PROJET MODULATEUR AM8

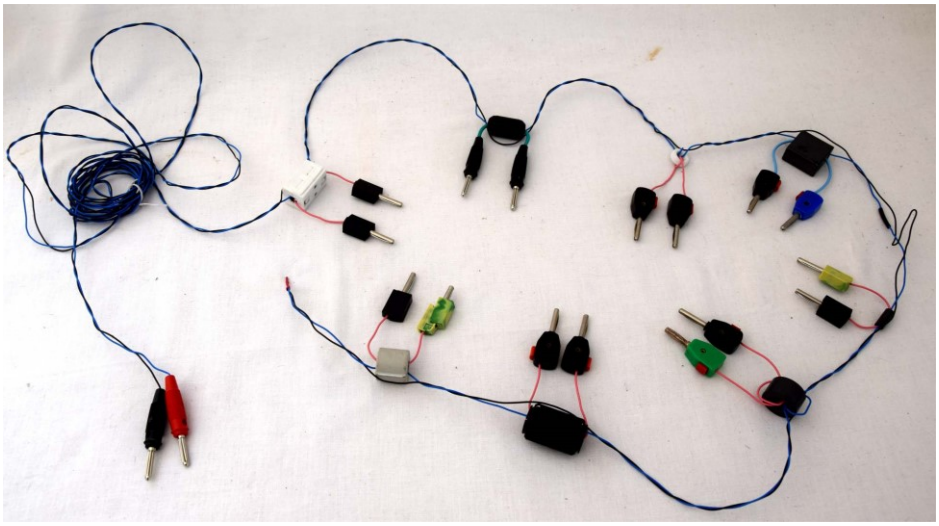
Modulateur AM
8 fréquences

Tore ferrite de couplage RF

Fiche de test

v1.0 – 2023-04

Les tests ont été effectués en 2 sessions :
Session 1 : 18 avril 2023
Session 2 : 23 avril 2023



I – Objectif de la fiche de test

Évaluer les niveaux, pertes d'insertion et rendements de différents types de tore ferrite de couplage entre la ligne de transmission RF du modulateur et les récepteurs de TSF, afin de déterminer au mieux les caractéristiques de l'amplificateur RF de sortie du modulateur AM8.

II – Banc de test

Afin d'évaluer objectivement les tores ferrites à tester, le banc de mesure de la figure 1 a été mis en œuvre.

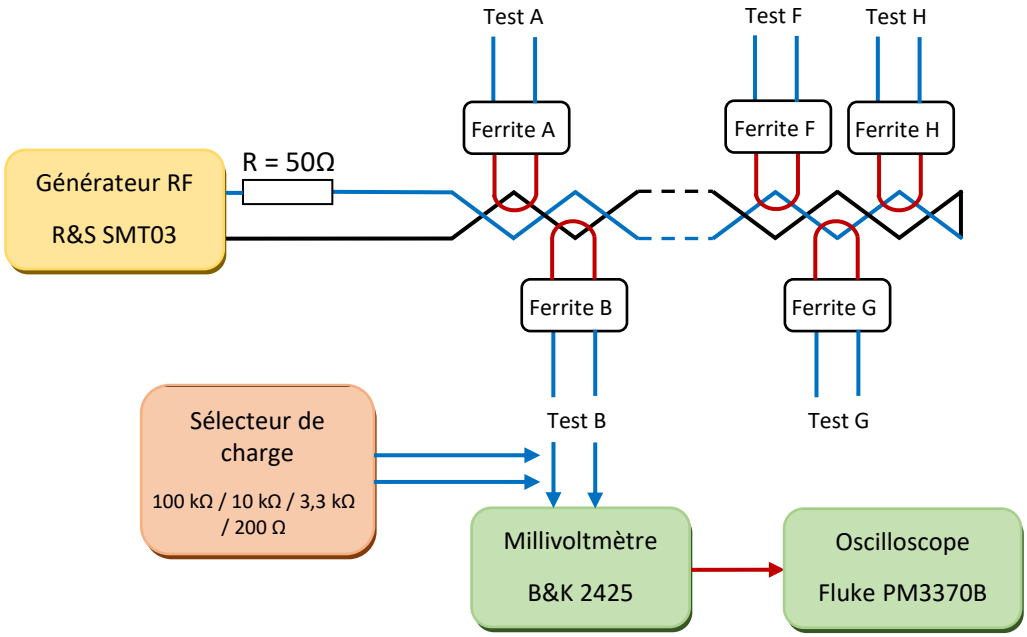


Figure 1 : Synoptique du banc de test des différents types de tore ferrite.

