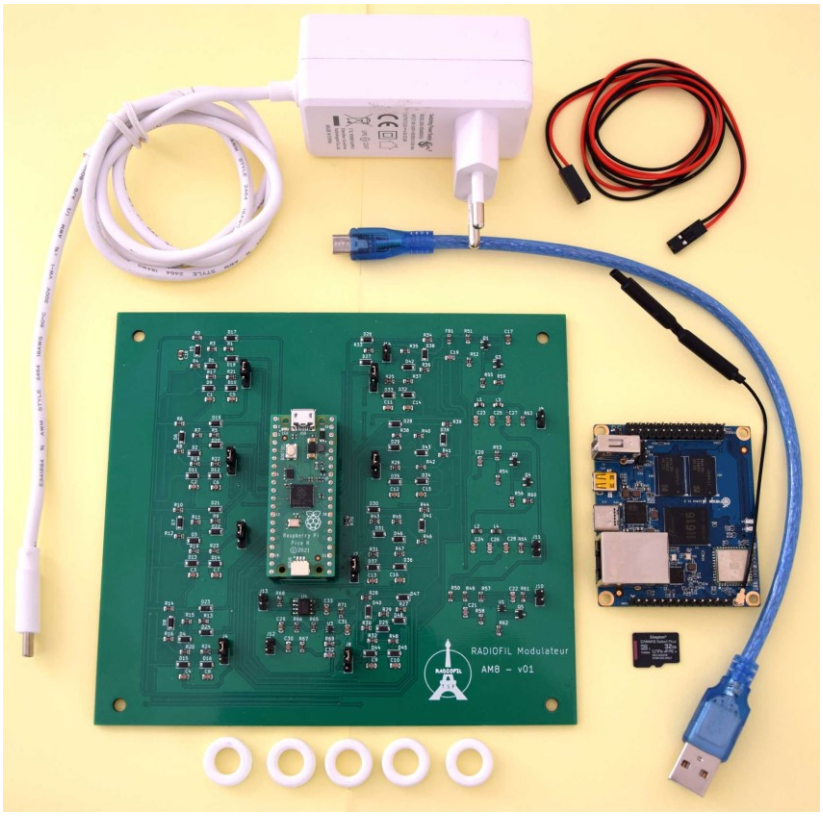
MODULATEUR AM8-MKI

Modulateur AM
8 fréquences

Module prototype n°3-v01
Exemplaire série n°0

Synthèse des mesures et tests
Sessions 1 & 2



Réf cliché : AM8-MKI – Kit complet v2 - 03.

I – Objectif de ce document

Proposer aux amateurs *radiofilistes* une synthèse complète des mesures et des tests effectués sur la platine matérielle de l'**AM8**-MKI représentative de la série à venir.

Il s'est agi de contrôler les fonctionnalités et d'évaluer les performances radiofréquences et audiofréquences de la platine **AM8**-MKI, de déterminer les limites d'usage et les éventuelles contraintes d'exploitation soulevées par les techniques mises en œuvre.

Ce document est une synthèse des mesures et tests consignés au sein des différentes fiches établies lors des sessions techniques mises en œuvre en laboratoire entre le 30 novembre et le 5 décembre 2023, pour la session 1 (pages 1 à 15 faisant l'objet du document initial édité sous la référence *AM8-Proto3-Synthèse mesures & tests-v1.0*) puis les 16 et 17 décembre 2023 pour la session 2, complémentaire, faisant l'objet des pages 16 à 20 du présent document édité sous la même référence, en version v2.0.

II – Équipement testé

Le système testé est composé des éléments suivants :

- Une platine de génération de signal référence « Radiofil Modulateur AM8 – v01 » intégrant un micro calculateur type Rapsberry Pi Pico H supportant le logiciel de version : am8F01.uf2.
- Un nano-ordinateur Orange Pi Zéro 2 supportant le logiciel de gestion des flux audio digitaux internet et accueillant le serveur de l'IHM. Version logicielle : v0.1 beta.

III – Session 1 de mesure ; du 2023-11-30 au 2023-12-05

Les tests ont été menés avec les circuits représentés sur le cliché ci-après. L'ensemble est alimenté par un bloc d'alimentation 5 VDC représentatif de la série.

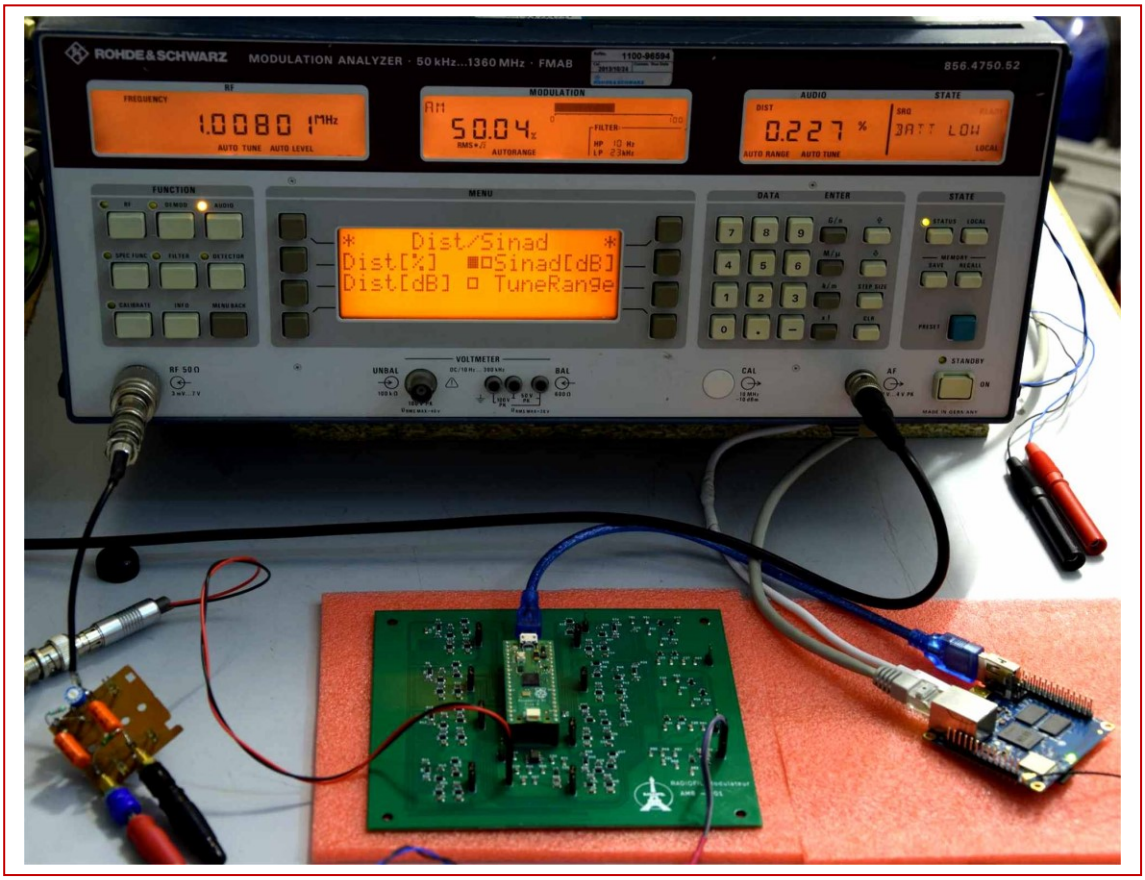


*Figure 1 : environnement des tests du module **AM8**-MKI prototype 3-v01.*

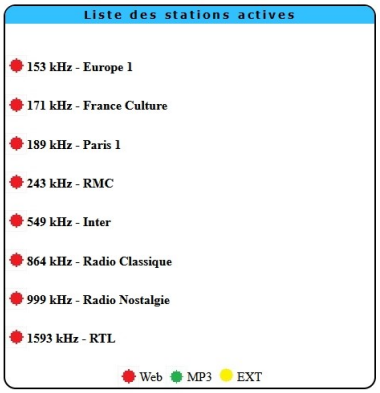
Réf cliché : 116-AM8-MKI – Kit en test - 1.

Les matériels de pilotage, de contrôle et de mesure ci-après ont été mis en œuvre :

- ✓ PC portable Dell Latitude 3340 13" Core i5 1,7 GHz - HDD 500 Go - 4 Go,
- ✓ Analyseur de spectre TAKEDA TR4132,
- ✓ Oscilloscope FLUKE PM3370B,
- ✓ Générateur RF ROHDE & SCHWARZ SMT03,
- ✓ Générateur AF ROHDE & SCHWARZ APN04,
- ✓ Analyseur de modulation HEWLETT-PACKARD 8903B,
- ✓ Démodulateur analyseur de modulation ROHDE & SCHWARZ FMAB,
- ✓ Fréquencemètre HEWLETT-PACKARD 53131A,
- ✓ Millivoltmètre avec mémoire de crêtes BRUEL & KJAER 2425,
- ✓ Récepteur de trafic 20 kHz – 30 MHz JRC NRD-535,
- ✓ Récepteur TSF PHILIPS BF321A.

*Figure 2 : banc des tests utilisé pour l'ensemble des mesures des performances du modulateur **AM8**-MKI.*
Réf cliché : 104-AM8-MKI – Banc de test complet.

Afin de ne pas charger les sorties RF de l'**AM8**-MKI (directes ou via couplage par tore ferrite) par l'impédance d'entrée de l'analyseur de spectre (50 Ω) et risquer de fausser les résultats, un amplificateur large bande haute impédance d'entrée et basse impédance de sortie a été inséré dans le circuit de mesure.

