

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Le cours de F6KGL

présenté par F6GPX

Technique

Chapitre 7 – 1ère partie

Amplificateurs Radio Fréquences (RF)

Ce document a servi pour le cours enregistré le **04/05/2018**.

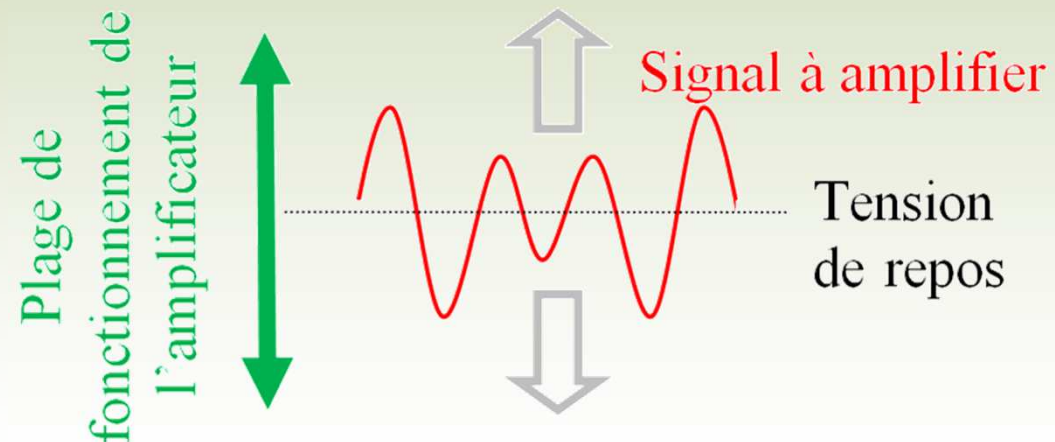
Ce document (*PDF*), le fichier audio (*MP3*) et les liens des vidéos (*Youtube*) sont disponibles sur la page <http://f6kgl-f5kff.fr/lespodcasts/index.html>



7-1) classes d'amplification



- **Ne pas confondre** montage du transistor (*électrode sur laquelle le signal n'est ni appliqué ni recueilli, voir chapitre 6*) et classe d'amplification (*tension de repos de l'amplificateur, voir ci-après*).
 - on peut « mixer » les montages avec les classes d'amplification
 - le montage d'amplificateur le plus courant est l'émetteur commun dont le signal d'entrée est alimenté en classe A
- La **tension de repos** est la tension en l'absence de signal à l'entrée du circuit.

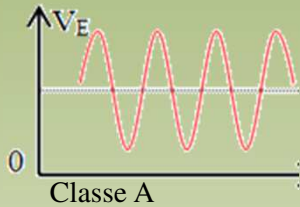


- Le niveau de cette tension par rapport à la plage de fonctionnement de l'amplificateur définit la **classe d'amplification**.

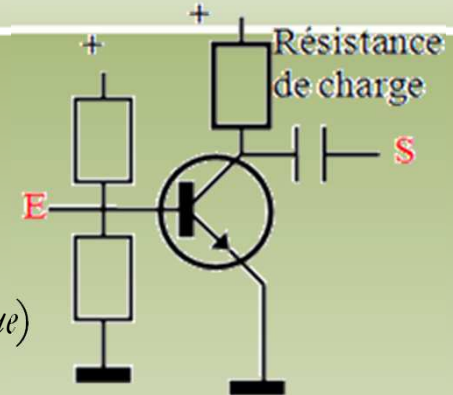


7-1) classes d'amplification

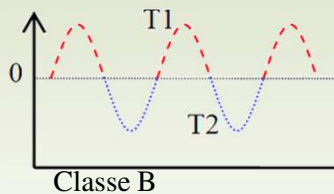
• Classe A :



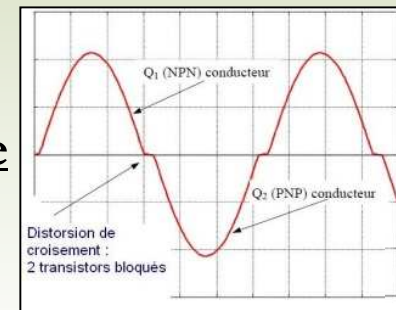
- la tension de repos **au milieu** de la plage de fonctionnement
- montage linéaire et très courant
- rendement faible (*50% maxi théorique, 30% en pratique*)
- *le déphasage du signal de 180° est dû au montage en émetteur commun (et non pas à la classe d'amplification)*



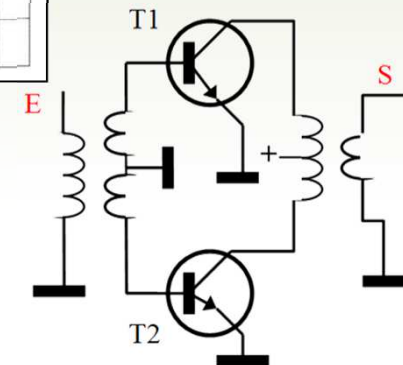
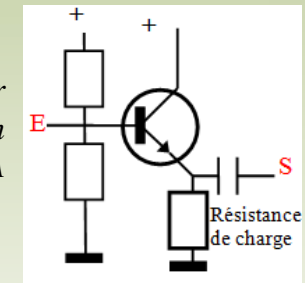
• Classe B



