il est possible de déterminer la bande passante audio. En effet au-delà de 20 kHz les variations de l'onde porteuse disparaissent. Sur l'oscilloscope il est également possible de vérifier la profondeur de modulation.

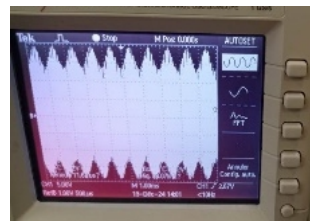


Figure 16 : Exemple de signal modulé par le poste CB, avec comme modulant un sinus généré par un GBF injecté au niveau du microphone.

5.5. Notion de canal de transmission et de seuil

Cette manipulation nécessite un générateur avec modulation d'amplitude et il est suggéré de la proposer en binôme. Il faut choisir un canal CB dans les fréquences autorisées, un exemple pour les quatre premières est donné dans le Tableau 2 ci-dessous. Le modulant doit être situé évidemment dans la bande passante audio pour être détecté. Le signal modulé est envoyé par une antenne directement branchée sur le générateur, et reçu par une antenne sur un poste CB. A l'écoute on remarque que le modulant n'est plus reçu si l'onde porteuse est inhibée sur le générateur.

Dans la même configuration de manipulation, si on change de canal sur le poste CB récepteur, on remarque que le signal n'est plus reçu. Ceci permet une discussion sur la notion de canal de transmission, et plus largement sur la bande passante associée à un canal. A noter que pour cette manipulation particulière il n'y a pas besoin de signal modulé, la porteuse suffit, donc un GBF simple peut être utilisé.

Tableau 2. Fréquences porteuses affectées aux 4 premiers canaux de la CB [10].

CANAL	Fréquence
1	26,965 MHz

2	26,975 MHz
3	26,985 MHz
4	27,005 MHz

Comme précédemment avec un générateur permettant de faire de la modulation, le signal envoyé est un signal modulé dont on entend la fréquence du modulant puisque celle-ci se situe dans la bande audible. En diminuant l'amplitude de la porteuse sur le générateur, il est possible de déterminer la valeur minimale de puissance détectable (environ -130 dBm) sur le poste CB.

Enfin la touche "squelch", présente sur les postes d'émission / réception, est étudiée. Cette fonction permet d'extraire un signal au-dessus d'une valeur seuil. Il suffit à partir de la valeur minimale du squelch sur le poste de l'augmenter jusqu'à ce que le son du signal utile ne soit plus détecté. Si on augmente le niveau du signal envoyé il est de nouveau détecté, mais le bruit de fond audible sera largement diminué.

6. Le coût du TP et le retour pédagogique

6.1. Retour sur la proposition pédagogique

Les manipulations ayant été mises au point en cours de cette année universitaire, il n'a pas été possible de les inclure complètement dans un cursus de formation. L'utilisation d'un ROSmètre associé à un poste CB, comme décrit en section 5.1, a été présentée en démonstration à la fin d'une série de TP de licence. Ceci a donc concerné une cinquantaine d'étudiants au total. Cette démonstration a suscité néanmoins de la part de l'ensemble des groupes des questions techniques ouvertes sur les transmissions sans fil en général, montrant un intérêt certain pour des applications concrètes. Il faut néanmoins finir d'implémenter ce TP dans sa globalité dans les cursus de licence et master pour avoir un réel retour critique.

6.2. Le coût

Il n'est pas rare dans notre thématique EEA de recourir à la formule des "TP tournants" en salle TP pour accueillir à moindre coût une promotion complète d'étudiants. On retrouve alors un exemplaire différent d'équipement coûteux sur chaque groupement de table. Les enseignants savent combien il est fastidieux sur une séance unique de répondre aux attentes différentes de chaque groupe d'étudiants dans ce cas. Pour pallier ce problème et donc avoir le même exemplaire de TP sur chaque table de la salle nous avons opté pour du matériel CB et ROSmètre faible coût, au détriment d'une grande précision. Celle-ci reste néanmoins largement suffisante pour mettre en valeur les phénomènes de transmission du signal sans fil, d'adaptation radiofréquence et de modulation d'amplitude. Le Tableau 3 ci-dessous récapitule le matériel investi et son coût, en prenant en compte que les salles sont déjà équipées d'oscilloscopes au minimum.

