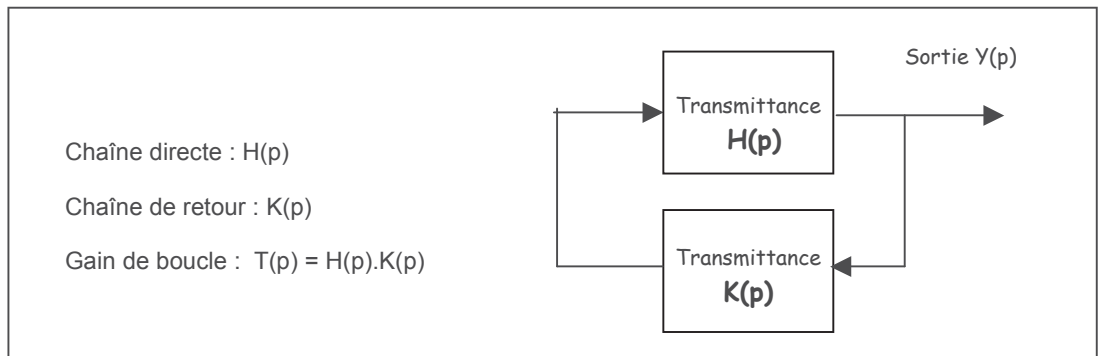


1) Condition d'oscillation :

L'oscillateur sinusoïdal est un système bouclé placé volontairement dans un état d'instabilité. Il est constitué d'une chaîne directe $H(p)$ apportant de l'amplification et d'un quadripôle de réaction $K(p)$.

Figure 1.
Structure d'un oscillateur.



Pour qu'un système bouclé oscille, il faut qu'il existe une fréquence f_0 ou une pulsation ω_0 pour laquelle le gain de boucle soit égal à 1 : c'est la **condition de Barkhausen** :

$$\underline{T}(j\omega_0) = \underline{H}(j\omega_0) \underline{K}(j\omega_0) = 1 \quad \text{ou} \quad \ll \text{gain de boucle} = 1 \gg$$

qui se traduit en pratique par deux conditions :

$$\Rightarrow \text{sur le module} \quad |\underline{T}(j\omega_0)| = |\underline{H}(j\omega_0)| |\underline{K}(j\omega_0)| = 1 \quad \text{ou} \quad |\underline{H}(j\omega)| = 1/|\underline{K}(j\omega)|$$

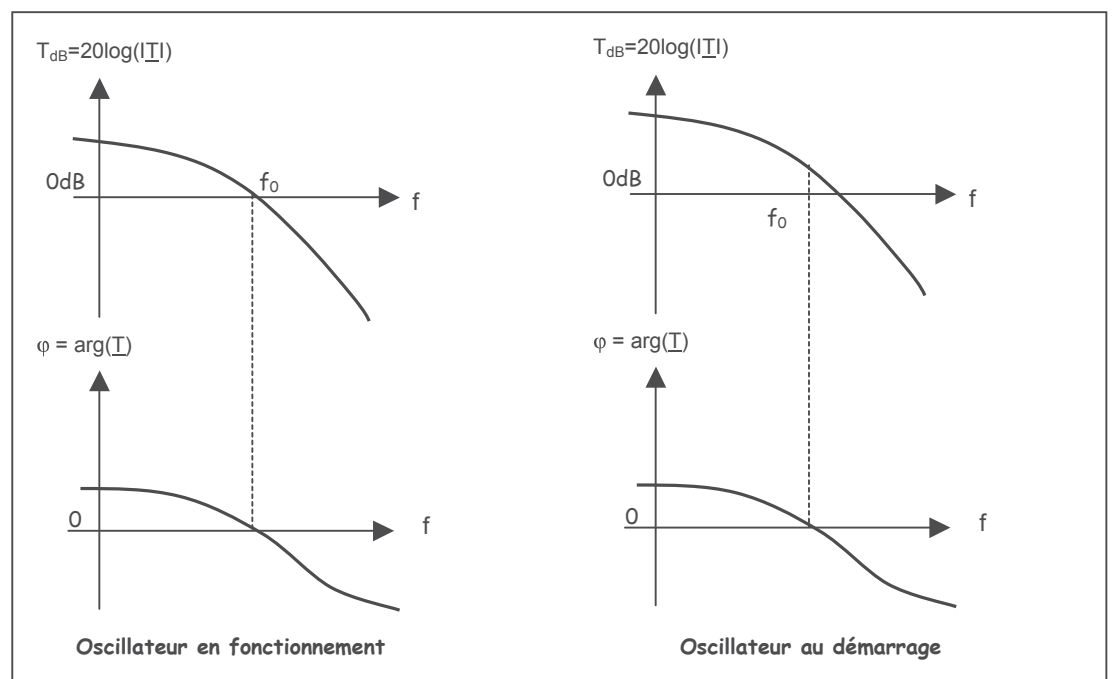
A la fréquence f_0 , l'amplification de la chaîne directe compense l'atténuation du quadripôle de réaction.