- utilise 2 transistors qui amplifient chacun une alternance du signal.
- la tension de repos est **à la limite** de la plage de fonctionnement
- encombrant et difficile à régler
- harmoniques impaires (3F, 5F)
- rendement moyen (*78,6% en théorie, 50% en pratique*)
- nécessite des transistors appairés et/ou complémentaires (PNP/NPN)



Montage en collecteur commun, amplification en classe A

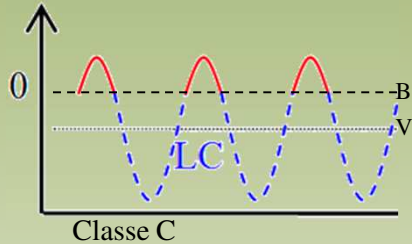


Voir pages **CNFRA** (Radio-REF nov. 2012)

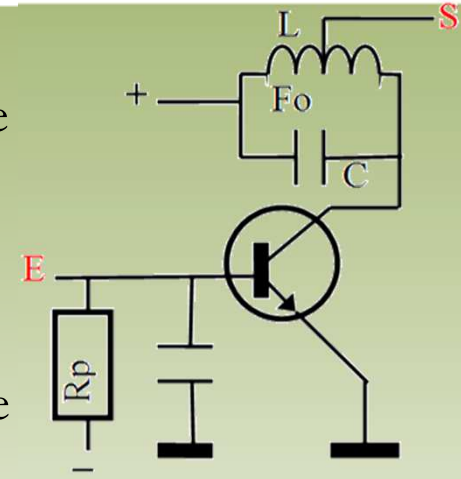


7-1) classes d'amplification

• Classe C



- la tension de repos est **en dessous** de la plage de fonctionnement
- montage peu courant (CW, FM)
- fort rendement (80% et +)
- génère un fort niveau d'harmoniques
- seule une partie du signal est amplifiée le reste du signal est restitué par le circuit oscillant
- *pas de courant de repos (le transistor reste bloqué jusqu'à la tension B)*



• Classe D (impulsion à largeur variable - PWM)

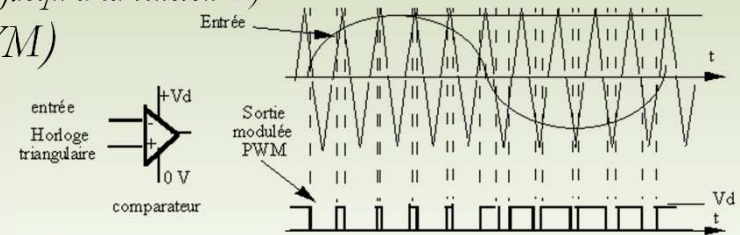
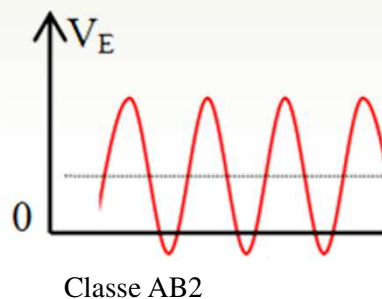
- *utilisée essentiellement en BF*
- *montage avec un ampli op (comparateur)*

• Les autres classes se basent sur les principes

des 4 classes de base (A, B, C et D). Par exemple, on trouve les classes AB :

- la tension de repos est inférieure à celle de la classe A, ce qui augmente le rendement de l'amplificateur sans trop détériorer sa linéarité

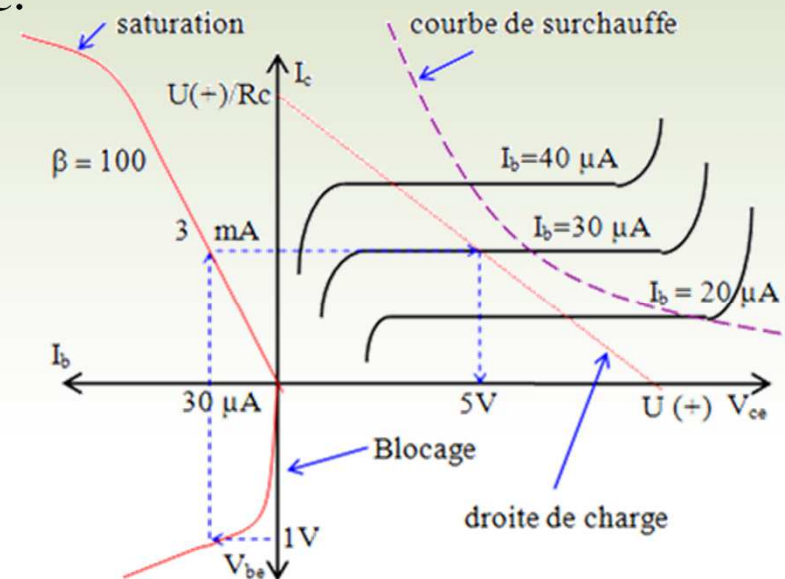
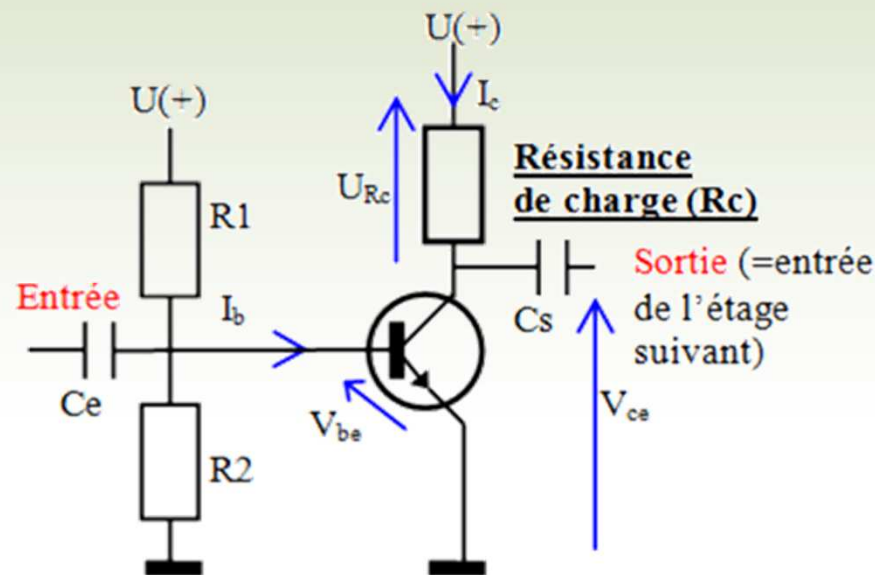
- **AB1** : pas d'absorption du courant de l'étage précédent amplificateur à haute impédance, utilisé en HF suivi d'un filtre
- **AB2** : absorption d'une partie du courant de l'étage précédent, utilisé en HF comme les montages en classe C (CW, FM). Le signal à amplifier n'est pas intégralement compris dans la plage d'amplification (écrêtage du bas du signal)