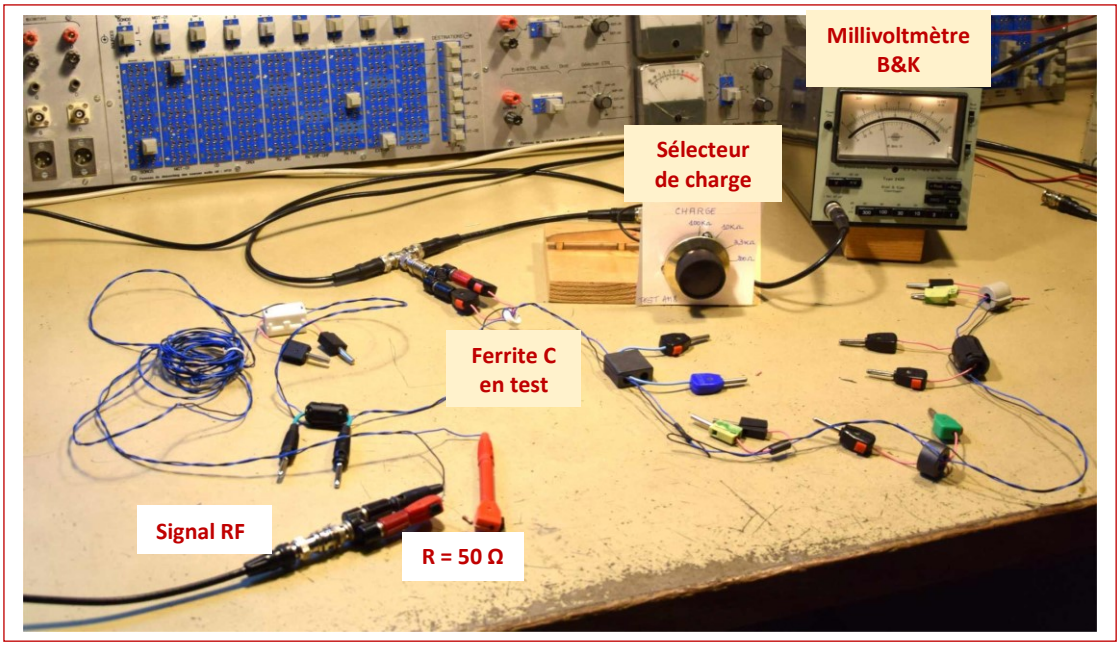


Figure 2 : mise en œuvre du banc de mesure avec les 8 tores ferrites en test.

Étalonnage du banc de test

Le banc de mesure a été calibré afin de terminer les coefficients de correction à apporter aux résultats des mesures en fonction de la fréquence.

Le montage de la figure 1 a été adopté, mais avec le millivoltmètre placé directement en série dans la ligne de transmission.

Des relevés ont été effectués avec un signal RF = 20 mV sur 4 fréquences réparties dans la bande considérée.

Coefficients correcteurs pris en compte dans les résultats des mesures, pour une linéarité meilleure que 0,1 dB de 150 KHz à 1,5 MHz :

Pour F = 150 kHz : k = + 0,3 dB

Pour F = 500 kHz : k = + 0 dB

Pour F = 1 MHz : k = + 0 dB

Pour F = 1,5 MHz : k = + 0,6 dB

SESSION 1 – 18 avril 2023

III – Tores ferrites soumis aux tests

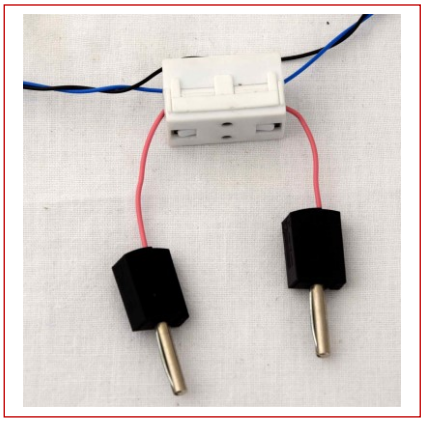
8 tores différents ont été évalués.

Ils sont issus d'un stock personnel et, malheureusement, les caractéristiques électriques de chacun ne sont pas connues (sauf pour celui du type C).

À droite de la présentation suivante, le tableau indique les tensions efficaces en mV relevées aux bornes de la boucle couplée avec le tore ferrite.

La tension en sortie du générateur RF est constante : 100 mV_{RMS}.

III.1 – Tore ferrite type « A »

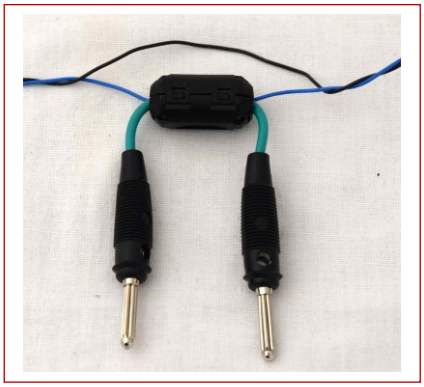


Type : à clipser
Longueur : 31 mm
Largeur : 18 mm
Hauteur : 18 mm
Ø int. : 6 mm

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	3,0 mV	7,2 mV	9,4 mV	12,0 mV
10 kΩ	3,0 mV	7,2 mV	9,4 mV	12,0 mV
3,3 kΩ	3,0 mV	7,2 mV	9,4 mV	12,0 mV
200 Ω	3,0 mV	7,2 mV	9,4 mV	11,5 mV

Figure 3 : tore ferrite type A.

III.2 – Tore ferrite type « B »

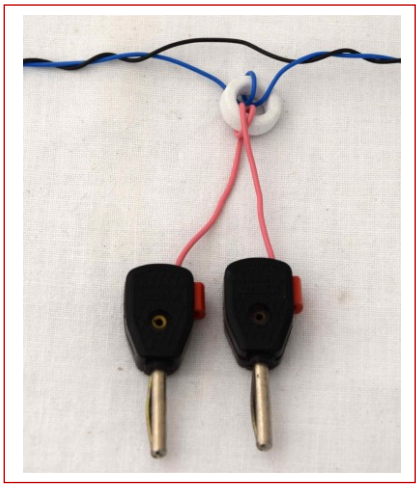


Type : à clipser
Longueur : 30 mm
Ø ext. : 16 mm
Ø int. : 7 mm

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	0,28 mV	0,65 mV	0,92 mV	1,45 mV
10 kΩ	0,28 mV	0,65 mV	0,92 mV	1,45 mV
3,3 kΩ	0,28 mV	0,65 mV	0,92 mV	1,45 mV
200 Ω	0,28 mV	0,65 mV	0,92 mV	1,45 mV

Figure 4 : tore ferrite type B.