$$\Rightarrow \text{sur la phase} \quad \arg(\underline{T}(j\omega_0)) = \arg(\underline{H}(j\omega_0)) + \arg(\underline{K}(j\omega_0)) = 0$$

$$\text{ou} \quad \arg(\underline{H}(j\omega_0)) = -\arg(\underline{K}(j\omega_0))$$

A la fréquence f_0 , le déphasage de la chaîne directe compense le déphasage du quadripôle de réaction.

Figure 2.
Transmittance de boucle d'un oscillateur en fonctionnement et au démarrage.

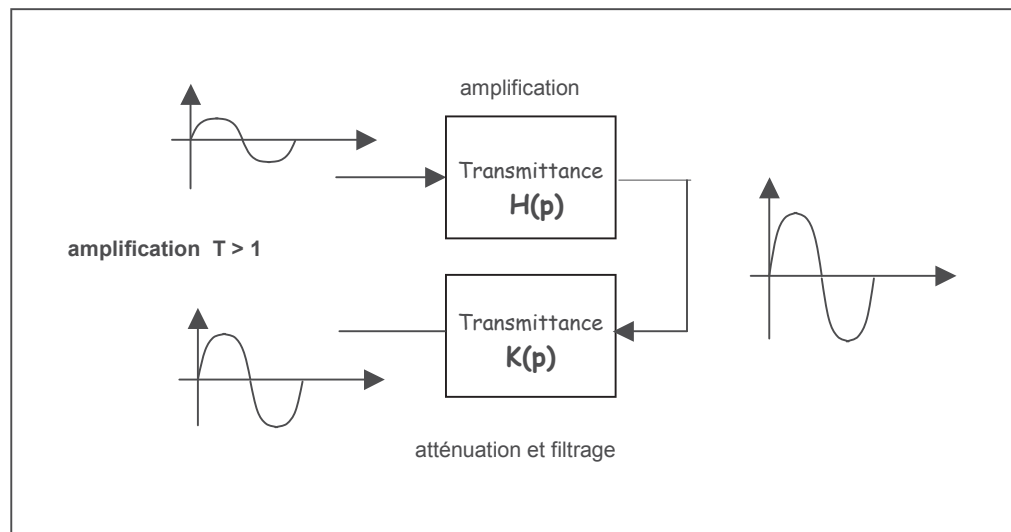


Remarque : pour que l'oscillation puisse démarrer, il faut avoir, au moment de la mise sous tension de l'oscillateur, une amplification un peu supérieure à l'atténuation du quadripôle de réaction

2) Démarrage de l'oscillation :

