

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

Bienvenue sur le cours de F6KGL

La séance de ce soir porte sur

Technique

Chapitre 7 – Première partie

Amplificateurs Radio Fréquences (RF)

Ce document a servi pour le cours enregistré le **28/04/2023**.

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

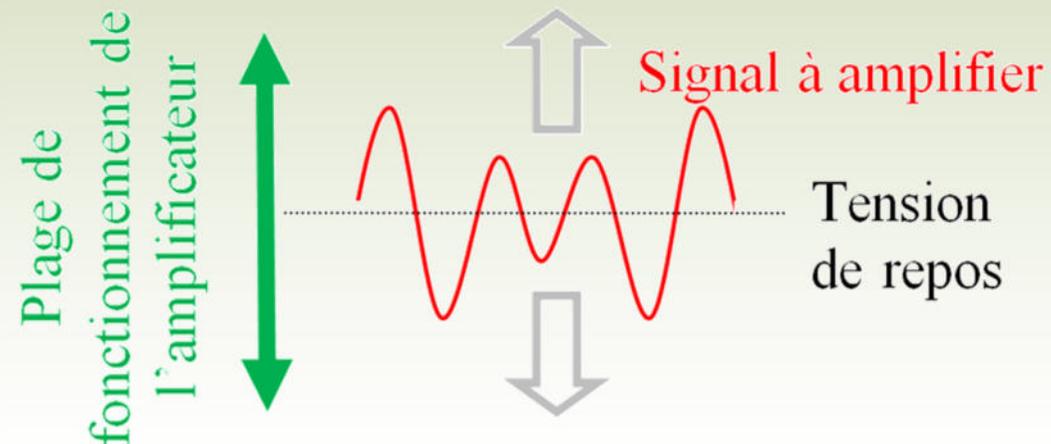
Les documents de notre site Internet sont mis à disposition selon les termes de la
Licence <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



7-1) classes d'amplification



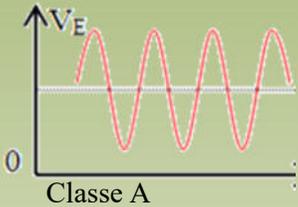
- **Ne pas confondre** montage du transistor (*électrode sur laquelle le signal n'est ni appliqué ni recueilli, voir chapitre 6*) et classe d'amplification (*tension de repos de l'amplificateur, voir ci-après*).
 - on peut « mixer » les montages avec les classes d'amplification
 - le montage d'amplificateur 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.



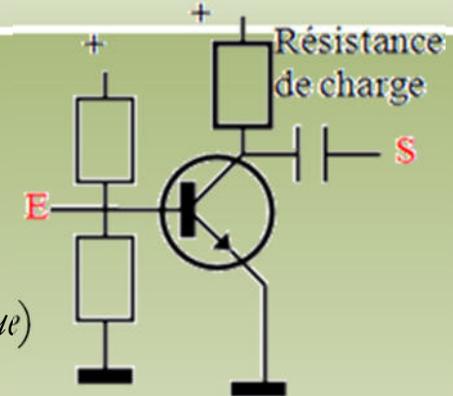
- Le niveau de cette tension par rapport à la plage de fonctionnement de l'amplificateur définit la **classe d'amplification**.

7-1) classes d'amplification

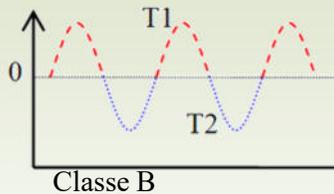
• Classe A :



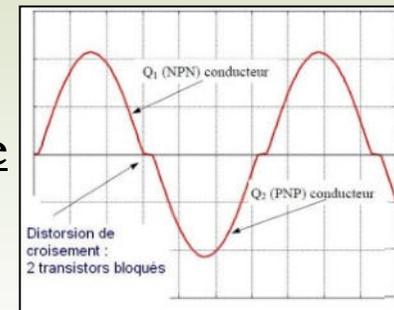
- la tension de repos **au milieu** de la plage de fonctionnement
- montage linéaire et très courant
- rendement faible (*50% maxi théorique, 30% en pratique*)
- *le déphasage du signal de 180° est dû au montage en émetteur commun (et non pas à la classe d'amplification)*