III.3 – Tore ferrite type « C » - 2 spires



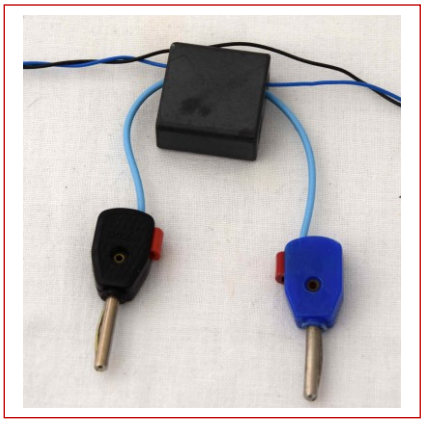
Type : anneau à insérer
Ø ext. : 14,6 mm
Ø int. : 8,2 mm
Épaisseur : 5,5 mm
Marque :
Ferroxcube
Réf. : TN14/9/5 - 3E25
Perméabilité : 6 000
Point : 125°C / Résistivité : 0,5 Ohm
Matériau : Ferrite

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	14,0 mV	32,0 mV	32,0 mV	32,0 mV
10 kΩ	14,0 mV	32,0 mV	32,0 mV	32,0 mV
3,3 kΩ	14,0 mV	32,0 mV	32,0 mV	32,0 mV
200 Ω	14,0 mV	30,0 mV	30,0 mV	28,0 mV

Nota : deux spires en enroulements In et Out ont été effectuées sur ce tore.

Figure 5 : tore ferrite type C.

III.4 – Tore ferrite type « D »

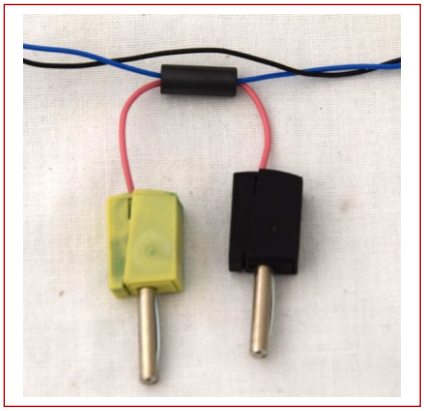


Type : carré à insérer
Longueur : 28,5 mm
Largeur : 29 mm
Hauteur : 14,5 mm
Ø inter. : 7 mm

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	5,50 mV	12,5 mV	17,0 mV	22,0 mV
10 kΩ	5,50 mV	12,5 mV	17,0 mV	22,0 mV
3,3 kΩ	5,50 mV	12,5 mV	17,0 mV	22,0 mV
200 Ω	5,50 mV	12,5 mV	16,5 mV	21,0 mV

Figure 6 : tore ferrite type D.

III.5 – Tore ferrite type « E »

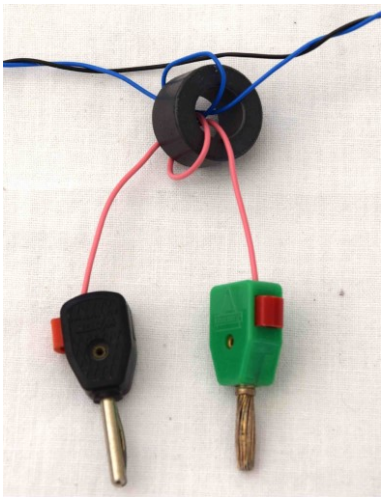


Type : cylindre à insérer
Longueur : 16 mm
Ø ext. : 6,2 mm
Ø int. : 3,2 mm

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	1,25 mV	2,90 mV	4,35 mV	5,80 mV
10 kΩ	1,25 mV	2,90 mV	4,35 mV	5,80 mV
3,3 kΩ	1,25 mV	2,90 mV	4,35 mV	5,80 mV
200 Ω	1,25 mV	2,90 mV	4,35 mV	5,80 mV

Figure 7 : tore ferrite type E.

III.6 – Tore ferrite type « F » - 2 spires



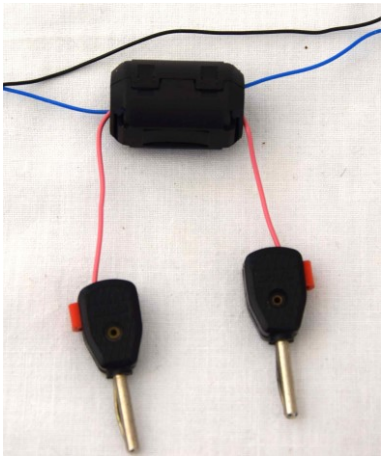
Type : anneau à insérer
Ø ext. : 23,5 mm
Ø int. : 13 mm
Épaisseur : 14 mm

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	3,40 mV	8,80 mV	14,0 mV	19,0 mV
10 kΩ	3,40 mV	8,80 mV	14,0 mV	19,0 mV
3,3 kΩ	3,40 mV	8,80 mV	14,0 mV	19,0 mV
200 Ω	3,40 mV	8,80 mV	14,0 mV	18,5 mV

Nota : deux spires en enroulements In et Out ont été effectuées sur ce tore.

Figure 8 : tore ferrite type F.

III.7 – Tore ferrite type « G »

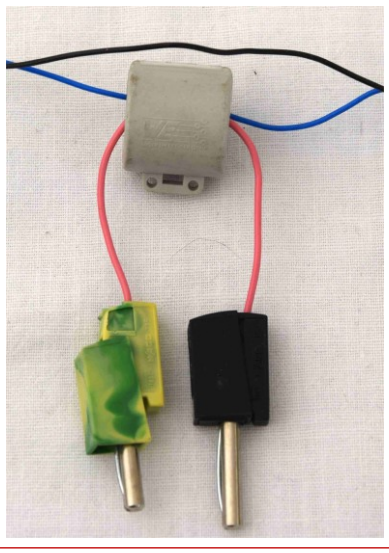


Type : à clipser
Longueur : 36 mm
Ø ext. : 25 mm
Ø int. : 13 mm

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	0,95 mV	2,45 mV	3,80 mV	5,0 mV
10 kΩ	0,95 mV	2,45 mV	3,80 mV	5,0 mV
3,3 kΩ	0,95 mV	2,45 mV	3,80 mV	5,0 mV
200 Ω	0,95 mV	2,45 mV	3,80 mV	5,0 mV

Figure 9 : tore ferrite type G.