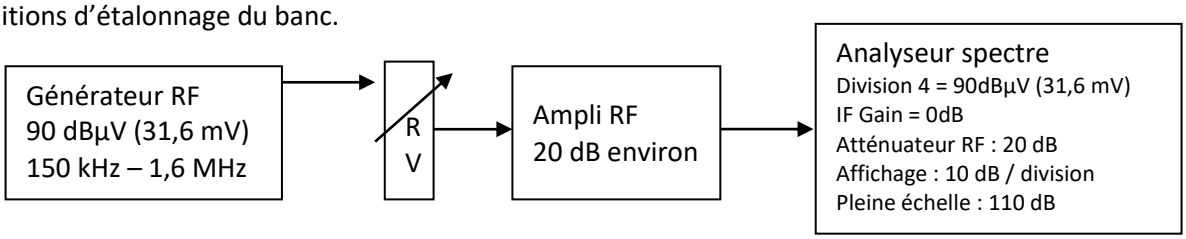


Ci-contre, les huit fréquences des porteuses et les modulations mises en œuvre pour les tests de mesure des niveaux de sortie.
Ces 8 fréquences sont nommées comme suit, de la plus petite à la grande : F_1 à F_4 (GO) et F_5 à F_8 (PO).

Figure 3 : configuration des canaux pour la mesure des niveaux RF.
Réf cliché : 107-AM8-MKI – Config. Niveaux RF de sortie – 1.

*III.1 – Mesures de niveaux effectuées sur les sorties RF directes du module **AM8**-MKI*

Conditions d'étalonnage du banc.



On étalonne l'analyseur de spectre avec le générateur RF.
Avec le niveau de sortie du générateur RF fixé à 90 dBµV (31,6 mV) on règle RV pour obtenir un niveau crête de la porteuse à la quatrième division horizontale (au milieu de l'écran de l'analyseur), avec l'échelle 10 dB / par division.
On contrôle la linéarité de la courbe de réponse entre 150 kHz et 2 MHz sur l'analyseur.
On remplace ensuite le générateur RF par la sortie directe concernée de l'**AM8**-MKI, sans retoucher au réglage de RV.

A / Mesures sur la sortie GO + PO (J10)

Les porteuses F_1 à F_4 en GO : niveau = 106 dBµV (200 mV).
Les porteuses F_5 à F_7 en PO : niveau = 104 dBµV (158 mV).
La porteuse F8 en PO : niveau = 100 dBµV (99,6 mV).
Une porteuse (produits H_3 de F_5) est mesurée sur la fréquence de 1 647 kHz : niveau = 94 dBµV (49,9 mV).

Remarques

1 / Les niveaux de sortie sont très confortables et ne devraient poser aucun problème pour une diffusion dotée d'un bon rapport signal/bruit, avec le tore recommandé pour le couplage avec les récepteurs.

2 / Le niveau de sortie de la porteuse F_8 est significativement affaiblie (environ 6 dB) par rapport aux fréquences F_5 et F_6. Ceci est imputable à la courbe de réponse du filtre de sortie dont le point d'inflexion se situe à l'intérieur de la limite supérieure de la bande PO. Cet affaiblissement sera largement réduit par une modification de la valeur des capacités du filtre sur la production de série, afin de placer le point d'inflexion du filtre juste au-delà de la limite supérieure de la bande utile.

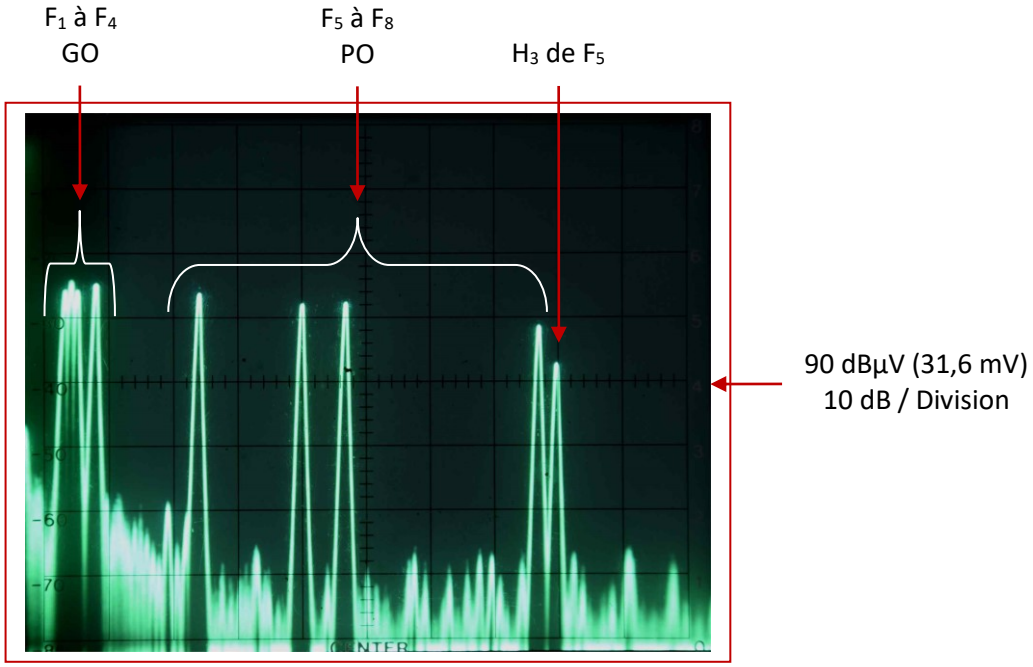


*Figure 4 : spectre de la sortie RF directe GO + PO de l'**AM8**-MKI.*
Réf cliché : 101-AM8-MKI – Test – Spectre Out GO&PO sur flux web.

B / Mesures sur la sortie PO seule (J11)

Les porteuses F_5 et F_6 : niveau = 92 dBµV (39,6 mV).
La porteuse F_7 : niveau = 90 dBµV (31,6 mV).
La porteuse F_8 : niveau = 85 dBµV (17,7 mV)
Une porteuse (produits H_3 de F_5) est mesurée sur la fréquence de 1 647 kHz : niveau = 78 dBµV (7,91 mV).

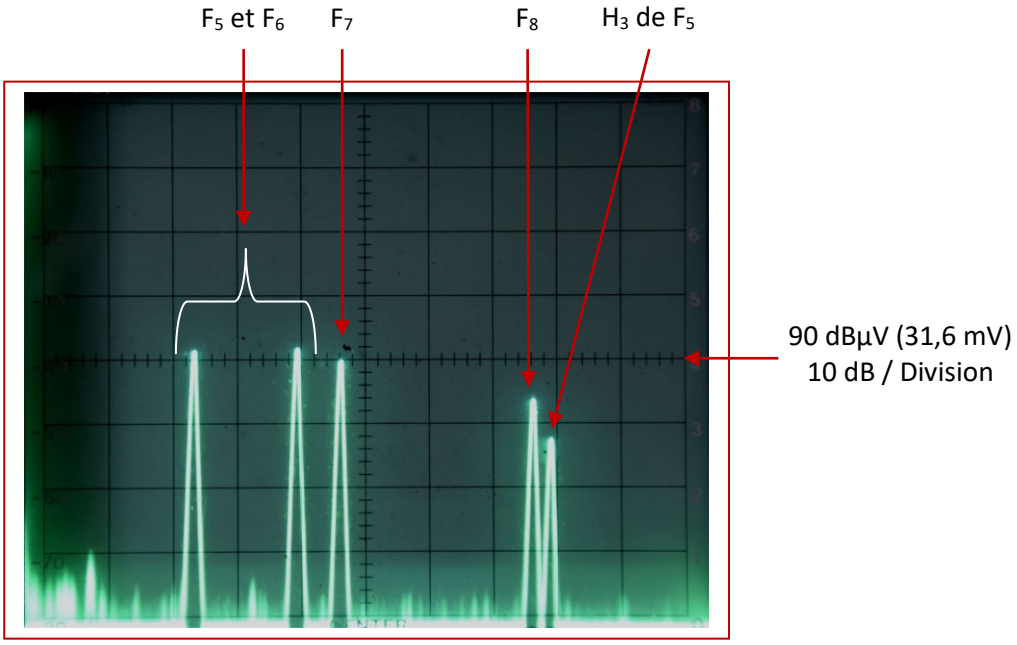


*Figure 5 : spectre de la sortie RF directe PO de l'**AM8**-MKI.*
Réf cliché : 102-AM8-MKI – Test – Spectre Out PO sur flux web.

Remarques :

1 / Affaiblissement en haut de bande : au-delà de F = 1 400 kHz environ, le niveau des porteuses s'affaiblie proportionnellement à la fréquence. Voir remarque au chapitre précédent.

2 / Les fréquences harmoniques :

F_{HA} = 1 647 kHz, soit 3 x 549 kHz.

Le niveau mesuré de 78 dBµV (7,91 mV) est élevé, mais se situe hors bande utile de la radiodiffusion.

En revanche, il a été effectué un test avec une combinaison de fréquences situées dans la bande de radiodiffusion :

F_1 = 531 kHz et F_2 = 1 593 kHz, donc sans possibilité d'atténuation de H_3 par le filtre passe bas.

À l'écoute, sur F = 1 593 kHz, les deux programmes sont mélangés et ne peuvent donc pas être exploités.

Il n'est pas techniquement possible, dans cette technologie, d'éviter ce conflit. Cela se produira sur tous les couples de fréquences dont $F_2 = 3 \times F_1$.

Heureusement cela ne concerne qu'un seul cas dans la bande normalisée des PO (531 kHz à 1 602 kHz) : couple 531 kHz et 1 593 kHz ; aucun cas de ce genre à craindre dans la bande des GO.

La notice d'exploitation précisera clairement la recommandation de ne pas utiliser ce couple de fréquences sur une même configuration.

C / Mesures sur la sortie GO seule (J9)

Les 4 porteuses F_1 à F_4 : niveau = 92 dBµV (39,6 mV).