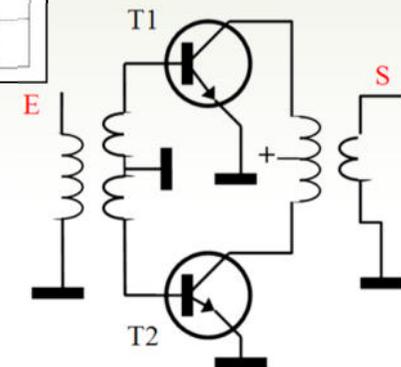
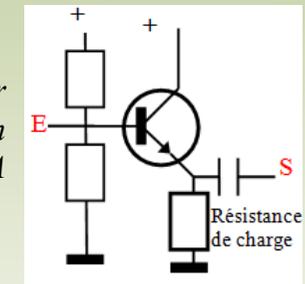
• Classe B



- 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

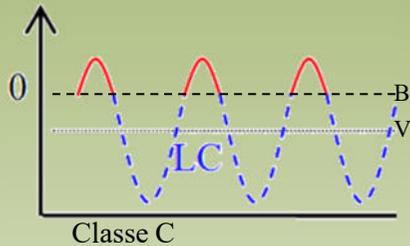


Voir pages **CNFRA** (Radio-REF nov. 2012)

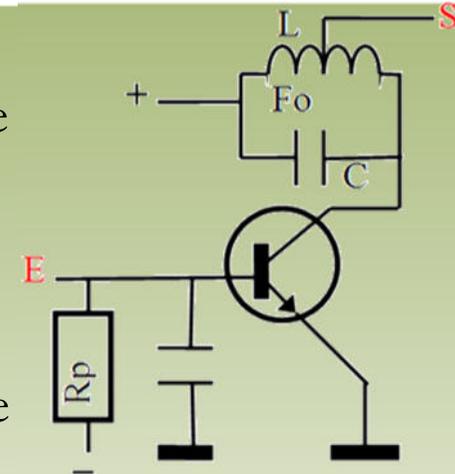


7-1) classes d'amplification

• 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)

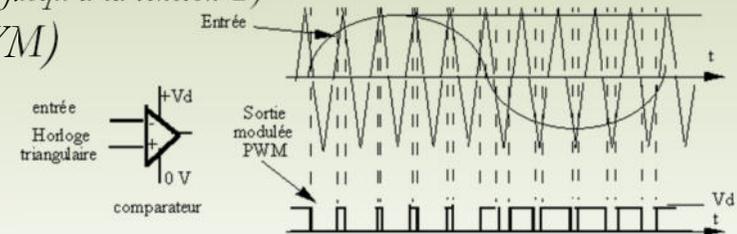
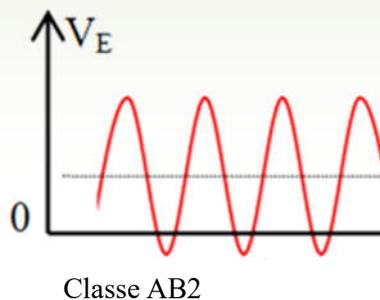
- *utilisée essentiellement en BF*
- *montage avec un ampli op (comparateur)*