7-2) résistance de charge

- La **résistance de charge** est le dispositif normalement utilisé pour récupérer les variations de tension aux bornes de sortie du transistor. Cette résistance est responsable d'un déphasage de 180° du montage en émetteur commun.
- Les paramètres de fonctionnement du transistor et du montage sont regroupés dans un graphique qui détermine la tension de sortie issue de la **droite de charge** en fonction de la tension d'entrée.

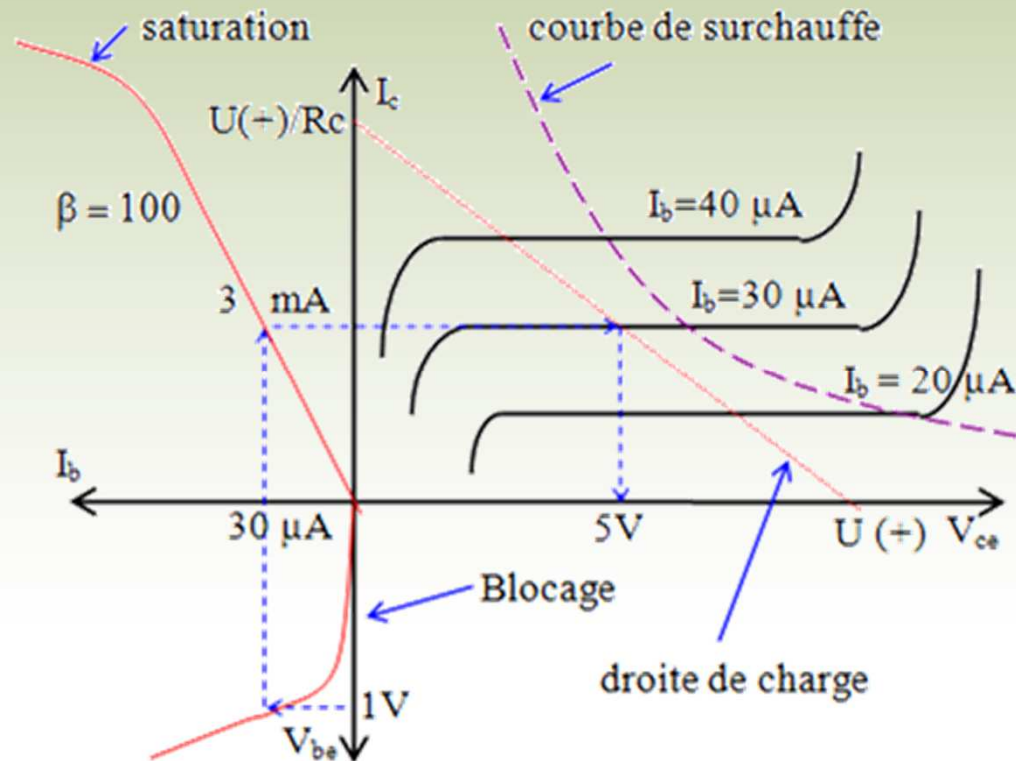




7-2) résistance de charge

- **Application pratique :**

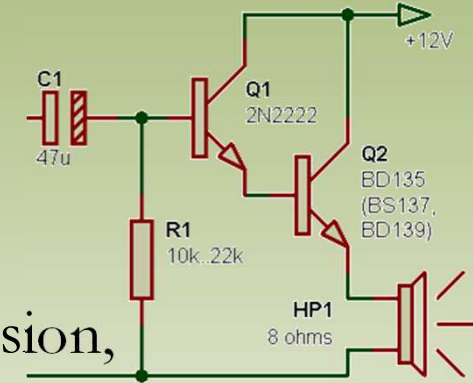
- Impédance d'entrée : $1\text{ V} / 30\ \mu\text{A} = 33\ \text{k}\Omega$ sur la base
- Impédance de sortie : $5\text{ V} / 3\ \text{mA} = 1666\ \Omega$ sur le collecteur
- Résistance de charge : $(12\text{ V} - 5\text{ V}) / 3\ \text{mA} = 2333\ \Omega$