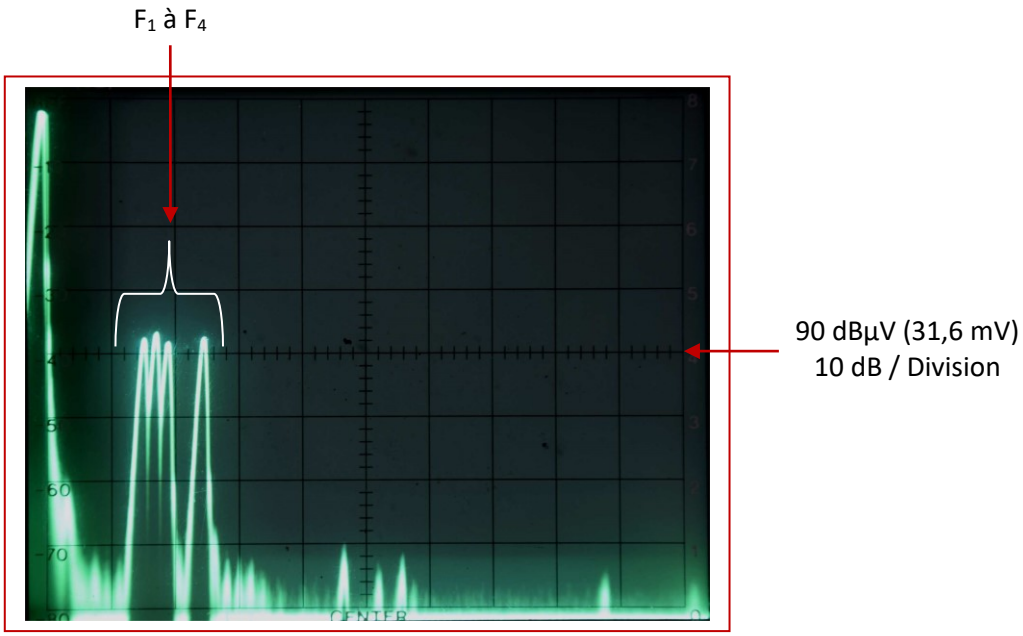


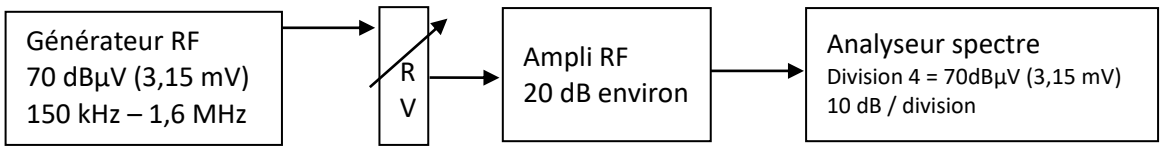
*Figure 6 : spectre de la sortie RF directe GO de l'**AM8**-MKI.*
Réf cliché : 103-AM8-MKI – Test – Spectre Out GO sur flux web.

Remarque :

Le comportement est excellent. Les niveaux sont très homogènes et les niveaux des fréquences harmoniques sont affaiblis d'environ 35 dB par rapport aux fréquences fondamentales.

III.2 - Mesures effectuées sur la sortie RF PO+GO couplée via le tore ferrite retenu

Conditions d'étalonnage du banc.



On étalonne l'analyseur de spectre avec le générateur RF.

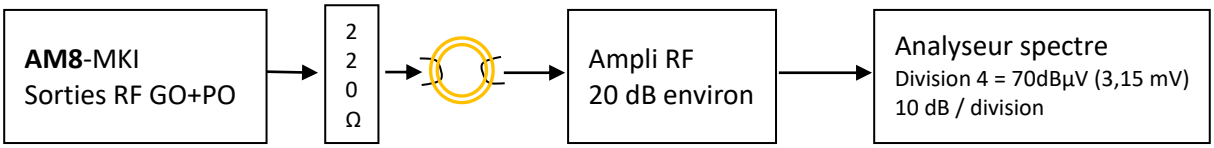
Avec le niveau de sortie du générateur RF fixé à 70 dBµV (3,15 mV) on règle l'atténuateur d'entrée de l'analyseur pour lire 70 dBµV (3,15 mV) crête de la porteuse à la quatrième division horizontale (celle du centre de l'écran), avec l'échelle 10 dB / par division.

On contrôle la linéarité de la courbe de réponse entre 150 kHz et 2 MHz sur l'analyseur.

On remplace ensuite le générateur RF par la sortie couplée de l'AM8 via un tore référence : TN14/9/5 - 3E25, perméabilité : 6 000 - Point : 125°C / Résistivité : 0,5 Ohm.

Type de couplage : une seule spire côté AM8 et une seule spire côté amplificateur.

On remplace ensuite le générateur RF par la sortie directe concernée de l'AM8, bouclée sur une résistance de 220 Ω.



La configuration des fréquences et programmes GO et PO est identique à celle détaillée au paragraphe III, page 3.
Les niveaux RF relevés sur l'analyseur :
Les 4 porteuses GO (F_1 à F_4): niveaux compris entre 73 dBµV (4,45 mV) pour les fréquences inférieures et 76 dBµV (6,28 mV) pour les fréquences supérieures.
Les 2 porteuses PO F_5 et F_6 : 82 dBµV (12,5 mV).
La porteuse PO F_7 : 80 dBµV (9,96 mV).
La porteuse PO F_8 : 75 dBµV (5,60 mV).

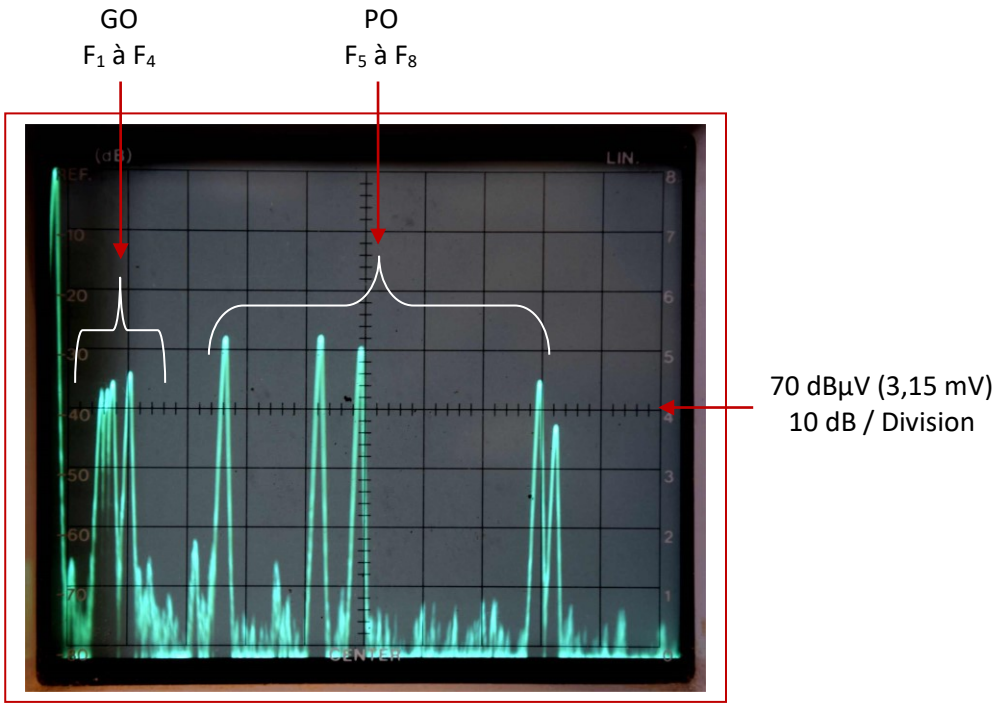


*Figure 7 : spectre de la sortie RF GO + PO de l'**AM8**-MKI, à la sortie du couplage via le tore.*
Réf cliché : 112-AM8-MKI – Test – Spectre Tore GO&PO sur flux web.

Remarques :

- En GO, les fréquences situées dans la partie basse du spectre sont légèrement affaiblies (3 dB) par rapport à celles de la partie haute. Ceci est imputable aux caractéristiques du tore ferrite retenu. Cet affaiblissement ne devrait pas avoir de conséquences sur le confort d'écoute, compte tenu des niveaux RF disponibles.
- En PO, les fréquences situées dans le haut du spectre sont plus nettement affaiblies (7 dB). Ceci sera quasi corrigé sur la production de série (voir remarque chapitre III-1-A, page 4).
- Le résultat est conforme aux objectifs attendus, tant sur l'amplitude disponible des différentes porteuses, que sur le comportement spectral général du système.

III.3 – Contrôle de la fréquence

Objectif : contrôler que les fréquences générées par l'**AM8**-MKI sont conformes aux fréquences programmées.
L'oscillateur étant unique pour l'ensemble des générations des fréquences, seule une fréquence a été contrôlée.
PO, milieu de bande : 1 008 kHz. Mesure effectuée sur la sortie RF PO+GO de l'**AM8**-MKI (J10).

L'écart de fréquence est d'environ +25 Hz par rapport à la fréquence théorique (0,002 %), donc totalement négligeable, par rapport à l'application.

*Figure 8 : contrôle de la précision de l'une des fréquences générées par l'**AM8**-MKI.*
Réf cliché : 109-AM8-MKI – Contrôle fréquence – 1.

III.4 – Mesures de l'affaiblissement de la ligne de couplage

Ce chapitre évalue les caractéristiques de la ligne de couplage mise en œuvre entre la sortie RF de l'**AM8**-MKI et l'enroulement secondaire du tore raccordé aux entrées Antenne et Terre d'une TSF de test, pour des distances de couplage différentes.

Conditions du test.
Fabrication d'une ligne de couplage réalisée à partir de deux fils de câblage (rouge pour l'un et vert pour l'autre) type KY30-05 / EPDX00 de jauge AWG22 de section 0,34 mm².
Les deux fils ont été torsadés suivant une torsade relativement lâche, pour obtenir un câble d'une longueur totale d'environ 30 mètres.
L'extrémité A (côté **AM8**-MKI) a été équipée d'un connecteur de raccordement type DUPONT, puis raccordé au connecteur J10 de la platine **AM8**-MKI.
L'extrémité B a été équipée d'une charge constituée d'une résistance de 220 Ω ¼ W.

Deux tores type : Ferroxcube TN14/9,5-3E25 (Ferrite perméabilité 6 000 / Résistivité 0,5 Ω).
Le premier tore de couplage a été inséré à environ 50 cm de l'extrémité côté **AM8**-MKI via une seule spire avec la ligne de couplage (primaire).
Le second tore de couplage a été inséré à environ 50 cm de l'extrémité côté charge résistive de 220 Ω via une seule spire avec la ligne de couplage (primaire).
Le secondaire de chaque tore est constitué d'un fil de jauge identique à celle de de la ligne de couplage, relié à un inverseur dont le commun est raccordé au système de mesure.