• 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

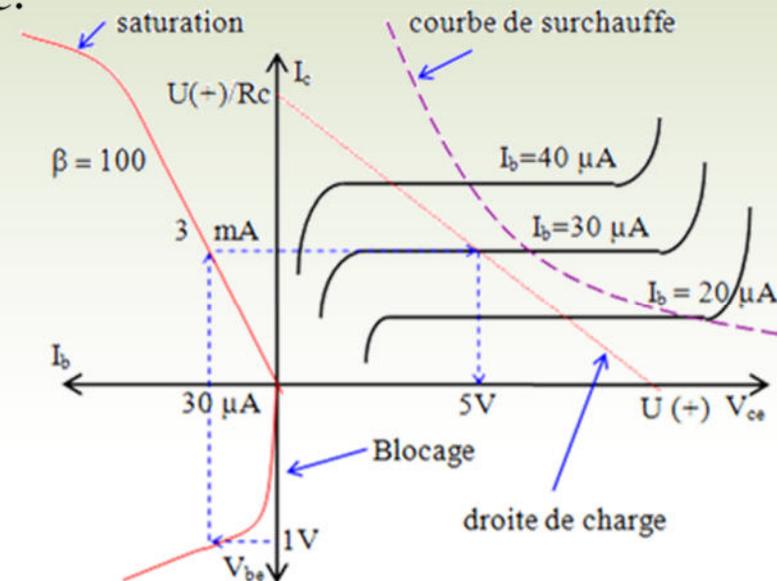
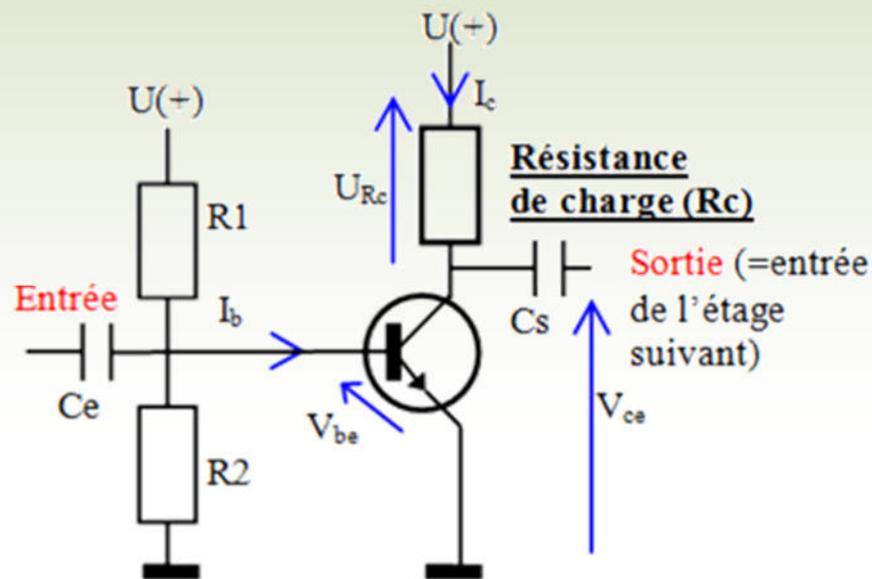
- **AB1** : pas d'absorption du courant de l'étage précédent amplificateur à haute impédance, utilisé en HF suivi d'un filtre
- **AB2** : absorption d'une partie du courant de l'étage précédent, utilisé en HF comme les montages en classe C (CW, FM). Le signal à amplifier n'est pas intégralement compris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





7-2) résistance de charge

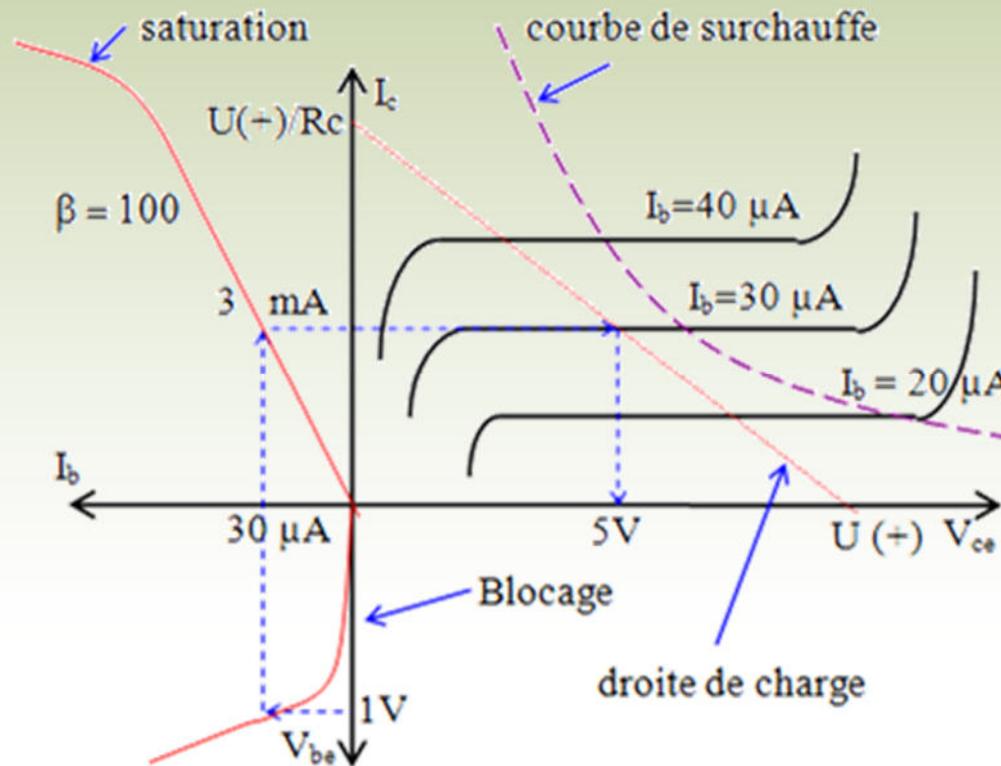
- La **résistance de charge** est le dispositif normalement utilisé pour récupérer les variations de tension aux bornes de sortie du transistor. Cette résistance est responsable d'un déphasage de 180° du montage en émetteur commun.
- Les paramètres de fonctionnement du transistor et du montage sont regroupés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