7-3) liaisons entre les étages

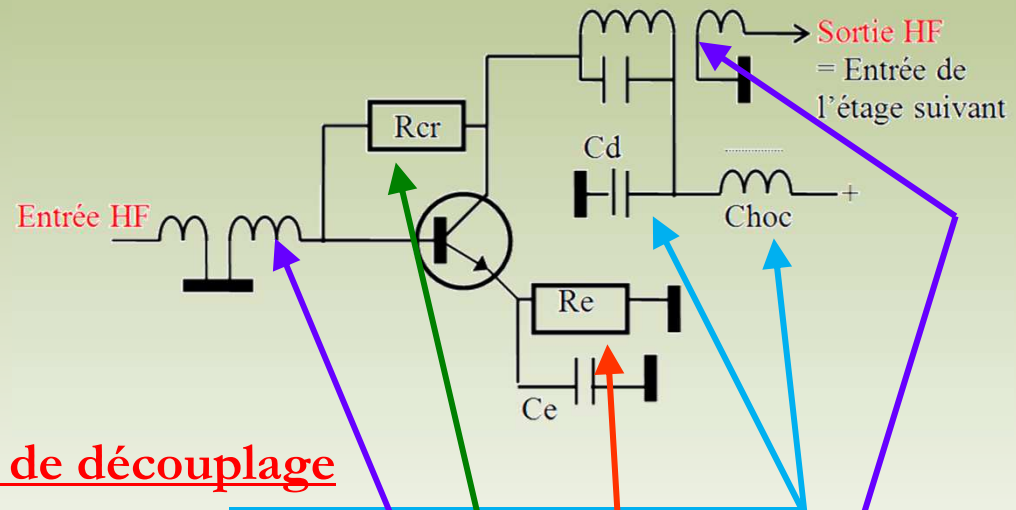
- Les différents étages d'un montage peuvent être liés de différentes manières
 - En **direct**, le collecteur est relié à la base du transistor de l'étage suivant
 - Mais ce montage reste peu utilisé
- Pour éviter des problèmes de niveau de tension,
 - **en courant continu**
 - une ou plusieurs **diodes** sont rajoutées **en série**
 - **en courant alternatif**
 - un **condensateur** en série séparera les étages
 - afin d'adapter des impédances, la liaison par **transformateur** est utilisée
- Un étage spécifique qui prend le nom de **séparateur** (ou **tampon**) sert à adapter les niveaux de puissances ou de tensions et/ou les impédances entre deux étages.





7-4) amplificateur RF (radio fréquences)

- L'amplificateur RF amplifie de la HF. Il est constitué de **filtres HF** (circuit bouchon) et de **circuits spécifiques** :

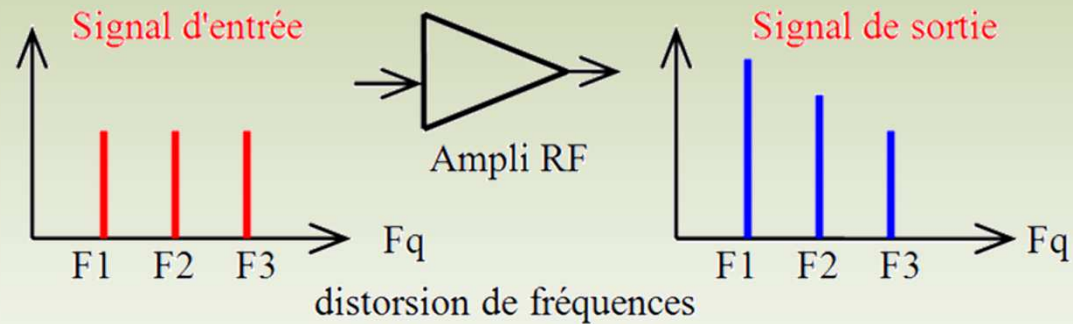


- sur l'alimentation
 - **condensateur de découplage**
 - **bobine de choc**
 - *mauvaise traduction de choke coil (littéralement bobine d'étouffement)*
- liaison par transformateur (**adaptation** des impédances)
- résistance de **contre-réaction**
- protection contre l'**emballement thermique**



7-4) amplificateur RF (radio fréquences)