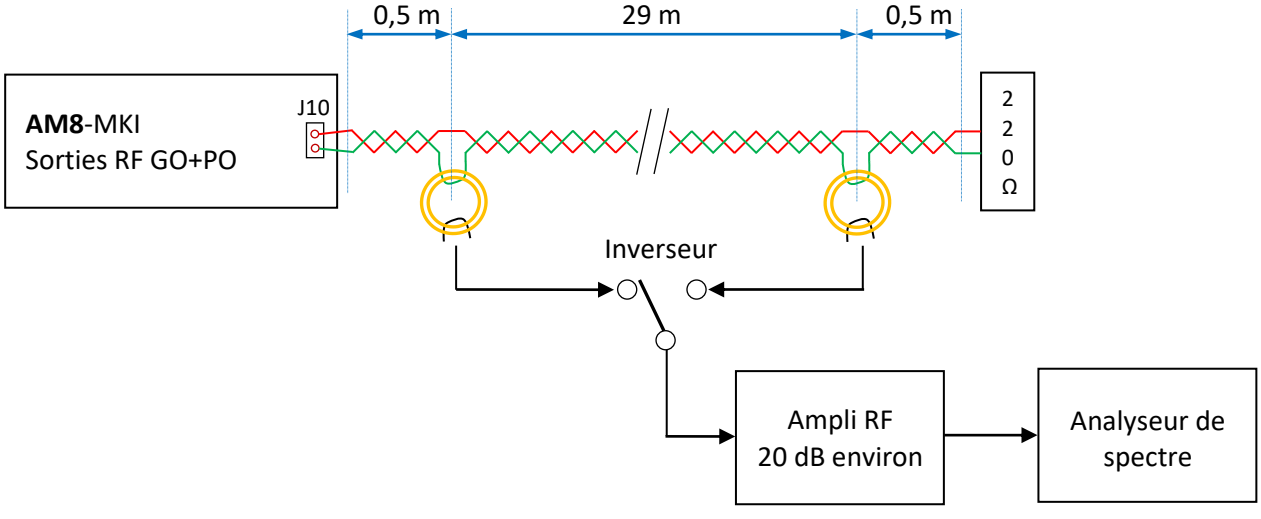


Figure 9 : schéma synoptique du banc de mesure de la ligne de couplage en test.

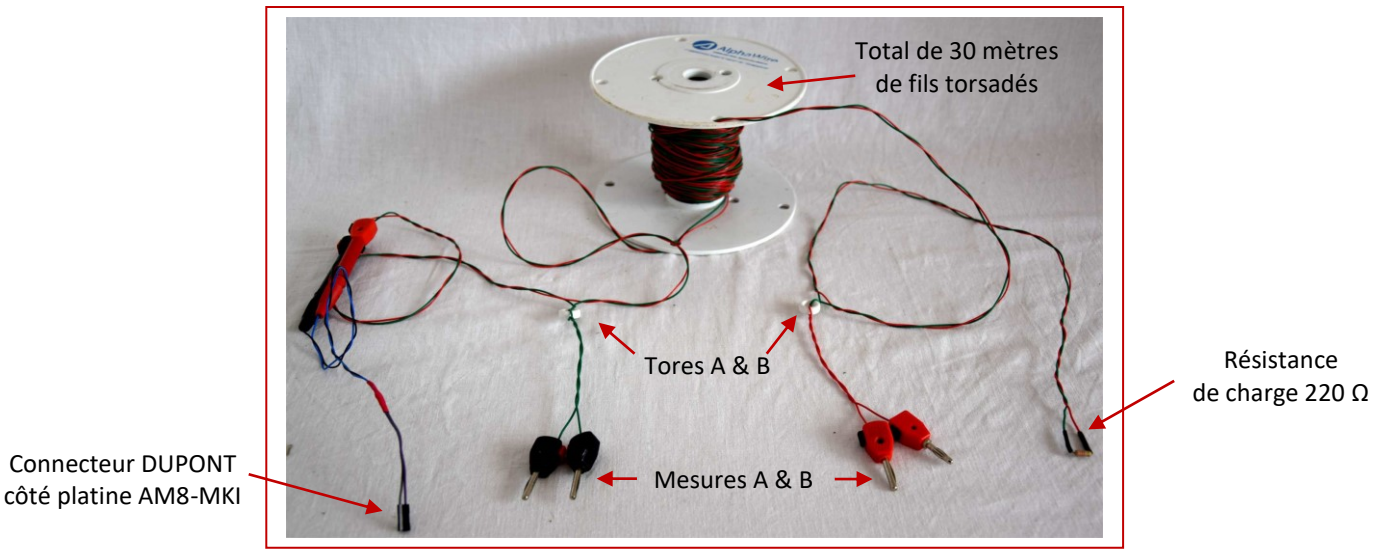


Figure 10 : vue de la ligne de couplage de 30 mètres
Réf cliché : 117-AM8-MKI – Test couplage – 1.

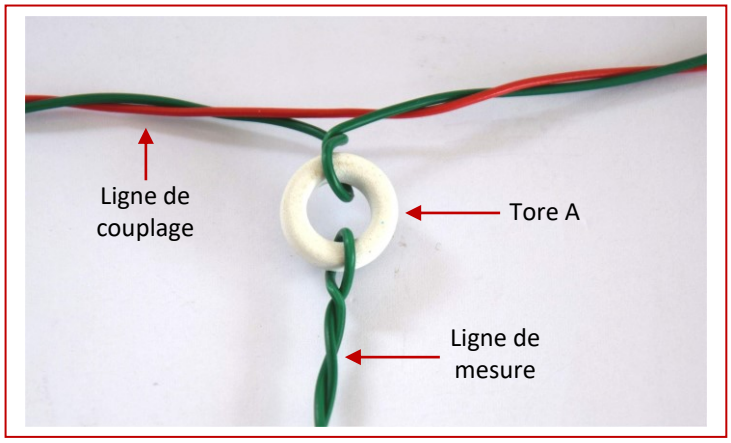


Figure 11 : détail des primaire et secondaire de l'un des deux tores ferrite (le second est identique).
Réf cliché : 118-AM8-MKI – Test couplage – 3.

Les conditions d'étalonnage du banc de mesure sont détaillées au chapitre III.2, page 6.
La configuration des fréquences et programmes GO et PO est identique à celle détaillée au paragraphe III, page 3.

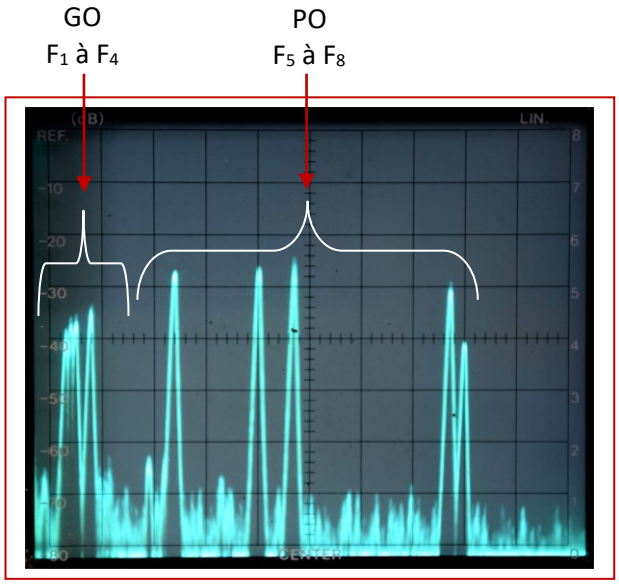


Figure 12 : Spectre via tore A, côté platine AM8-MKI.
Réf cliché : 120-AM8-MKI – Test couplage côté platine.

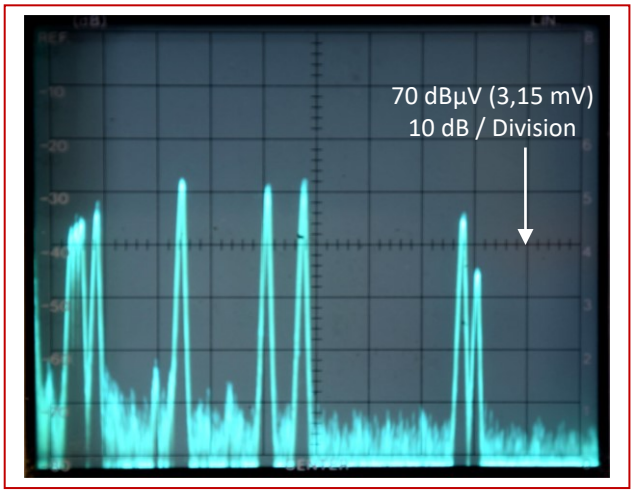


Figure 12 : Spectre via tore B, côté charge de 220 Ω.
Réf cliché : 121-AM8-MKI – Test couplage côté charge.

La comparaison des deux spectres montre une quasi similitude des niveaux entre les deux sondes de mesure :

- Dans la bande GO : aucune différence de niveaux entre le secondaire du tore A et le secondaire du tore B, placé une trentaine de mètres plus loin.
- Dans la bande PO : sur la partie inférieure, entre 0,5 et 1 dB d'affaiblissement et sur la partie supérieure, un maximum de 2 dB d'affaiblissement, imputable aux capacités parasites de la ligne.

Les conclusions de ce test démontrent une excellente tenue des niveaux RF distribués sur la ligne de couplage, très peu dépendants de la longueur de cette ligne.

III.5 – Mesure des performances audiofréquences

Ce chapitre évalue les caractéristiques et performances AF du modulateur **AM8**-MKI.