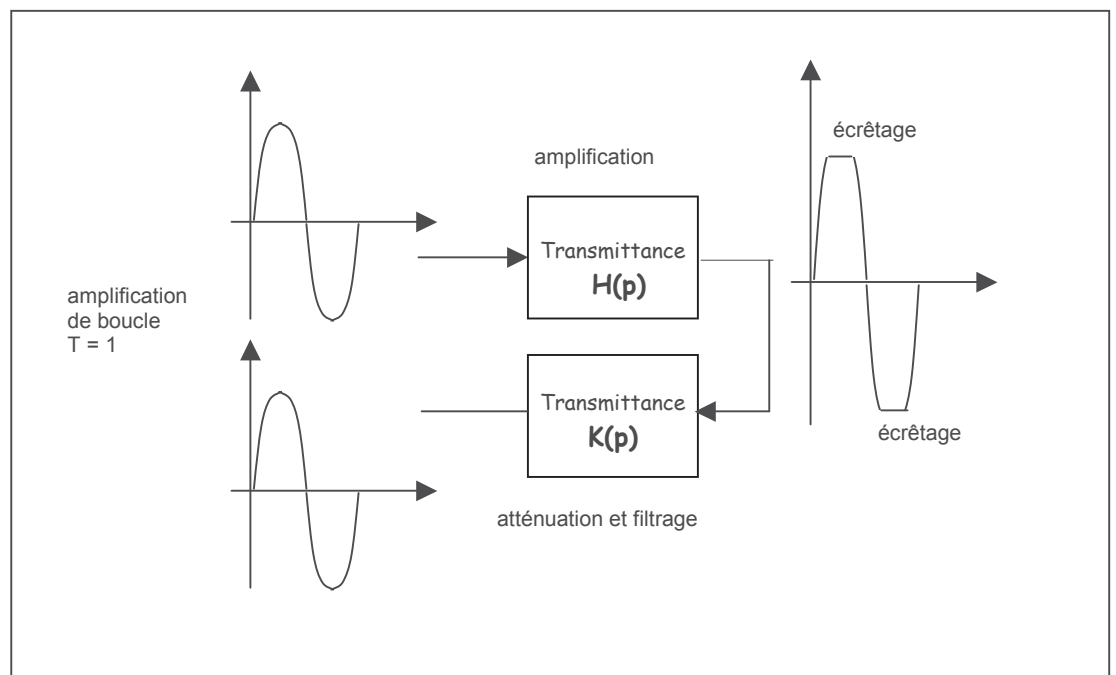
A la mise sous tension de l'oscillateur, les fluctuations dues à l'agitation thermique des électrons provoquent le démarrage de l'oscillation à condition qu'il existe une fréquence f_0 à laquelle le déphasage total est nul et l'amplification de la chaîne supérieure à 1.

Figure 3.
Dans le domaine linéaire, l'amplification est plus grande que 1.



Lorsque l'amplitude augmente, l'amplificateur sort de son domaine linéaire et le signal est forcément écrêté par l'étage d'amplification, ce qui conduit à une diminution de l'amplification qui sera ainsi ramenée à la valeur $T=1$.

Figure 4.
Aux fortes amplitudes, l'amplification est ramenée à 1 par écrêtage.



Lors du démarrage d'un oscillateur, on passe toujours de la situation $|H|K| > 1$ à la situation $|H|K| = 1$.

$$\frac{T(j\omega_0) = H(j\omega)K(j\omega_0) > 1}{\text{condition de démarrage}} \quad \longrightarrow \quad \frac{T(j\omega_0) = H(j\omega)K(j\omega_0) = 1}{\text{condition d'entretien des oscillations}}$$

Dans la pratique on peut :

- compter sur la saturation de l'amplificateur pour écrêter le signal aux fortes amplitudes
- prévoir un circuit de contrôle de gain qui diminue l'amplification aux fortes amplitudes

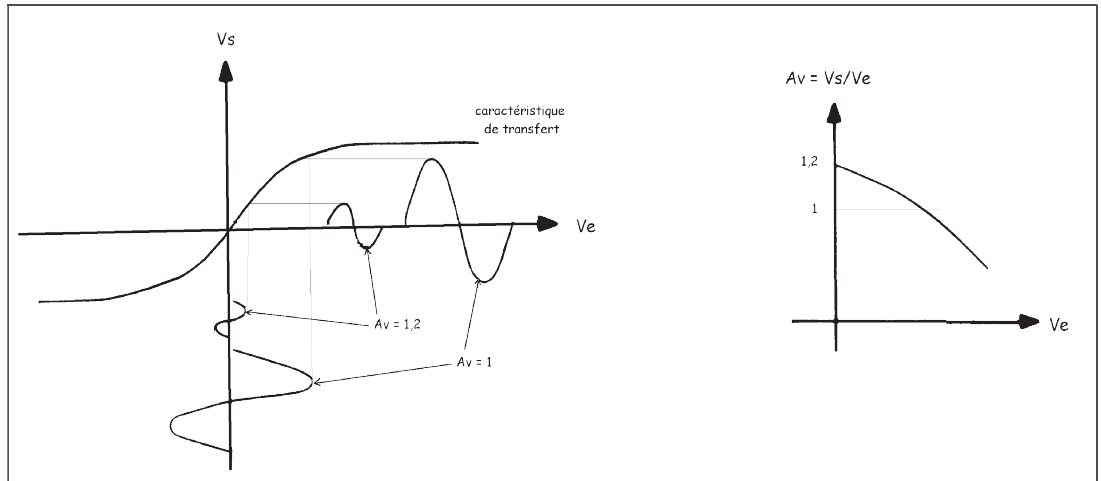
La pureté spectrale du signal obtenu est meilleure dans le deuxième cas.