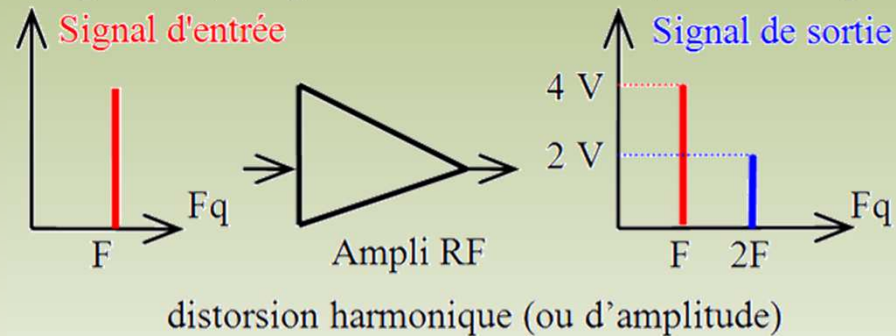
- Malgré les précautions prises, il arrive souvent qu'un amplificateur RF ne soit pas linéaire. Dans ce cas des **distorsions** se produisent : le signal de sortie n'est plus identique (proportionnel) à celui d'entrée.
- **Distorsion de fréquences**



- dans notre exemple, les fréquences élevées sont moins amplifiées que les fréquences basses.
- mais l'inverse peut se produire
- ou encore le cas où une bande de fréquence est plus (ou moins) amplifiée que les autres
- *ce type de distorsion ne génère pas trop de problèmes sauf si les fréquences sont proches*

7-4) amplificateur RF (radio fréquences)

- **Distorsion harmonique** (ou d'amplitude)
 - s'il n'existe qu'une fréquence en entrée, plusieurs **signaux harmoniques** (en général 2F et 3F) seront présents en sortie

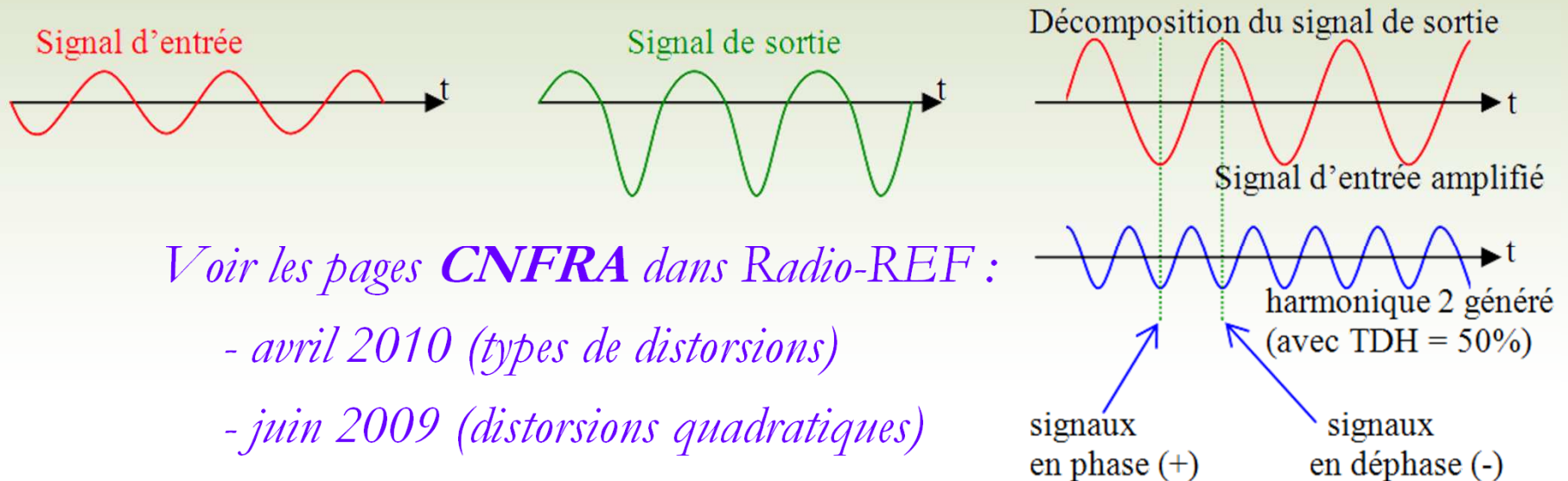


- Le **taux de distorsion harmonique** (TDH, en %) est le rapport obtenu en divisant
 - la tension du signal parasite (*harmonique n*)
 - par la tension du signal désiré (*fréquence F*) **$TDH (\%) = U_{nF} (V) / U_F (V)$**
 - On doit donc définir la tension parasite (2F ou 3F par exemple)
 - Lorsque l'on parle de *taux de distorsion harmonique total*, on prend en compte l'ensemble des signaux parasites. On n'additionne pas leur tension mais on retient pour les signaux parasites : **$U = \sqrt{(2F^2 + 3F^2 + \dots)}$** , c'est-à-dire la somme des puissances exprimées en Volts.



7-4) amplificateur RF (radio fréquences)

- Les signaux parasites sont produits par la **déformation** du signal d'entrée après son passage dans l'amplificateur mal réglé (
 - par exemple, dans le schéma ci-dessous, saturation lors de l'amplification des alternances de sortie positives.
 - le signal parasite est un harmonique 2 avec TDH = 50%
 - le signal de sortie est déphasé de 180° (montage en émetteur commun)
 - la déformation du signal est asymétrique (comme dans l'exemple ci-dessous) lorsque la ou les sinusoides parasites sont des harmoniques pairs (2, 4, ...)