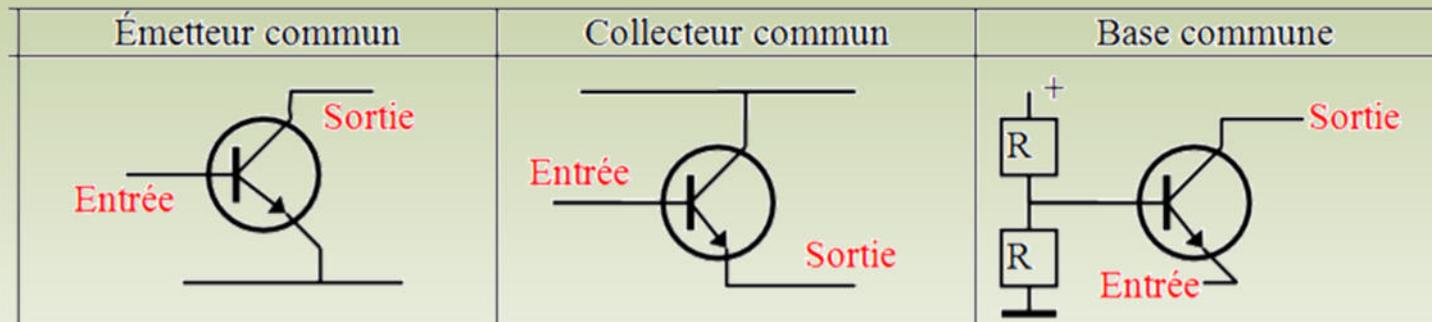
7-2) résistance de charge

- **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 : $(12\text{ V} - 5\text{ V}) / 3\ \text{mA} = 2333\ \Omega$



7-2) résistance de charge

- Pourquoi le montage « émetteur commun » inverse-t-il le signal en sortie (déphasage de 180°) et pas les autres montages ?
 - Rappel des 3 montages fondamentaux (voir § 6.3)

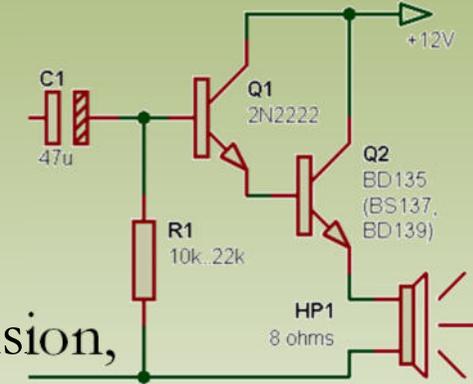


- *EC : la résistance de charge (R_c) est sur le collecteur : si la tension en entrée augmente, I_b augmente et I_c augmente. La tension sur R_c augmente mais la tension en sortie diminue (déphasage de 180°)*
- *CC : la résistance de charge (R_c) est sur l'émetteur : quand I_b augmente, I_e augmente et la tension sur R_c augmente*
- *BC : la résistance de charge (R_c) est sur le collecteur : si la tension en entrée augmente, la tension V_{be} diminue donc I_b et I_c diminuent, si bien que la tension sur R_c diminue et la tension en sortie augmente*