III.8 – Tore ferrite type « H »



Type : à clipser
Longueur : 20 mm
Ø ext. : 21,5 mm
Ø int. : 8 mm

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	0,20 mV	0,44 mV	0,66 mV	1,15 mV
10 kΩ	0,20 mV	0,44 mV	0,66 mV	1,15 mV
3,3 kΩ	0,20 mV	0,44 mV	0,66 mV	1,15 mV
200 Ω	0,20 mV	0,44 mV	0,66 mV	1,15 mV

Figure 10 : tore ferrite type H.

III.9 – Réseau de tores ferrites en test

La figure 10 montre le réseau constitué des 8 tores en test.
Le millivoltmètre et le sélecteur de charge sont raccordés consécutivement sur chacune des ferrites à évaluer.

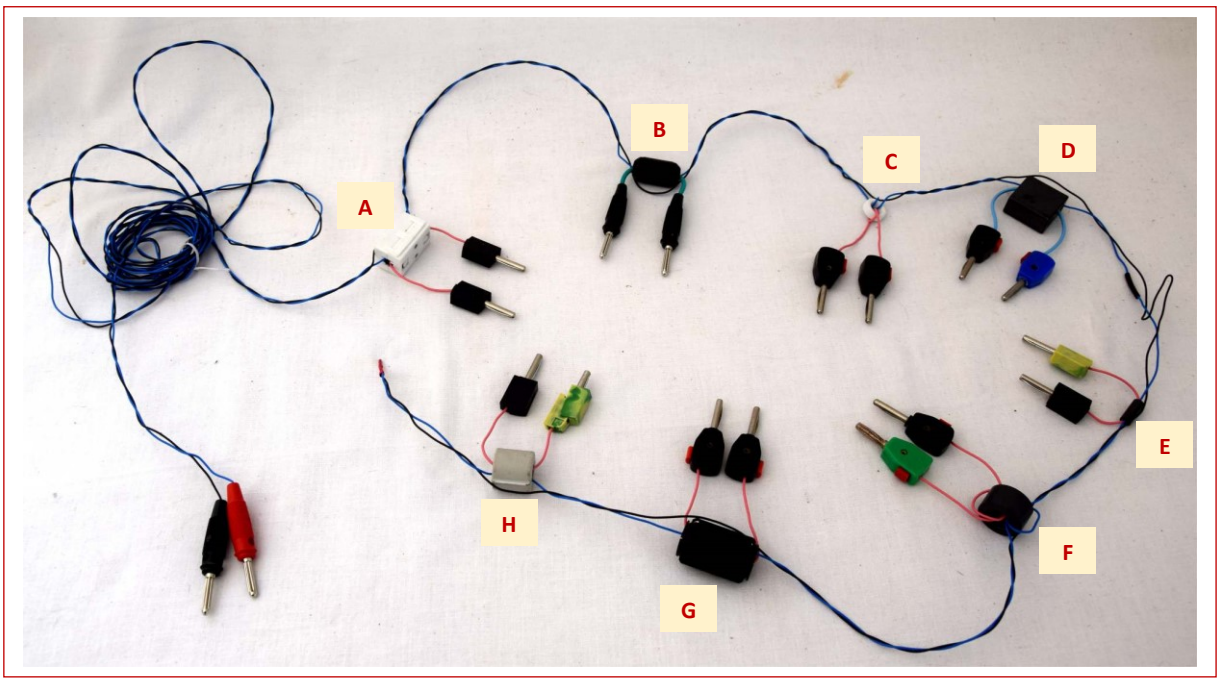


Figure 11 : le réseau constitué des 8 tores à évaluer.

IV – Mesures et évaluations

Le montage adopté est conforme au synoptique représenté en figure 1.
Pour chacun des tores testés, il est procédé comme suit :

- Niveau du générateur RF : 100 mV (= 100 dBµV = -7 dBm).
- Relevé du niveau RF aux bornes de la boucle couplée avec le tore ferrite en test, pour :
  - Chacune des valeurs des quatre résistances de charge,
  - Chacune des valeurs des quatre fréquences de la bande.

Au total : 16 points de mesure par type de tore, dont les valeurs sont présentées dans les tableaux juxtaposés aux figures 3 à 10.

Impédance de charge

On s'aperçoit que la valeur de l'impédance de charge n'a aucune incidence sur le niveau (pour les valeurs supérieures à environ 500 Ω) et n'a qu'une très faible incidence pour une valeur de charge de 200 Ω (-1,15 dB dans le pire des cas et à la fréquence la plus haute, pour le tore ferrite de type C).
→ Sur ce point, il est donc possible de conclure que la valeur de l'impédance d'entrée des récepteurs qui seront couplés via ce système n'a aucune incidence sur le niveau du signal RF capté.

Niveau en fonction de la fréquence

Quel que soit le type de tore, le couplage dans la bande GO reste moins efficace.
Avec le tore ferrite de type C, le niveau est inférieur de 7 dB à 150 kHz par rapport aux fréquences supérieures à 500 kHz, ce qui reste acceptable.
Pour les autres types de tore, le niveau est inférieur de 12 dB en moyenne, ce qui est significatif et peut s'avérer gênant avec certains récepteurs.

La figure 12 montre le niveau réel obtenu aux bornes de la boucle couplée à chaque tore ferrite en test, pour les 4 fréquences mesurées (classement par ordre de performance).