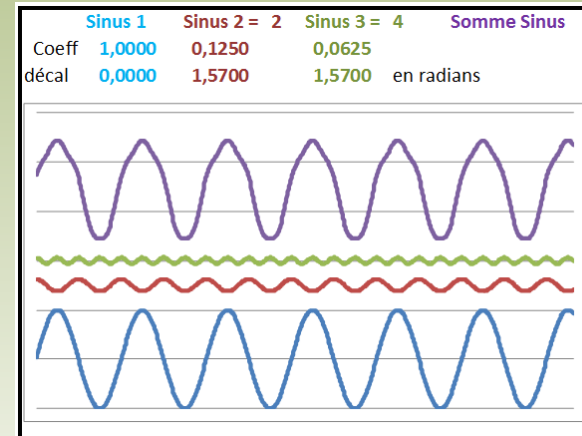
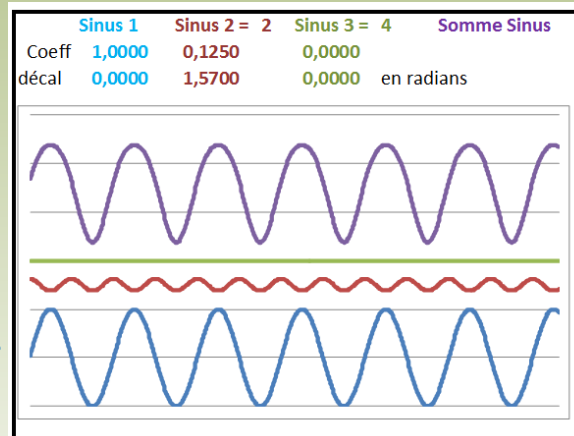
7-4) amplificateur RF (radio fréquences)

- la fonction Graphiques d'Excel simule des distorsions harmoniques
 - <http://f6kgl.free.fr/Excel.xlsx> : les données, résultat et graphique sont dans l'onglet « distorsions ». Have fun !

$$TDH\ 1^{ère}\ harmonique = 12,5\% \quad + TDH\ 2^{ème}\ harmonique = 6,25\%$$

Harmoniques
paires (2F et 4F)
+ déphasage $\pi/2$ ou 90°

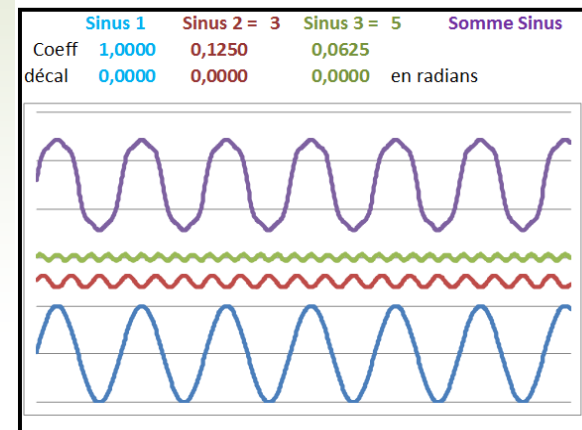
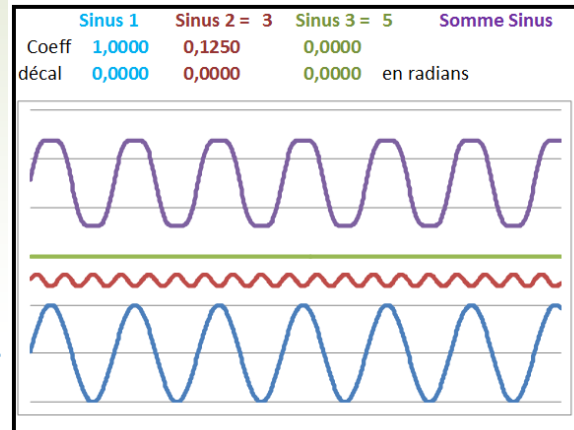
signal d'entrée



signal de
sortie
asymétrique

Harmoniques
impaires (3F et 5F)
sans déphasage

signal d'entrée



signal de
sortie
symétrique



7-4) amplificateur RF (radio fréquences)

- **Distorsion quadratique** (ou distorsion d'intermodulation)
 - l'amplificateur non linéaire se comporte en partie comme un mélangeur (*voir § 7-7, séance de la semaine prochaine*) générant des **produits du second ordre** (ou produits quadratiques).
 - si on applique deux fréquences $F1$ et $F2$ à l'entrée d'un étage non linéaire, on trouvera en sortie :
 - **$F1$ et $F2$** (c'est normal pour un amplificateur),
 - **$2 \times F1$ et $2 \times F2$** (comme l'amplificateur à distorsion d'amplitude)
 - et les mélanges « classiques » **$F1 + F2$ et $F1 - F2$** (ou $F2 - F1$).
- **Distorsion cubique**
 - un circuit amplificateur génère des distorsions cubiques (ou **distorsions du 3ème ordre**) lorsque, en plus des fréquences $F1$ et $F2$, on trouve en sortie des mélanges qui font intervenir trois fois les fréquences présentes à l'entrée :
 - **$3F1$ et $3F2$,**
 - **$2F1+F2$ et $2F2+F1$**
 - **$2F1-F2$ et $2F2-F1$** *ces deux derniers mélanges sont difficiles à éliminer*

} Élimination grâce à un filtre passe bas en sortie



7-4) amplificateur RF (radio fréquences)

- **Exemples :**

- A l'entrée d'un amplificateur non linéaire générant des distorsions quadratiques, les fréquences 1 kHz et 100 kHz sont présentes. Quelles sont les fréquences en sortie ?