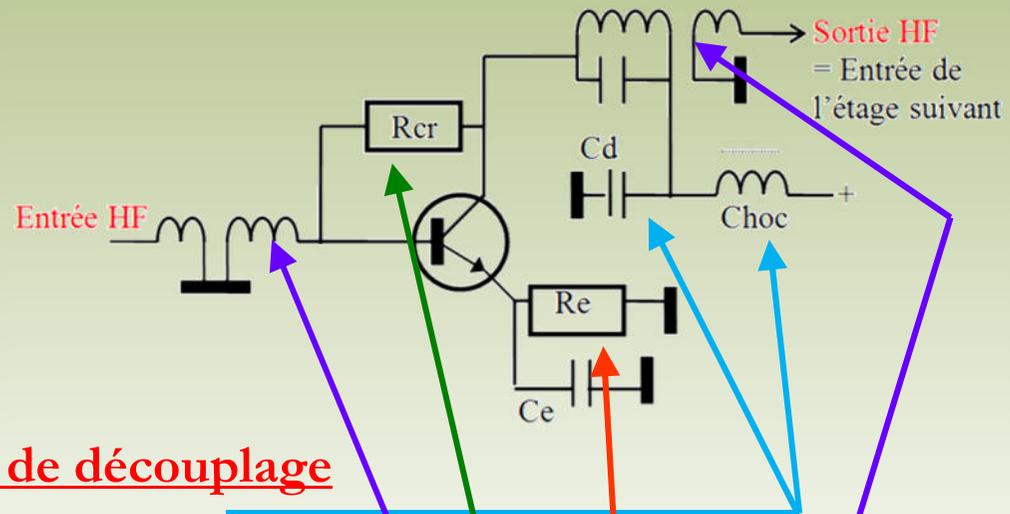
7-3) liaisons entre les étages

- 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)

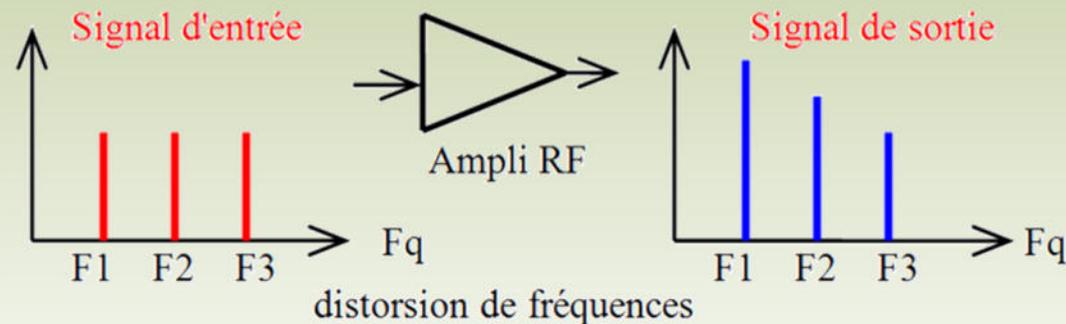
- L'amplificateur RF amplifie de la HF. Il est constitué de **filtres HF** (circuit bouchon) et de **circuits spécifiques** :



- 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)

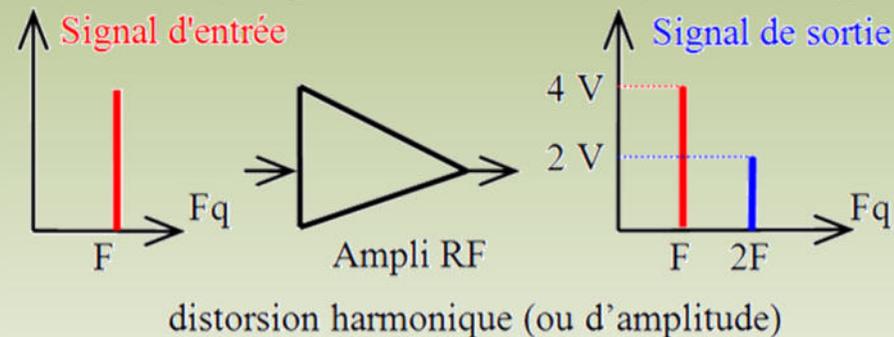
- Malgré les précautions prises, il arrive souvent qu'un amplificateur RF ne soit pas linéaire. Dans ce cas des **distorsions** se produisent : le signal de sortie n'est plus identique (proportionnel) à celui d'entrée.
- **Distorsion de fréquences**