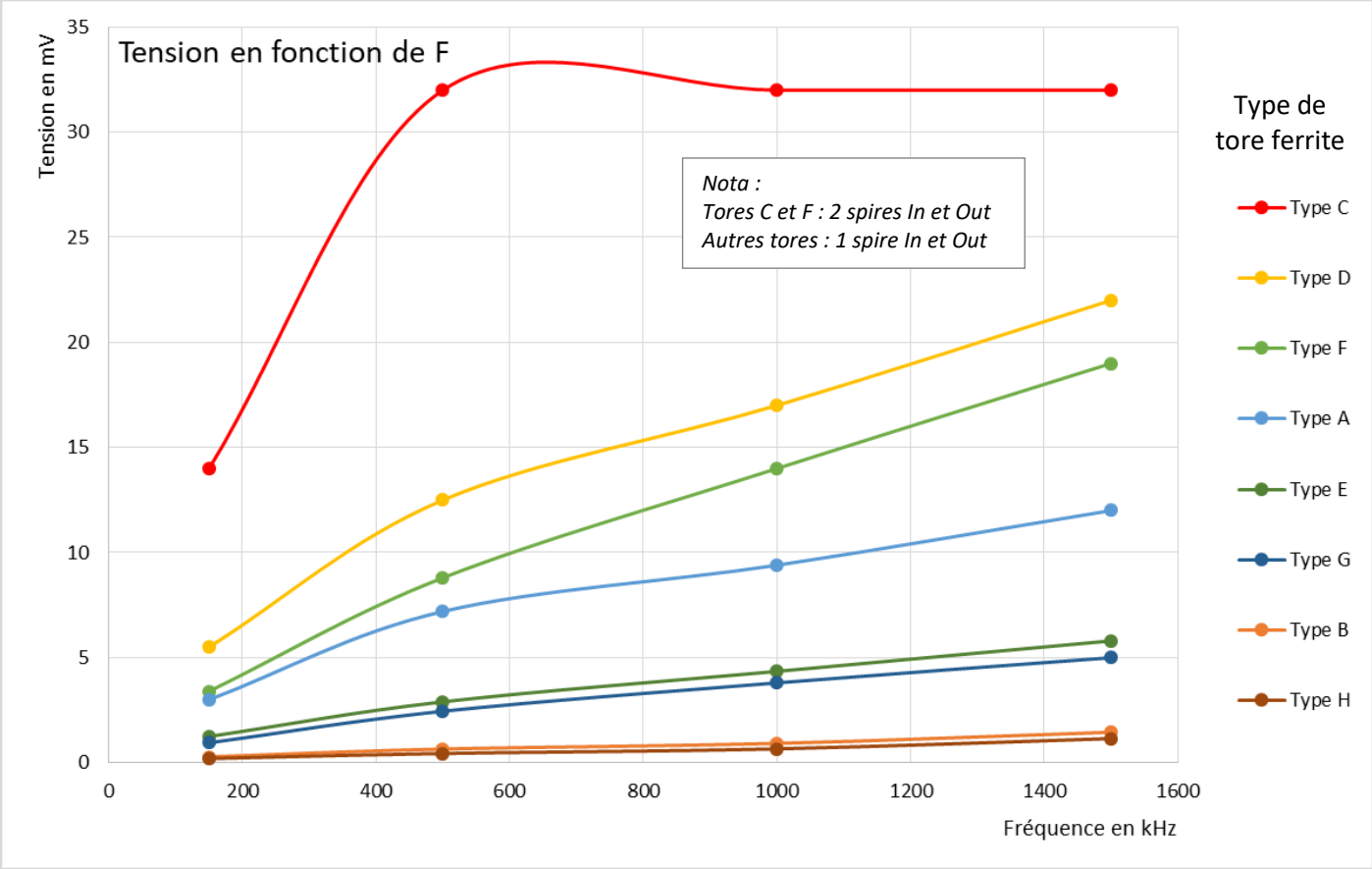


Figure 12 : niveau relevé sur la boucle couplée aux différents tores, en fonction de la fréquence.

De grandes différences sont relevées entre les divers types de tore ferrite testés.
Si l'on prend les deux types de ferrite aux performances les plus éloignées, l'écart est de :

- 36,9 dB à 150 kHz,
- 37,2 dB à 500 kHz,
- 33,7 dB à 1 MHz,
- 28,9 dB à 1,5 MHz.

Perte d'insertion

Pour ces calculs, seules les ferrites types A, C, D et F sont conservées, les quatre dernières affichant des caractéristiques de transfert trop éloignées des 4 tores les plus performants.

Lors de l'expérimentation, le niveau de sortie RF du générateur est de 100 mV_{RMS}.
Le tableau de la figure 13 montre les pertes d'insertion entre le niveau RF alimentant le réseau de tores et la tension mesurée sur la boucle couplée sur chacun des tores en test.

Le classement est effectué de la perte d'insertion la plus faible à la plus forte.

Type / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
Type C	17,1 dB	9,9 dB	9,9 dB	9,9 dB
Type D	25,2 dB	18,1 dB	15,4 dB	13,2 dB
Type F	29,4 dB	21,1 dB	17,1 dB	14,4 dB
Type A	30,5 dB	22,9 dB	20,5 dB	18,4 dB

Figure 13 : perte d'insertion en fonction de la fréquence.

Rendement

Afin de simuler les valeurs des niveaux RF possibles, en fonction du type de tore ferrite, de la fréquence et des niveaux de sortie envisagés sur le modulateur, la figure 14 indique le rendement de chacun des 4 tores les plus performants.