*Paramétrage de la platine **AM8**-MKI.*

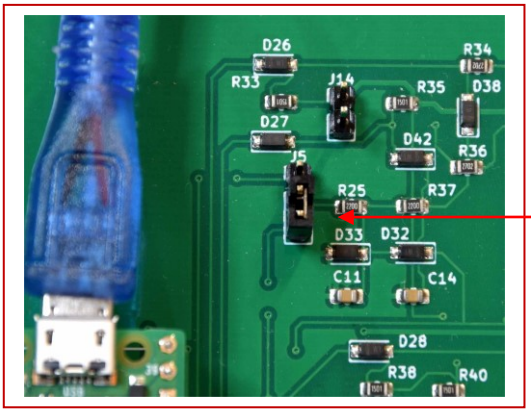


Figure 13 : position de J5.

Le canal MOD1 de l'**AM8**-MKI est positionné matériellement sur l'entrée audio EXT : déplacement vers le bas du cavalier repéré J5 sur la platine du circuit.

Réf cliché : 105-AM8-MKI – Repérage J5.

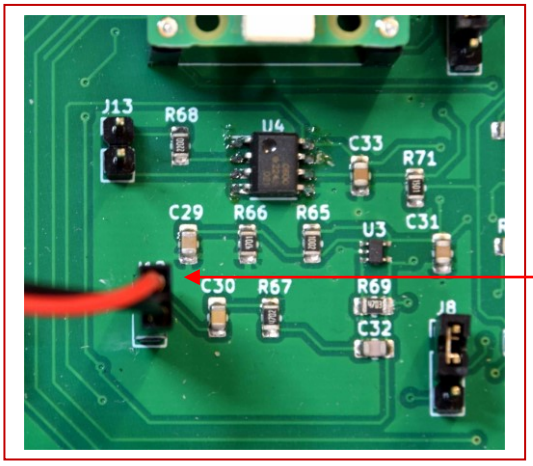


Figure 14 : position de J12.

La sortie du générateur AF est raccordée directement sur l'entrée AF EXT via le connecteur J12.

Réf cliché : 106-AM8-MKI – Repérage J12.

Configuration de l'IHM.

Figure 15 : configuration du canal programmé pour la mesure du niveau AF démodulé.

Réf cliché : 108-AM8-MKI – Config. Performances AF EXT – 1.

Une seule fréquence est programmée sur le canal 1 (MOD1), en milieu de la bande PO, sur 1 008 kHz.
Mesures effectuées sur la sortie RF PO+GO de l'**AM8**-MKI (J10).

III.5.1 – Sensibilité d'entrée

L'objectif est de déterminer le niveau AF d'entrée sur le connecteur J12, pour différents taux de modulation.
Configuration :

- Générateur AF : fréquence de référence = 1 kHz
- Analyseur R&S FMAB :
  - ✓ Démodulateur AM
  - ✓ Détecteur Quasi-Peak
  - ✓ Filtre passe-haut 10 Hz et passe-bas 23 kHz.

Taux de modulation QP sur **AM8**-MK1	Niveau AF d'entrée RMS sur J12
30 %	46 mV (-24,5 dBu)
50 %	77 mV (-20,1 dBu)

La sensibilité est largement suffisante pour accepter n'importe quel type de source audio au niveau « Ligne ».
Il sera même conseillé dans la notice de prévoir un potentiomètre entre la source et le connecteur J12, afin d'atténuer le niveau du signal entrant, le cas échéant.

III.5.2 – Linéarité du taux de modulation

Mesure de la linéarité du taux de modulation en fonction du niveau d'entrée AF sur le connecteur J12.
Configuration :

- Générateur AF : fréquence de référence = 1 kHz / Niveau : variable.
- Analyseur R&S FMAB : démodulateur AM / Détecteur Quasi-Crête / Filtre 10 Hz et 23 kHz.

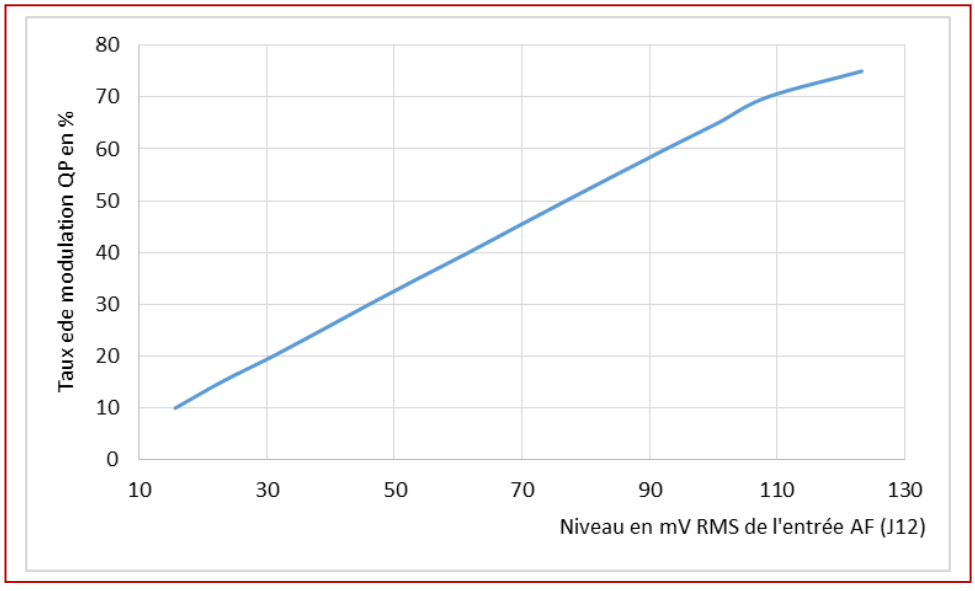


Figure 16 : linéarité du taux de modulation en fonction du niveau d'éntrée AF.

Le taux de modulation est exprimé en % pour des valeurs quasi-crêtes.
Le niveau d'entrée AF est exprimée en mV RMS.

La linéarité est excellente jusqu'au taux de modulation d'environ 72 %.

III.5.3 – Courbe de réponse

Mesure de la courbe de réponse AF de l'**AM8**-MKI pour un taux de modulation Quasi-Crête de référence = 50 %.
Configuration :

- Générateur AF : Niveau de référence = 77 mV RMS (0 dBr) pour un taux de modulation Quasi-Crête = 50 % / Fréquence variable.
- Analyseur R&S FMAB : démodulateur AM / Détecteur Quasi-Crête / Filtre 10 Hz et 23 kHz.

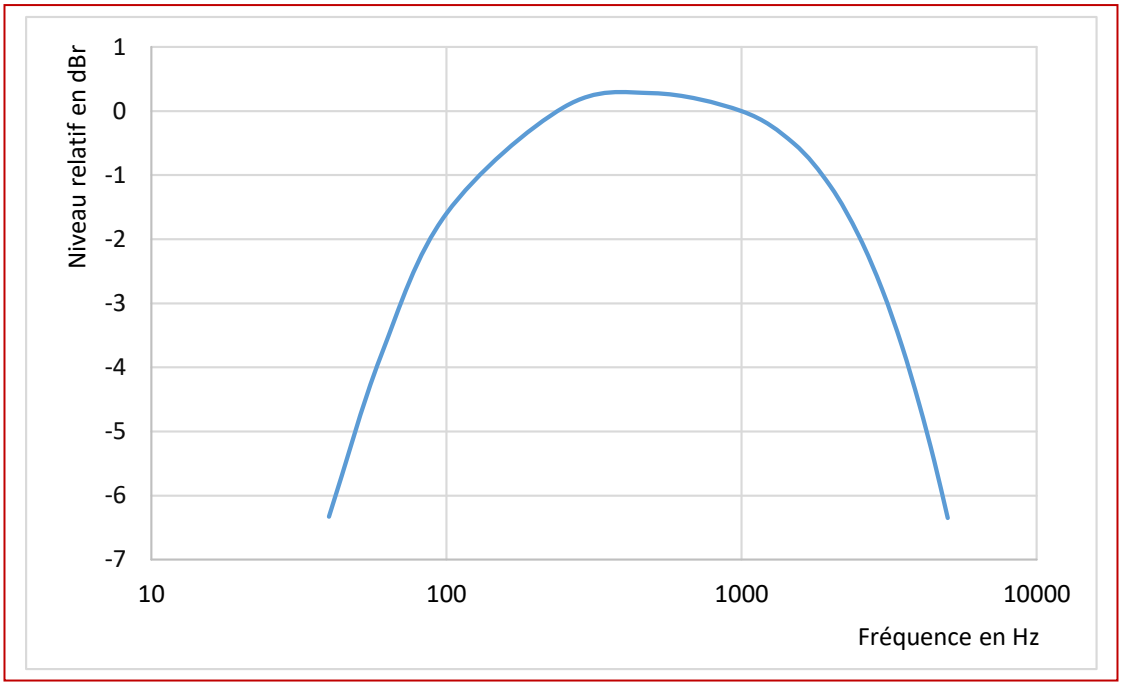


Figure 17 : courbe de réponse du signal démodulé pour un taux de modulation de 50 %.

Courbe de réponse à -3 dB : 70 Hz à 3 200 Hz.
Courbe de réponse à -6 dB : 42 Hz à 4 800 Hz.
Cette courbe de réponse s'inscrit totalement dans les performances d'une modulation destinée à la bande de radiodiffusion AM d'un récepteur TSF.
La limitation des fréquences supérieures à environ 4 500 Hz protège l'ensemble du risque d'interférences, notamment lors de la diffusion de programmes sur des canaux adjacents.

III.5.4 – Distorsion en fonction du taux de modulation

Mesure de la distorsion harmonique totale (THD) du signal AF démodulé, en fonction du taux de modulation, pour la fréquence AF de référence de 1 kHz.

Configuration :

- Générateur AF : fréquence de référence = 1 kHz / Niveau variable.
- Analyseur R&S FMAB : démodulateur AM / Détecteur Quasi-Crête / Filtre 10 Hz et 23 kHz.

Graphique, figure 18, en page suivante.