- 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*
 - *cette distorsion survient notamment quand il y a un circuit accordé (filtres LC, RC ou RL)*

7-4) amplificateur RF (radio fréquences)

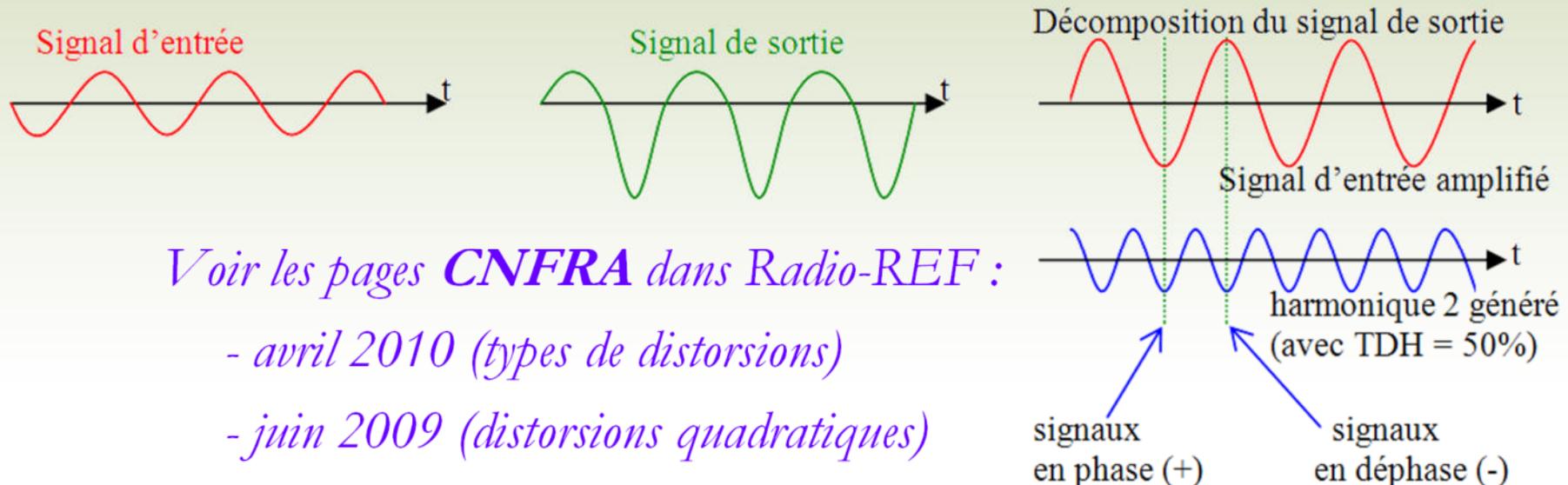
- **Distorsion harmonique** (ou d'amplitude)
 - s'il n'existe qu'une fréquence en entrée, plusieurs **signaux harmoniques** (en général 2F et 3F) seront présents en sortie



- 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 sinusoïdes parasites sont des harmoniques pairs (2, 4, ...)



Voir les pages **CNFRA** dans Radio-REF :

- avril 2010 (types de distorsions)

- juin 2009 (distorsions quadratiques)