- Réponse : **1, 2, 99, 100, 101 et 200 kHz**

- Même question avec 99 et 100 kHz

- Réponse : **1, 99, 100, 198, 199 et 200 kHz**

- L'amplificateur génère à présent des distorsions cubiques. Quelles sont les fréquences en sortie (avec toujours 99 et 100 kHz) ?

- Réponse :

98 ($2F_1 - F_2$), **99** (F_1), **100** (F_2), **101** ($2F_2 - F_1$)

297 ($3F_1$), **298** ($2F_1 + F_2$), **299** ($2F_2 + F_1$) et **300** ($3F_2$) kHz. Ces mélanges peuvent être éliminés par filtrage après l'amplificateur.



Les questions posées à l'examen

- **Quelle est la classe d'amplification qui a le courant moyen le plus élevé ?**
 - classe A – *bonne réponse*
 - classe B
 - classe C
 - classe D

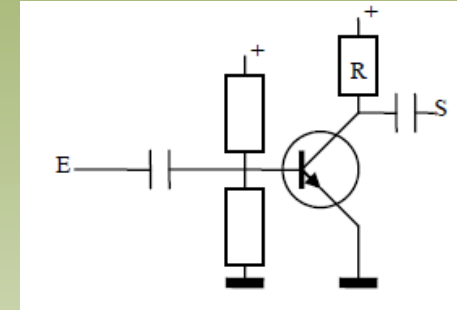
La classe A possède la tension de repos la plus élevée et donc le courant moyen le plus élevé.

- **Quelle classe d'amplification a une tension de repos nulle ?**
 - classe A
 - classe AB
 - classe B – *bonne réponse*
 - classe C
- **Quel type de modulation est adapté à un amplificateur monté en classe C ?**
 - AM
 - AM et BLU
 - BLU
 - CW et FM – *bonne réponse*



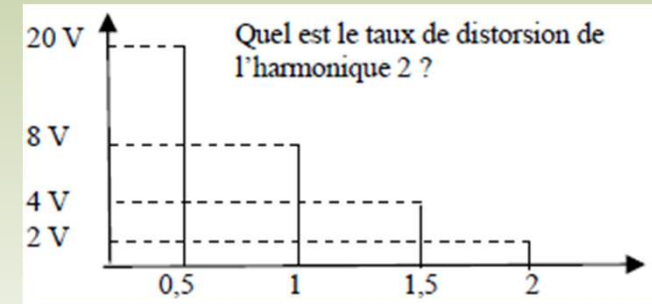
Les questions posées à l'examen

- Quel est le nom de la résistance marquée « R » ?
 - résistance de charge – *bonne réponse*
 - résistance de contre-réaction
 - résistance d'équilibrage
 - résistance d'alimentation.



- Quel est le taux de distorsion de l'harmonique 2 ?
 - 10 %
 - 20 %
 - 25 %
 - 40 % – *bonne réponse*

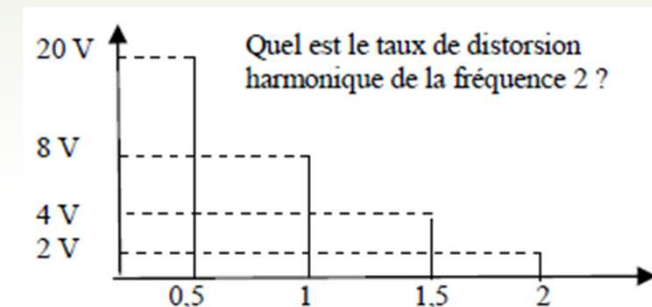
La fréquence de référence est 0,5. L'harmonique 2 est donc 1,0. TDH = 8 / 20 = 0,4 = 40%)



- Quel est le taux de distorsion harmonique de la fréquence 2 ?
 - 8 %
 - 10 %
 - 40 %
 - 80 %

TDH = 2/20 = 0,1 = 10%.

Attention, la question porte sur la fréquence 2 et non pas sur l'harmonique 2...





Les questions posées à l'examen

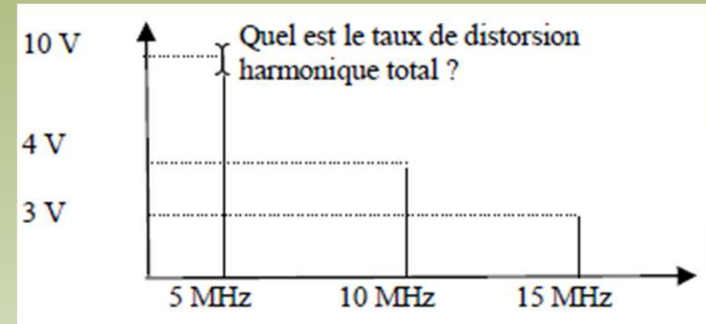
- **Quel est le taux de distorsion harmonique total ?**

- 30 %
- 40 %
- 50 % – *bonne réponse*
- 70 %

TDH pour 10 MHz : $TDH1 = 4 / 10 = 0,4 = 40\%$

TDH pour 15 MHz : $TDH2 = 3 / 10 = 0,3 = 30\%$

TDH total = $\sqrt{TDH1^2 + TDH2^2} = 50\%$



- **Avec quel instrument mesure-t-on les harmoniques?**

- un multimètre numérique
- un multimètre analogique
- un analyseur de spectre – *bonne réponse*
- un bolomètre

Un bolomètre est un appareil de mesure de puissance fonctionnant à partir d'un thermomètre (impossible d'isoler une harmonique par rapport à la fréquence fondamentale avec cet appareil)

- **Effet d'une self de choc dans un étage RF ?**

- bloquer le passage du courant HF – *bonne réponse*
- éliminer les harmoniques
- augmenter la puissance
- éviter les auto-oscillations

La self de choc évite que de la HF ne remonte dans les autres étages via l'alimentation.