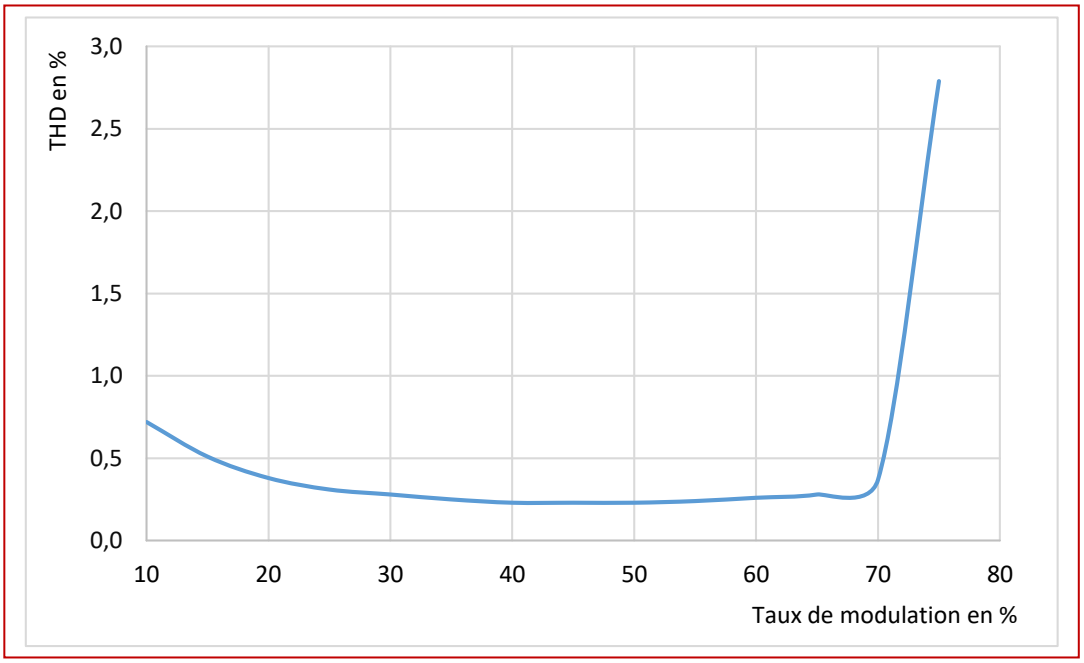


Figure 18 : distorsion par harmoniques en fonction du taux de modulation.

Remarques :

- Le taux de THD est excellent sur l'ensemble de la plage utile (< 0,5 %). La légère remontée de la THD en dessous du taux de modulation de 15 % est imputable à la prise en compte du bruit dans la mesure des harmoniques.
- L'augmentation subite de la THD à partir d'un taux de modulation d'environ 72 % est imputable au type de la technologie mise en œuvre pour assurer la modulation de la porteuse digitale. Cela n'a aucune incidence sur la qualité de restitution sonore des signaux modulés, sachant que le taux de modulation moyen réglé au sein de l'AM8-MKI est de l'ordre d'environ 50 %.

III.5.5 – Évaluation du rapport signal à bruit (SINAD)

Mesure du bruit, toutes composantes confondues, suivant la procédure SINAD.
Configuration :

- Générateur AF : niveau de référence = 50 % de taux de modulation / Fréquence AF = 1 kHz.
- Analyseur R&S FMAB : démodulateur AM / Détecteur Quasi-Crête / Filtre 10 Hz et 23 kHz.

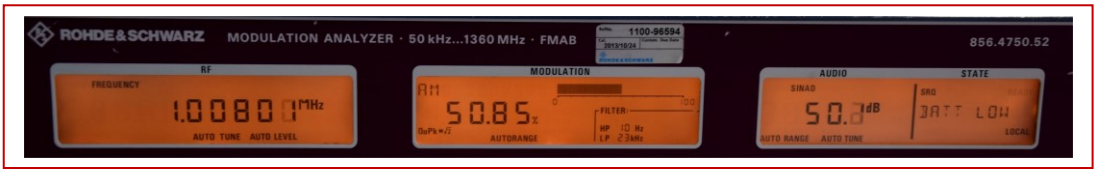


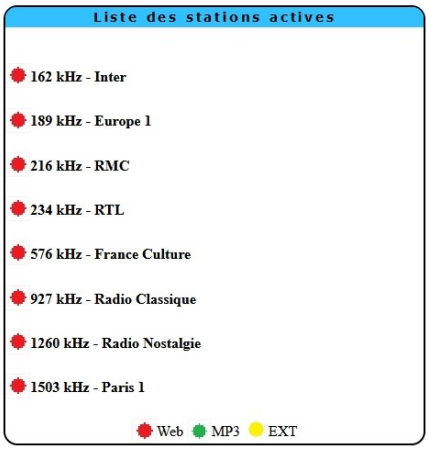
Figure 19 : rapport signal à bruit suivant SINAD pour un taux de modulation de 50 %.
Réf cliché : 113-AM8-MKI – Test – Signal-Bruit.

Écran de gauche : fréquence RF de réception pour la démodulation.
Écran central : taux de modulation.
Écran de droite : mesure du bruit suivant SINAD.

La valeur de 50 dB est largement suffisante pour une exploitation de l'**AM8**-MKI sur des récepteurs AM, sachant que ces derniers atteignent très rarement ces valeurs, même lorsque le niveau du signal RF est élevé.

IV – Session d'écoute

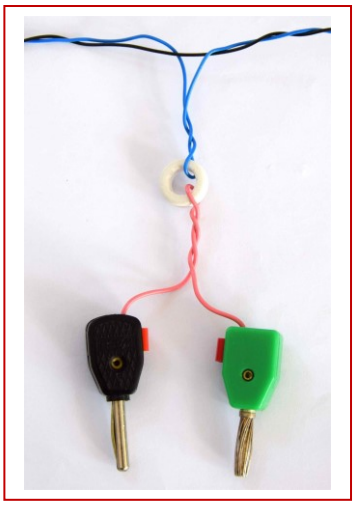
Configuration :



4 stations programmées en GO (flux web)
4 stations programmées en PO (flux web)

Figure 20 : configuration des canaux pour la session d'écoute.
Réf cliché : 115-AM8-MKI – Config. Contrôle écoute – 1.

La sortie du modulateur PO+GO (J10) est raccordée à un fil torsadé d'une longueur de 10 mètres et terminé par une charge résistive de 220 Ω.



Un tore ferrite (modèle retenu pour la série) est inséré dans l'un des fils de la torsade, à environ 50 cm de l'extrémité situé côté charge de 220 Ω. Le fil forme une seule spire autour de ce tore.
Un autre fil d'une dizaine de centimètre et formant une autre et seule spire autour de ce tore, est relié via deux fiches bananes aux entrées Antenne et Terre du récepteur de test Philips BF321A.

Figure 21 : couplage du récepteur via le tore ferrite retenu pour la série.
Réf cliché : 114-AM8-MKI – Couplage via tore.

Figure 22 : récepteur utilisé pour les tests d'écoute : Philips BF321A.
Réf cliché : BF321A - 1.

L'écoute des programmes a été précédée d'un balayage lent de chacune des bandes GO et PO afin de repérer les produits indésirables (interférences et harmoniques) et de contrôler si ces produits se sont avérés gênants ou s'ils demeurent acceptables.
En GO, quasiment pas d'interférences notables.
En PO, de nombreuses mais légères interférences sont audibles entre les fréquences programmées ou à l'approche de celles-ci.
Au niveau des harmoniques, dans la bande PO, avec des niveaux très faibles (il faut monter le volume sonore du récepteur) on identifie la réplique de programmes GO ou bien, par combinaisons complexes (sans doute aussi avec l'oscillateur local du récepteur) on retrouve certains programmes PO ailleurs, sur la bande.
Toutefois, rien de gênant ; en effet, sur chacune des huit fréquences programmées, le confort d'écoute est excellent et aucun bruit parasite ou mélange de programmes n'est audible.
Par ailleurs, le niveau de bruit général inter-station augmente légèrement lorsque l'**AM8**-MKI est en fonction, mais ces bruits issus de l'activité « numérique » du système ne perturbent en aucune façon la réception des huit stations programmées.

Une comparaison expérimentale a été effectuée avec des « vraies » stations de radiodiffusion, nécessairement étrangères…
Dans la région de Bordeaux où ont été effectués ces tests, on capte aisément, en soirée, de très nombreuses stations espagnoles en PO, avec un très bon confort d'écoute.
À l'aide d'un coupleur RF, le récepteur Philips BF321A a été alimenté à la fois par une antenne filaire extérieure et par la sortie de l'**AM8**-MKI couplée via le tore ferrite. Le résultat montre évidemment un confort parfait sur les huit stations diffusées par l'**AM8**-MKI, mais ne nuit pas à la réception des stations hertziennes.
On constate que le taux de modulation est légèrement plus faible sur les stations de l'**AM8**-MKI que sur les radios hertziennes, souvent dotées de systèmes de compression favorisant des taux de modulation extrêmes (mais aussi des distorsions importantes !). Ce point sera peut-être à ajuster (il s'agit de paramètres logiciels ne remettant pas en cause la platine matérielle).

V – Conclusion

Le prototype matériel d'identification de la série est conforme aux objectifs.
La version actuelle du matériel (v01) peut donc être dupliquée en série sans modification du cuivre, si toutefois, les réservations en cours se transforment réellement en commandes, dans les prochaines semaines.

Pour le néophyte comme pour le passionné, la démonstration sonore de l'**AM8**-MKI sur un récepteur TSF est vraiment surprenante. Retrouver France Inter, Europe1, RMC, RTL, sur le cadran des GO aux endroits où ces stations étaient reçues il y a encore quelques années en arrière, est assez magique…

Fin de la session 1 des mesures et tests.

Session 2 à partir de la page 16.

VI – Session 2 de mesures ; du 2023-12-16 au 2023-12-17

L'objectif de cette seconde session est de contrôler que les observations effectuées lors de la première session, ayant donné lieu à des corrections et/ou optimisations matérielles / logicielles, ont permis d'améliorer les performances du modulateur **AM8**-MKI.

Les conditions de mesures et la nature des équipements de mesure et de test sont en tous points similaires à la description présentée au chapitre III du présent document (page 2).