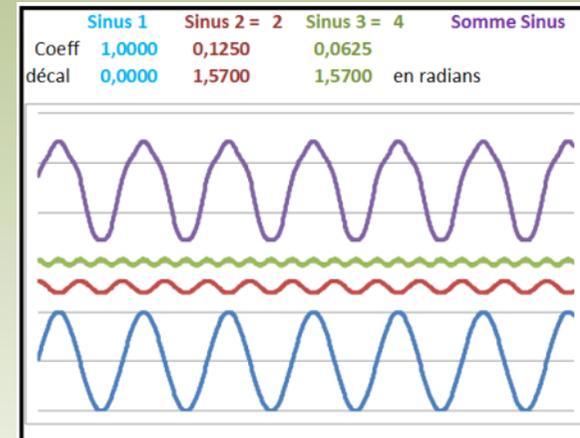
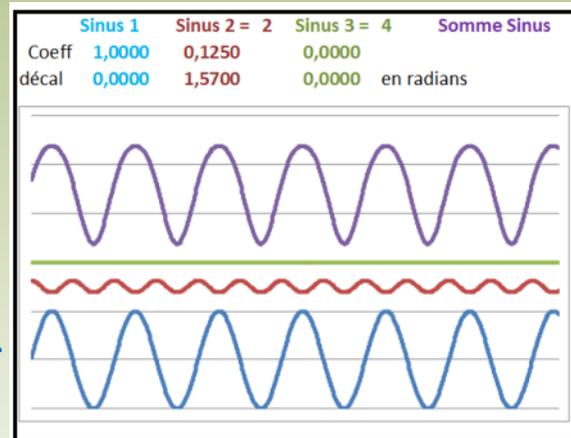
7-4) amplificateur RF (radio fréquences)

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

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

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

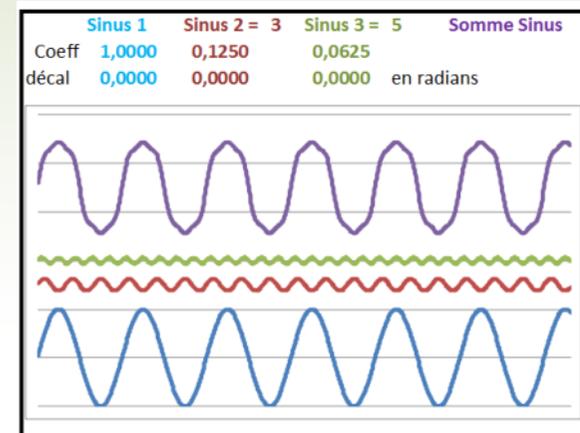
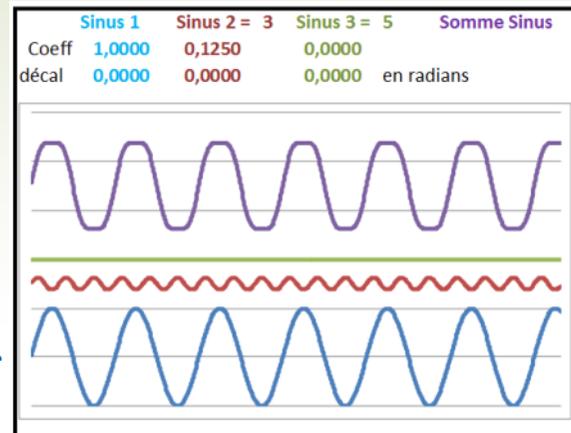
signal d'entrée



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 **$2F2+F1$** } *Élimination grâce à un filtre passe bas en sortie*
 - **$2F1-F2$** et **$2F2-F1$** } *ces deux derniers mélanges sont difficiles à éliminer*

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** ($2F_2 - F_1$)