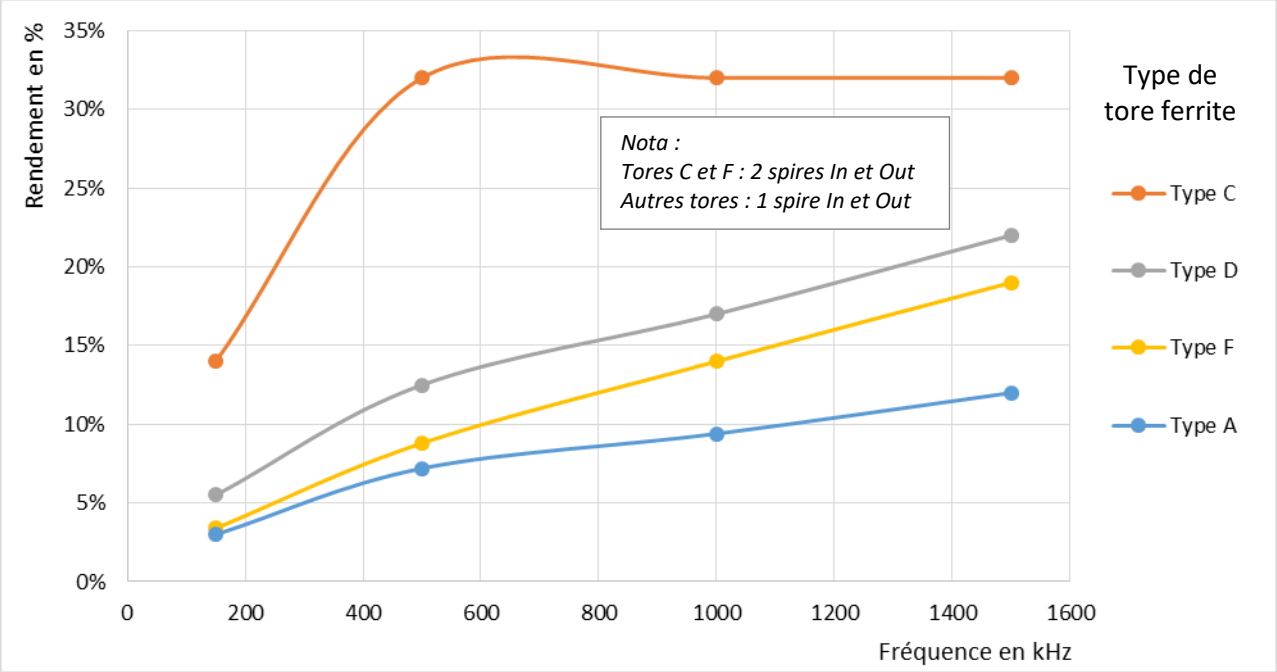


Figure 14 : rendement des 4 tores les plus performants.

V – Tests réels avec le modulateur AM8

Afin de contrôler subjectivement l'efficacité des 4 tores les plus performants, ils ont été testés avec un raccordement sur la sortie RF standard (sans amplificateur supplémentaire) du prototype du modulateur AM8 et un couplage avec un récepteur Philips BF321A de 1952.
Le résultat est très satisfaisant. Le confort d'écoute est parfait avec le tore ferrite de type C mais tout à fait correct, aussi, avec les 3 autres types de tore, même en grandes ondes.

Afin de conforter cette impression, il faudra se reporter aux résultats des tests qui seront prochainement effectués, dont l'objectif sera de déterminer le niveau RF nécessaire sur l'entrée « Antenne » de différents récepteurs, afin de garantir un rapport signal/bruit spécifié.

Le niveau moyen de sortie du prototype AM8 mesuré sur une porteuse est d'environ 11,2 mV_{RMS} soit 31,7 mV_{cc}.

Si l'on tient compte des rendements de chaque tore ferrite, on obtient les niveaux RF théoriques calculés et présentés dans le tableau de la figure 15.

	Type C		Type D		Type F		Type A	
F / U	RMS	CC	RMS	CC	RMS	CC	RMS	CC
150 kHz	1,57 mV	4,43 mV	0,62 mV	1,74 mV	0,38 mV	1,08 mV	0,34 mV	0,95 mV
500 kHz	3,58 mV	10,14 mV	1,40 mV	3,96 mV	0,99 mV	2,79 mV	0,81 mV	2,28 mV
1 MHz	3,58 mV	10,14 mV	1,90 mV	5,39 mV	1,57 mV	4,43 mV	1,05 mV	2,98 mV
1,5 MHz	3,58 mV	10,14 mV	2,46 mV	6,97 mV	2,13 mV	6,02 mV	1,34 mV	3,80 mV

Figure 15 : niveaux RF théoriques calculés, par porteuse, à l'entrée d'un récepteur.

On remarque qu'à la fréquence de 150 kHz, seule le tore ferrite de type C permet un niveau vraiment confortable.

VI – Conclusion provisoire session 1

On constate une grande disparité entre les différents types de tore ferrite testés.
Si l'on ne considère que les quatre meilleurs, on vérifie que le rendement sur la gamme des GO est d'environ 12 à 17 % inférieur à celui obtenu dans la gamme des PO.
On distingue que le tore ferrite de type C a un comportement différent des autres ferrites testées :

- Le rendement global est nettement supérieur à tous les autres (+7 dB en moyenne),
- La différence de rendement entre fréquence RF basse et fréquence RF haute est beaucoup plus sensible que sur les autres tores,
- Le rendement est quasi linéaire sur toute la bande des fréquences hautes (PO).

Ce constat peut amener sans doute à examiner attentivement les caractéristiques de ce tore afin de déterminer les caractéristiques « idéales » du modèle à choisir. Data sheet disponible **ICI**.

→ Cela signifie que si le tore ferrite est correctement choisi pour ses performances adaptées à la fonctionnalité, on pourrait probablement se passer d'un amplificateur de sortie à haut gain.

Cette conclusion devra être validée ou pondérée avec les résultats à venir d'une prochaine session de mesure consacrée au relevé de la sensibilité en GO et en PO de plusieurs récepteurs, en fonction d'un confort d'écoute optimal.