VI.1 – Filtre de bande PO

Nous avions remarqué un affaiblissement des niveaux RF pour les fréquences situées dans la partie supérieure de la bande des PO, au-dessus de 1 400 kHz environ (voir § III.1 et III.2). Cet affaiblissement pouvait atteindre les 7 dB sur la fréquence utile la plus haute (1 602 kHz).
Après avoir effectué de nouvelles simulations des caractéristiques du filtre à l'aide d'un logiciel spécialisé, il fut constaté qu'un des composants en place sur le prototype n'était pas conforme à la valeur calculée.
Après son changement, la courbe de réponse du filtre fut similaire à celle simulée et aucun affaiblissement notable n'a été constaté sur l'ensemble de la bande.

Pour effectuer un contrôle de la linéarité de la courbe de réponse, les huit fréquences du modulateur ont été programmées avec une répartition homogène entre 540 kHz et 1 593 kHz et le même programme radio a été affecté aux huit fréquences, afin de ne pas constater des écarts de niveau imputables à la modulation.

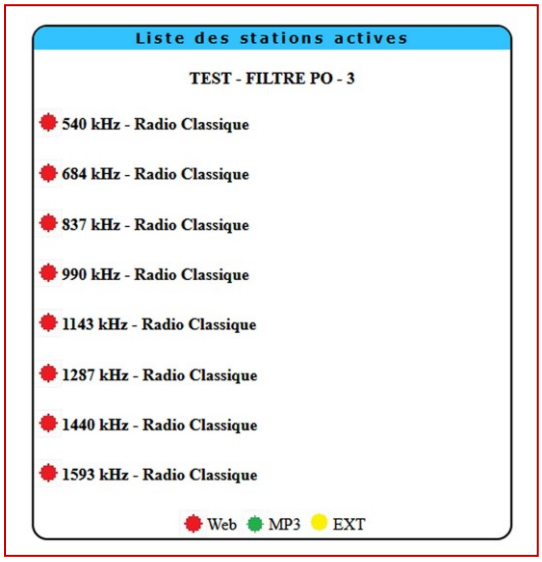


Figure 23 : configuration de l'AM8-MKI avec huit fréquences réparties également entre les deux extrémités de la bande PO.
Réf cliché : 123-AM8-MKI – Config. Test filtre PO - 1.

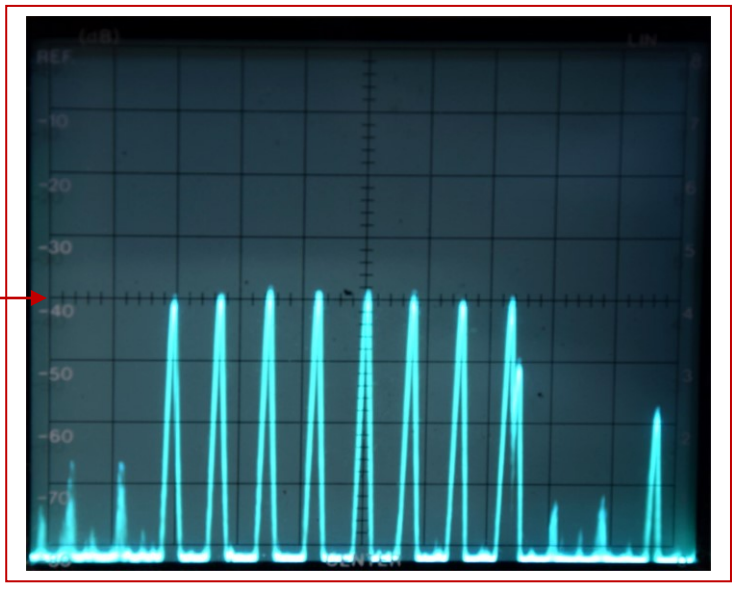


*Figure 24 : spectre RF GO + PO de l'**AM8**-MKI, à la sortie du couplage via le tore.*
Réf cliché : 122-AM8-MKI - Test filtre PO - Tore - 1.

Les résultats sont excellents.
Le niveau RF de chacune des porteuses s'inscrit dans un gabarit d'environ 2 dB sur l'ensemble de la bande.

VI.2 – Taux de modulation sur les programmes issus de flux web

Lors de notre précédente session d'écoute (voir § IV), en comparant les modulations des programmes diffusés par l'**AM8**-MKI à partir des flux issus du web, avec celles de stations hertziennes reçues directement via l'antenne raccordée à notre récepteur témoin, nous avons constaté que les niveaux des modulations diffusées par l'**AM8**-MKI étaient sensiblement plus faibles (environ 6 dB, en moyenne).

Rien de bien alarmant compte tenu du réel confort d'écoute procuré par l'**AM8**-MKI. Mais pour qui souhaiterait recevoir à la fois des stations hertziennes et celles issues de l'**AM8**-MKI (par couplage avec une antenne), il serait encore plus « réaliste » que l'auditeur ne constate pas de différences notables de niveaux sonores entre les stations quelle que soit leur origine. Quitte à optimiser, autant peaufiner à tous les étages !

Nous avons donc revu l'équation digitale fixant le taux de la modulation en augmentant ce dernier de manière à obtenir une équivalence des niveaux crête à crête mesurés à la sortie d'un récepteur de référence (JRC NRD 535), suivant le montage de test de la figure 25.

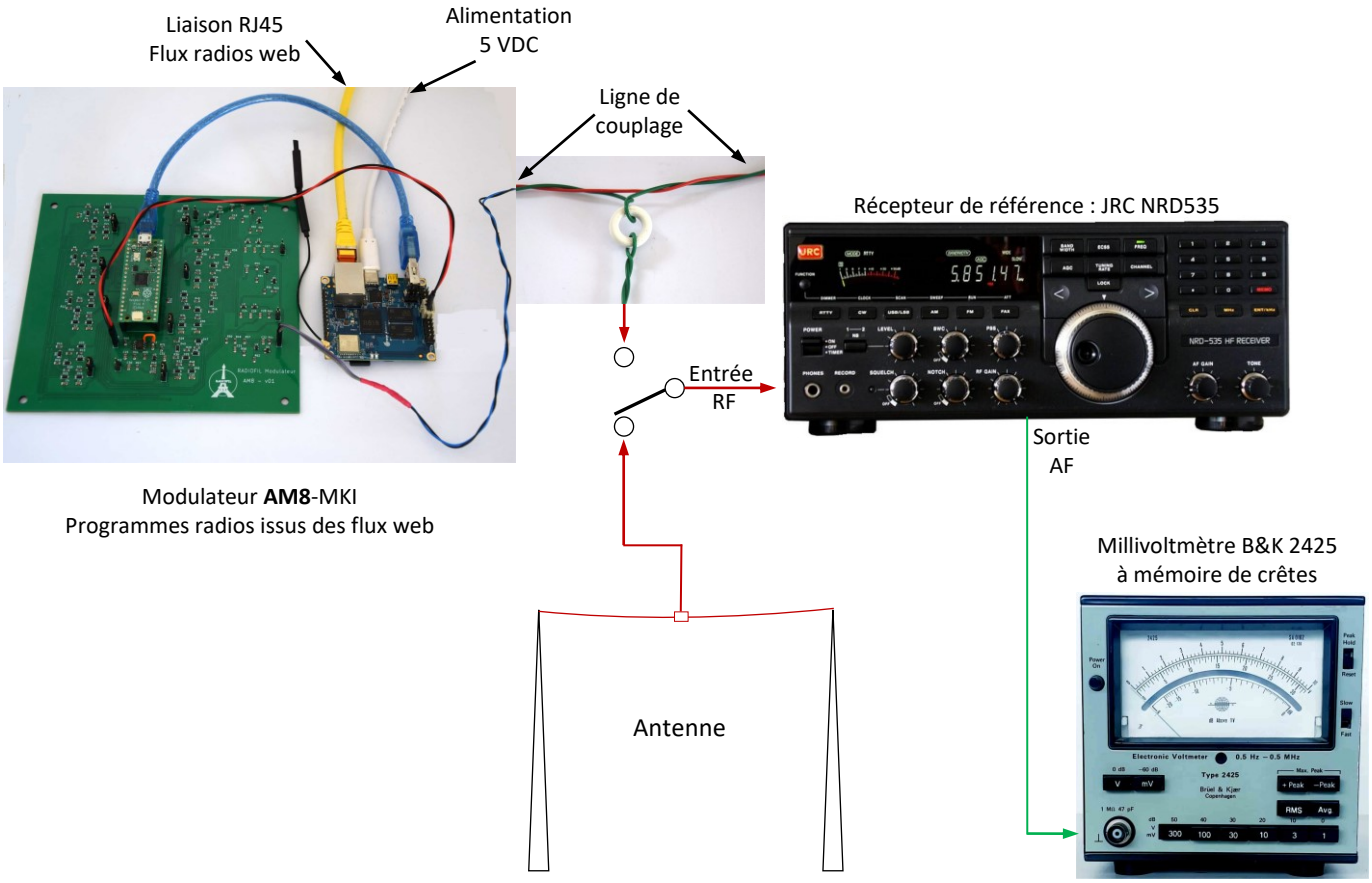


*Figure 25 : banc du test d'évaluation des niveaux de modulation comparés entre des programmes de stations hertziennes et ceux diffusés par l'**AM8**-MKI, à partir de flux issus du web.*

Méthode :

Relevé des niveaux sur les stations hertziennes :

Sur le récepteur JRC, dont l'entrée RF est raccordée à une antenne long fil (en extérieur), bande des PO, on sélectionne consécutivement trois stations au confort d'écoute stable.

Puis on relève le niveau de modulation à la sortie AF du récepteur, sur le millivoltmètre B&K en position détecteur de crêtes, avec mémoire des maxima. Afin d'obtenir une valeur représentative du programme on effectue la mesure sur une durée d'une minute sur chacune des stations.

Pour terminer, on effectue ensuite une moyenne arithmétique des trois résultats obtenus, soit, dans cette configuration : 750 mV_{CC}.