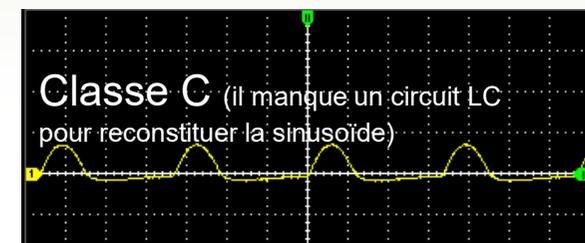
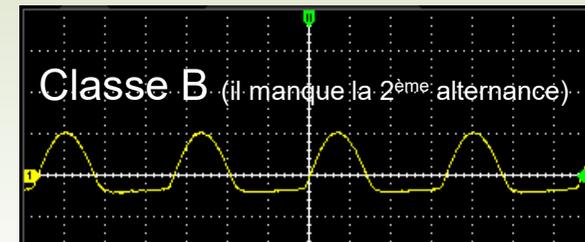
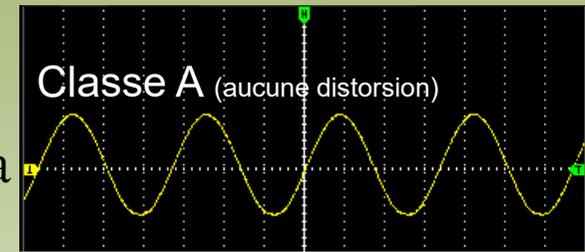
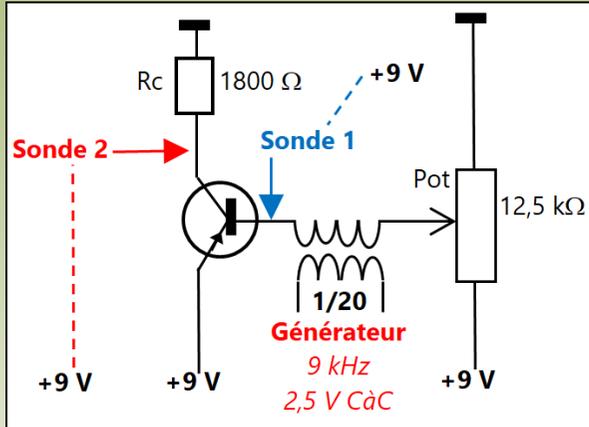
297 ($3F_1$), **298** ($2F_1 + F_2$), **299** ($2F_2 + F_1$) et **300** ($3F_2$) kHz. Ces mélanges peuvent être éliminés par filtrage après l'amplificateur.

Chapitre 7 – 1ère partie

Visualisation des classes d'amplification



- Présentation des différentes classes d'amplification à partir de la modification de la tension de repos définie par la position de Pot.



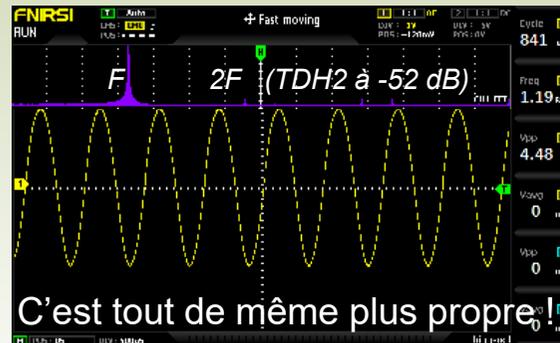
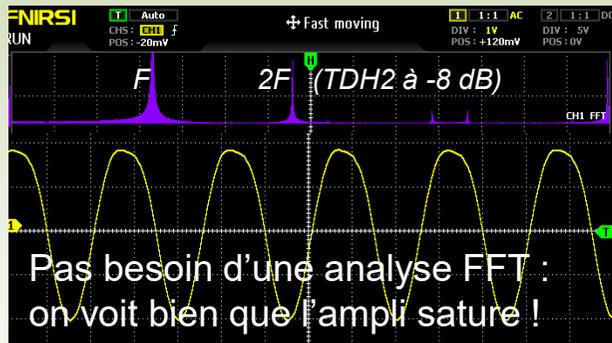
↑ Tension de repos (position de P1) En se rapprochant de 0V
 ↓ En se rapprochant de +9V

Chapitre 7 – 1ère partie

Vérification de la linéarité d'un ampli



- Si le signal à amplifier n'est pas sinusoïdal, il est difficile de vérifier qu'un amplificateur est bien linéaire...
 - 1) vérifier que le signal à amplifier ne dépasse pas la plage du signal sinusoïdal
 - tension CàC du signal sinusoïdal > tension CàC du signal à amplifier
 - même tension de repos
 - 2) ajuster la tension de repos pour que le signal sinusoïdal soit « propre »
 - 3) vérifier/ éliminer les TDH avec la fonction FFT de l'oscilloscope



Calcul du TDH2 (en tension) :
 Rapport de tension = $10^{(-52/20)}$
 $= 10^{(-2,6)} = 1/400 = 0,25\%$
 TDH3 = -60 dB, négligeable.
 Pour améliorer l'ampli, il faut ajouter un filtre passe bas en sortie (6 dB par éléments actifs et par octave, soit TDH2 = -64dB (<0,07%) avec un simple filtre LC)

Un signal non sinusoïdal sera parfaitement reproduit, il sera juste inversé puisque le transistor est monté en émetteur commun

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 "*Les cours*" puis "*Certificat Radioamateur*"

f6kgl.f5kff@free.fr

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