Chapitre 7 – 1ère partie

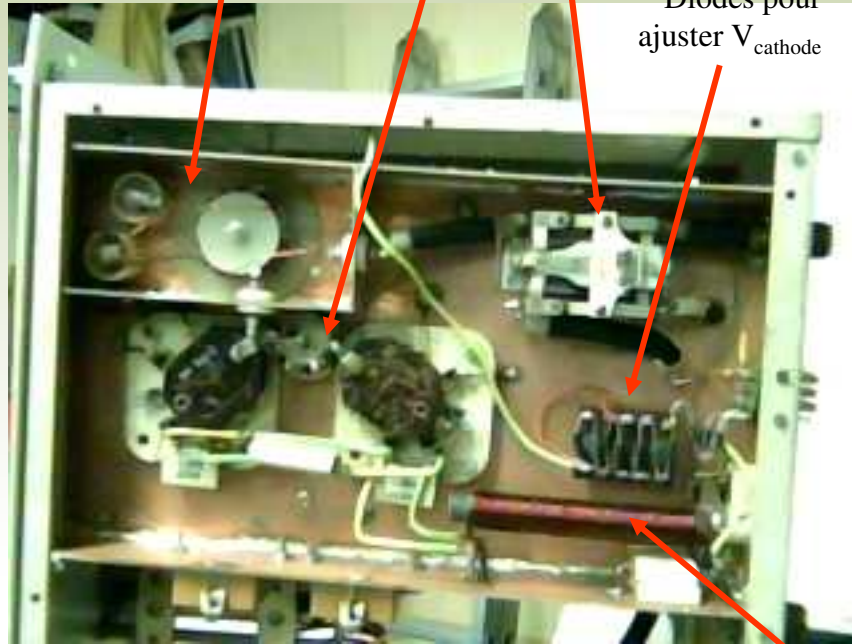
Le montage de la soirée

- Présentation d'un amplificateur décimétrique de 500 W fonctionnant avec deux tubes 813 en parallèle montés en classe AB, grilles à la masse (*équivalent à « base commune »*)

Circuit d'entrée et condensateur de neutrodynage

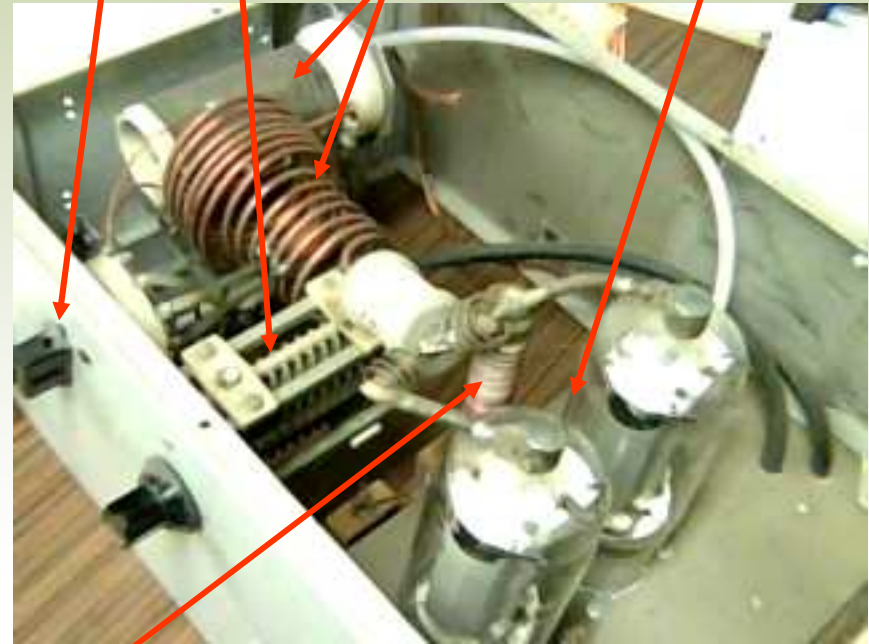
Relais de commutation

Diodes pour
ajuster V_{cathode}



Les deux pentodes 813 QB2/250

Sélecteur, condensateur et bobines du filtre en Pi



Bobines de choc

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Le cours de F6KGL

était présenté par F6GPX

Bon week-end à tous et à la semaine prochaine !

Retrouvez-nous tous les vendredis soir au Radio-Club de la Haute Île à Neuilly sur Marne (93) F5KFF-F6KGL, sur 144,575 MHz (FM) ou sur Internet.

Tous les renseignements sur ce cours et d'autres documents sont disponibles sur notre site Internet, onglet "*Formation F6GPX*"

f6kgl.f5kff@free.fr

<http://www.f6kgl-f5kff.fr>