Remarques hors contexte des mesures :
Les écarts de « confort d'écoute » observés entre les expérimentations effectuées par Eduard sur quelques récepteurs et les miennes, s'expliquent maintenant très facilement, pour au moins deux raisons :

- *Le modulateur original ne fonctionnait que sur la bande des PO, là où le rendement des tores ferrites est bien meilleur,*
- *Tous mes tests et essais antérieurs réalisés en mode subjectif étaient basés sur l'utilisation d'un tore ferrite de type B, c'est-à-dire celui correspondant à l'avant-dernière place des performances dans le classement effectué dans cette session de mesure !*
- *Avec un tore ferrite de type C ou même de type D ou F, le résultat subjectif est équivalent, voire supérieur, à celui obtenu avec l'amplificateur ajoutant 20 dB de gain à la sortie RF standard de l'AM8 couplé au tore ferrite de type B. Excellente nouvelle !*

SESSION 2 – 23 avril 2023

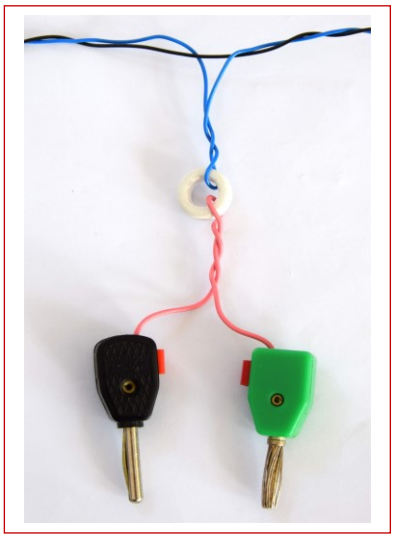
VII – Tests complémentaires

Les mesures effectuées lors de la session 1 ne permettent pas une comparaison rigoureuse entre les différents tores, car les types C et F bénéficiaient, lors des mesures ? d'un couplage réalisé avec 2 spires sur l'entré et 2 spires sur la sortie.

Cette seconde session concerne donc de nouvelles mesures effectuées exclusivement sur les tores type C et type F, dans des conditions similaires aux autres tores, à savoir à l'aide d'une seule spire pour le couplage en entrée comme en sortie.

Ensuite, les graphes ont été repris avec l'ensemble des 8 tores afin d'autoriser une comparaison objective des performances.

VII.1 – Tore ferrite type « C » – 1 spire

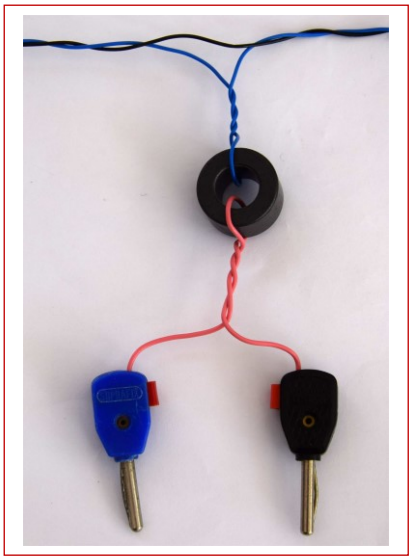


Type : anneau à insérer
Ø ext. : 14,6 mm
Ø int. : 8,2 mm
Épaisseur : 5,5 mm
Marque : Ferroxcube
Réf. : TN14/9/5 - 3E25
Perméabilité : 6 000
Point : 125°C / Résistivité : 0,5 Ohm
Matériau : Ferrite

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	3,60 mV	9,00 mV	9,10 mV	8,50 mV
10 kΩ	3,60 mV	9,00 mV	9,10 mV	8,50 mV
3,3 kΩ	3,60 mV	9,00 mV	9,10 mV	8,50 mV
200 Ω	3,60 mV	8,80 mV	8,90 mV	8,20 mV

Figure 16 : tore ferrite type C – 1 spire.

VII.2 – Tore ferrite type « F » - 1 spire



Type : anneau à insérer
Ø ext. : 23,5 mm
Ø int. : 13 mm
Épaisseur : 14 mm

R / F	150 kHz	500 kHz	1 MHz	1,5 MHz
100 kΩ	0,84 mV	2,70 mV	4,20 mV	5,20 mV
10 kΩ	0,84 mV	2,70 mV	4,20 mV	5,20 mV
3,3 kΩ	0,84 mV	2,70 mV	4,20 mV	5,20 mV
200 Ω	0,84 mV	2,70 mV	4,20 mV	5,20 mV

Figure 17 : tore ferrite type F – 1 spire.

La figure 18 montre le niveau réel obtenu aux bornes de la boucle couplée à chaque tore ferrite en test, pour les 4 fréquences mesurées (classement par ordre de performance).