*Relevé des niveaux sur les programmes diffusés par l'**AM8**-MKI :*
Cette fois, on raccorde l'entrée RF du récepteur sur la ligne de couplage de l'**AM8**-MKI, via un tore ferrite.
Puis on suit la même procédure que précédemment, sur trois stations diffusées à partir du flux web.
Après optimisation de l'algorithme logiciel déterminant le taux de modulation des porteuses, on mesure chaque station pendant une minute puis on effectue la moyenne arithmétique : on obtient 710 mV_{CC}.
La légère différence de niveau est volontaire, afin de protéger les récepteurs anciens dont les procédés de détection génèrent des distorsions audibles dès que le taux de modulation dépasse les 40 à 50%. Or, les stations AM « modernes » utilisent des procédés de traitement audio qui favorisent des taux de modulation très élevés qu'il serait contre-productif de privilégier dans l'**AM8**-MKI.
Un contrôle auditif ne permet pas d'identifier de différences sensibles entre les deux types de configuration.

VI.3 – Couplage d'une antenne de réception avec l'AM8-MKI

La manipulation précédente nous a donné l'idée d'imaginer un procédé simple pour faire bénéficier sur un récepteur, à la fois des huit porteuses modulées en provenance de l'**AM8**-MKI et des stations hertziennes captées à l'aide d'une bonne antenne. Le soir, la bande PO reprend des couleurs grâce aux stations étrangères (de nationalités différentes en fonction du lieu de réception), avec l'illusion de revenir une décennie en arrière…
Si le couplage ne pose pas de problème en soi, les différences de niveaux RF entre le signal capté par l'antenne et celui fourni par le couplage avec l'**AM8**-MKI via le tore ferrite est trop important, au profit de notre modulateur.
En effet nous avons mesuré des valeurs d'environ 60 dBµV (1 mV) à la sortie de l'antenne, pour des stations reçues confortablement, alors que le couplage de l'**AM8**-MKI via le tore ferrite permet de disposer d'un signal d'environ 80 dBµV (10 mV), soit 10 fois supérieur.
Pour réduire ce déséquilibre, il serait possible d'atténuer le signal issu du tore, mais ce serait dommage de ne pas profiter de l'excellent confort d'écoute obtenu grâce justement au niveau élevé du signal RF.
L'autre solution consiste à amplifier d'environ 20 dB le signal capté par l'antenne afin d'obtenir une équivalence des niveaux, quelle que soit la source RF. De plus, cette solution a l'avantage d'isoler l'**AM8**-MKI de l'antenne (inutile de rayonner accidentellement les porteuses et harmoniques, au risque de perturber l'environnement RF).
Radiofil a proposé il y a quelque temps, un excellent amplificateur pour cadre et antenne (*Radiofil magazine* n°111 de juillet/août 2022), par ailleurs disponible prêt à l'emploi auprès la boutique de l'association.
Cet amplificateur est parfaitement linéaire dans les bandes GO et PO et dispose d'un gain d'environ 25 dB. Exactement ce qu'il nous faut !

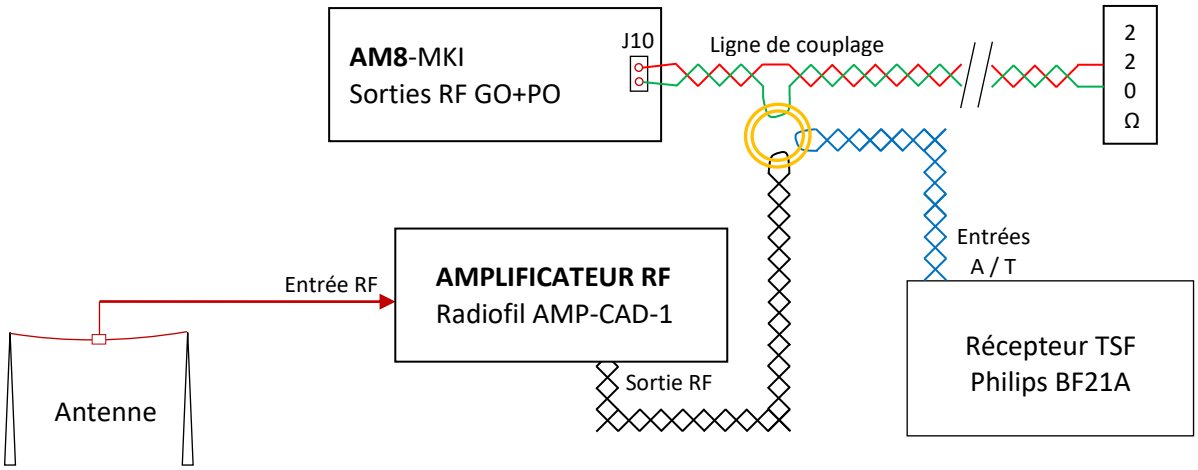


*Figure 26 : schéma du couplage des signaux RF issus de l'**AM8**-MKI avec ceux de la sortie d'un amplificateur d'antenne.*

L'expérience a donc été réalisée et le résultat fut au rendez-vous.
Les GO ont retrouvé leur jeunesse avec les quatre stations disparues (Inter, Europe 1, RMC et RTL) et celle encore existante de langue anglaise (BBC Radio 4 – Droitwich) reçue directement via l'antenne.
Quant aux PO, nous avons programmé sur l'**AM8**-MKI quatre stations bien réparties sur la bande et, le soir, avons identifié une bonne dizaine d'autres stations espagnoles (lieu de l'expérience à Bordeaux).
Notre récepteur Philips venait de faire un bond d'au moins une dizaine d'années en arrière !

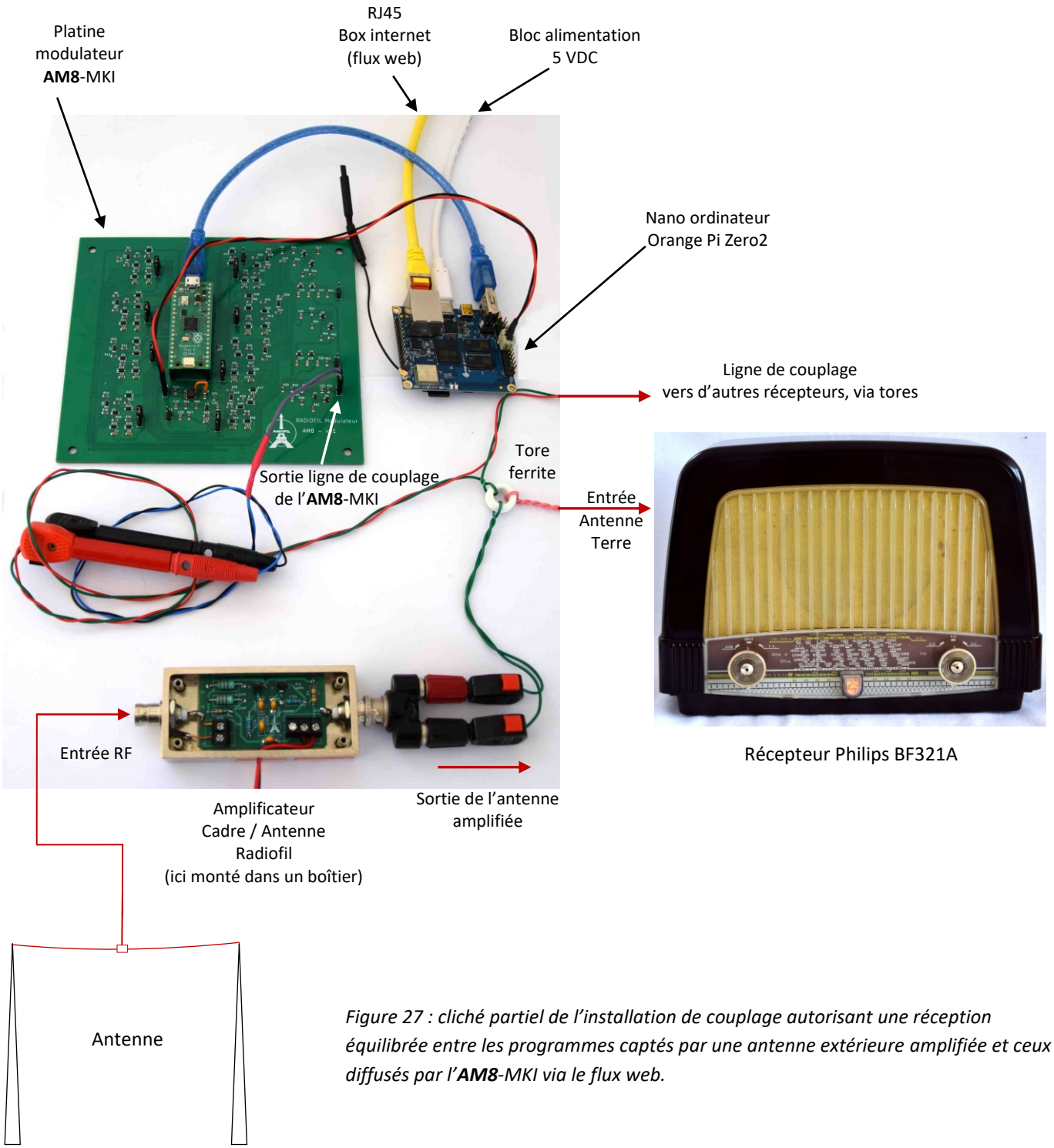


*Figure 27 : cliché partiel de l'installation de couplage autorisant une réception équilibrée entre les programmes captés par une antenne extérieure amplifiée et ceux diffusés par l'**AM8**-MKI via le flux web.*

Nota : une résistance de charge et de protection, de valeur 470 Ω, est placée en série dans le circuit de sortie de l'amplificateur d'antenne (résistance non visible sur le cliché).

VI.4 – Conclusion session 2

Cette seconde session de tests et mesures a permis d'optimiser les performances du matériel.
Il est donc décidé de clôturer les tests de la section matérielle du modulateur.
Nous considérons la platine du modulateur prototype n°3-v01 comme représentative de la série à venir.

Les performances essentielles seront reprises dans la notice d'utilisation ainsi que les différentes possibilités de raccordement du système **AM8**-MKI (ligne de couplage, confection des câbles avec tores ferrite, couplage avec une antenne, raccordement d'une source audio externe, etc.).

Fin de la session 2 des mesures et tests.

Fin du document