Tableau 3. Prix de revient du TP de base

Matériel	Prix TTC (€)
Emetteur / Récepteur CBI	60

Transformateur 12V 2 A	8
Antenne PNI ML-29	25
Charge fictive Nagoya 15 W 0-500 MHz	25
ROSmètre CRT SWR 2	20
Adaptateur BNC F – UHF M x 2	14
Total	152

Pour mener à bien le projet il faut ajouter les appareils classiques d'une salle de TP d'électronique, à savoir un oscilloscope et un générateur de fonctions délivrant un signal jusqu'à 30 MHz. La présence d'un analyseur de réseau comme discuté auparavant, entre 100 et 500 euros, permet des mesures complémentaires. Enfin un générateur proposant de la modulation de signal sur porteuse dans la bande CB est un plus appréciable.

7. Conclusion

A partir d'un poste CB et de son antenne et d'un ROSmètre peu onéreux, il est possible de monter un TP permettant d'aborder à moindre frais des thématiques associées aux transmissions sans fil. Le poste CB nécessite peu de modifications. En termes de manipulations, la notion de canal et de bande passante est illustrée, la modulation d'amplitude est observée, la mesure d'ondes stationnaires et le calcul associé d'impédance peut être implémenté. Enfin le design d'antennes quart d'onde peut être abordé. Ces manipulations peuvent adresser des niveaux Licence ou Master.

Remerciements

Nous souhaitons remercier ici Laurent Mercier, technicien du Département EEA, pour son assistance technique.

8. Références

- [1] *Citizens Band Radio History*, Cobra.com - Cedar Electronics Copr. <https://www.cobra.com/blogs/news/citizens-band-radio>
- [2] *Arcep - les réseaux comme bien commun*, Arcep. <https://www.arcep.fr/>
- [3] *La Cible - Guide d'utilisation*, TruckersMP Forum, Jan. 24, 2021. <https://forum.truckersmp.com/index.php?/topic/101891-la-cible-guide-dutilisation/>
- [4] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.
- [5] *NanoVNA | Very tiny handheld Vector Network Analyzer*, Nanovna.com, 2019. <https://nanovna.com>.
- [6] D. North, *Cutting That Whip Antenna Down to Size*, DigiKey, Apr. 19, 2022. <https://www.digikey.fr/fr/blog/cutting-that-whip-antenna-down-to-size>
- [7] *The ARRL Antenna Book*. 17th ed., American Radio Relay League (ARRL), 1994.

- [8] C.A. Martin, P. S. Carter, *Antenna engineering handbook*. New York: Mcgraw-Hill, 1993.
- [9] M. E. Meserve, *Short Loaded Vertical* - K7MEM, *K7mem.com*, 2025. https://k7mem.com/Ant_Loaded_Vertical.html
- [10] F4EZC, *Canaux et Fréquences utilisés en CB*, *Qrvradio.fr*, 2025. <https://qrvradio.fr/FreqCB.htm>.

Biographie des auteurs

Sylvie Jarrix : Maître de conférences à l'Université de Montpellier au sein du département EEA, elle enseigne depuis la Licence 2^{ème} année jusqu'au Master 2 spécialité PHyS (Photonique Hyperfréquences et Systèmes de Télécommunications). Ses enseignements comportent des Cours, TD et TP en Traitement du Signal analogique et numérique, et en Cours et TP spécifiques sur la thématique des Radiofréquences. Elle est par ailleurs responsable de la salle de Travaux Pratiques dédiée aux Hyperfréquences et est à l'origine de la plupart des Travaux Pratiques sur cette thématique. Ses recherches à l'Institut d'Electronique et des Systèmes se concentrent pour partie sur la CEM et pour partie sur la caractérisation de matériaux par méthodes Hyperfréquences et Compatibilité Electromagnétique dans les systèmes.

Annick Penarier : Maître de conférences à la Faculté des Sciences et à l'Institut d'Électronique et des Systèmes de l'Université de Montpellier. Elle enseigne principalement les bases du traitement du signal ainsi que les micro-ondes, avec un accent particulier sur la simulation haute fréquence et les dispositifs et systèmes actifs en hautes fréquences. Elle est également responsable d'une plateforme technologique dédiée au développement de projets industriels, axés sur la conception et la réalisation de systèmes micro-ondes tels que les antennes et les radars, depuis l'étude initiale jusqu'au prototype intégrable.