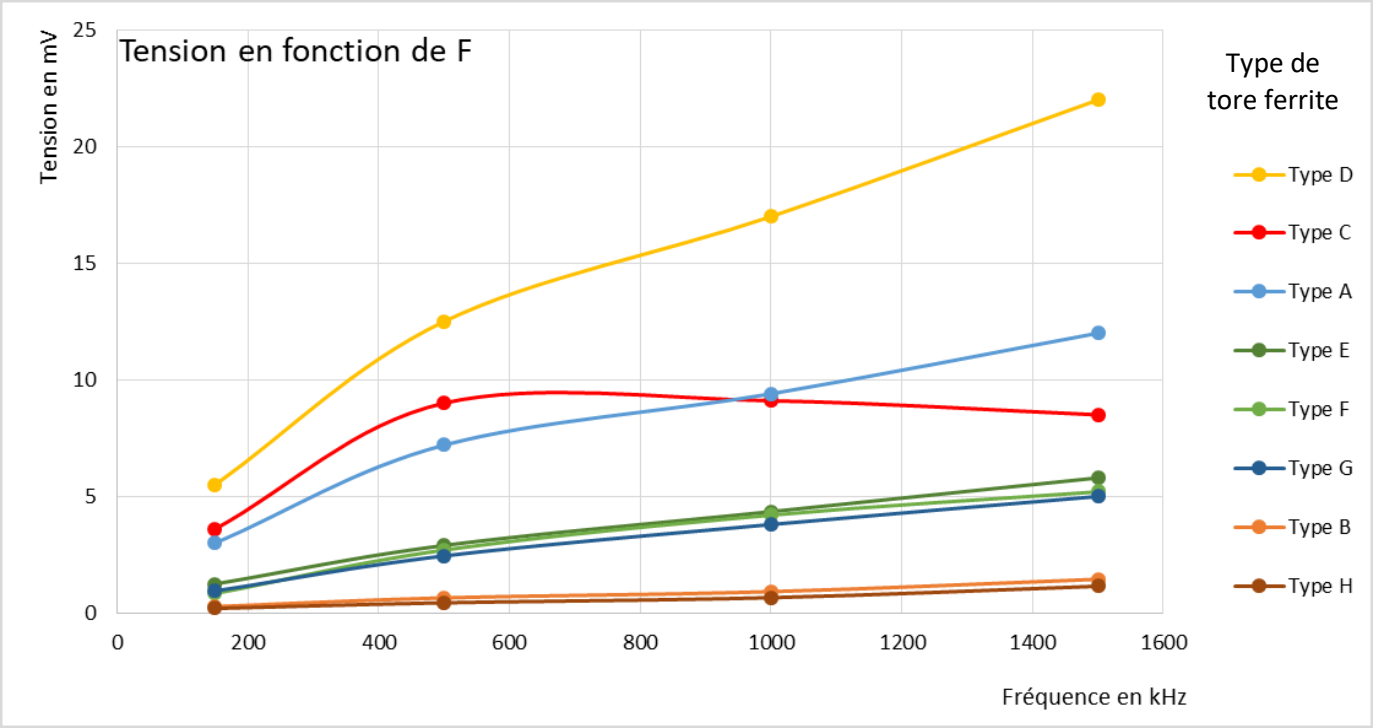


Figure 18 : niveau relevé sur la boucle couplée aux différents tores, en fonction de la fréquence.

Rendement

Afin de simuler les valeurs des niveaux RF possibles, en fonction du type de tore ferrite, de la fréquence et des niveaux de sortie envisagés sur le modulateur, la figure 19 indique le rendement de chacun des 3 tores les plus performants.

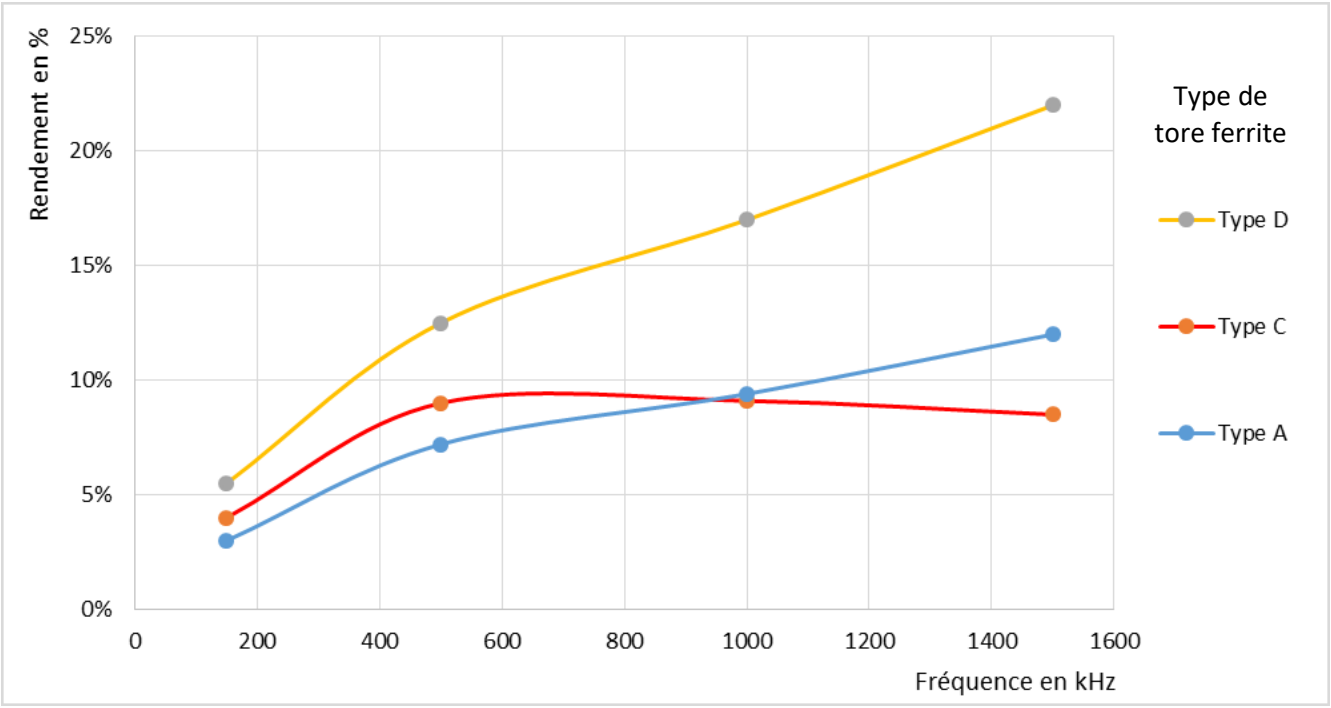


Figure 19 : rendement des 3 tores les plus performants.

VIII – Conclusion provisoire session 2

Avec une seule spire sur les anneaux « C » et « F », le classement de la performance est changé.
Le tore de type « D » s'avère le plus performant.
Toutefois le tore de type « C » reste le plus régulier sur la bande de fréquence considérée dans les tests.

À l'écoute sur le récepteur Philips, ces 3 tores donnent satisfaction avec un bon de niveau de confort d'écoute.

Fin du document