3) Stabilisation de l'amplitude :

On préfère donc construire l'oscillateur autour d'un amplificateur dont l'amplification diminue aux fortes amplitudes.

⇒ un amplificateur à transistor a une caractéristique non-linéaire qui limite l'excursion aux fortes amplitudes sans faire apparaître d'écrtage brutal.

Figure 5.
Diminution du gain d'un ampli à transistor aux fortes amplitudes

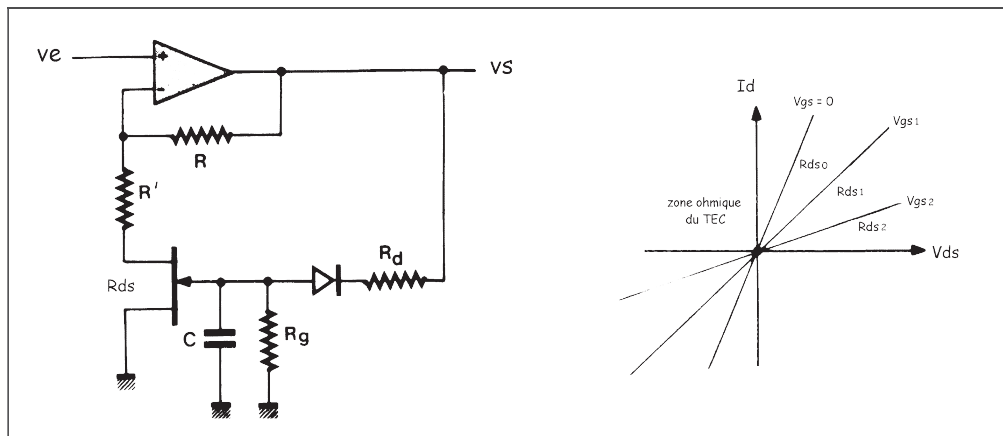


Si on prend soin d'avoir une amplification en petits signaux un peu supérieure à la valeur nécessaire pour l'entretien des oscillations, le signal sera à peine déformé par la courbure de la caractéristique.

⇒ avec un amplificateur opérationnel, l'écrtage est beaucoup plus brutal et apparaît dès que la tension de sortie arrive au niveau des butées de l'Aop.

Il est donc nécessaire d'ajouter des éléments non-linéaires, voire un contrôle automatique de gain qui fait chuter l'amplification aux amplitudes élevées.

Figure 6.
CAG à TEC associé à un non-inverseur.



La diode associée à Rd, Rg et C produit une tension grille négative qui augmente avec l'amplitude du signal de sortie : $V_{gs} = KV_s$.

La résistance Drain-Source du TEC dépend, dans la zone ohmique, de la tension grille V_{gs} et de la tension de pincement V_p du Tec selon la relation :

$$R_{ds} = \frac{R_{ds0}}{1 - \frac{V_{gs}}{V_p}} \quad \text{et l'amplification s'écrit :} \quad A_v = 1 + \frac{R}{R' + R_{ds}} = 1 + \frac{R}{R' + \frac{R_{ds0}}{1 - \frac{KV_s}{V_p}}}$$

On constate que l'amplification du montage diminue bien si le niveau de la tension de sortie V_s augmente.

4) Stabilisation de la fréquence :

La fréquence d'oscillation est en général fixée par la condition sur la phase :

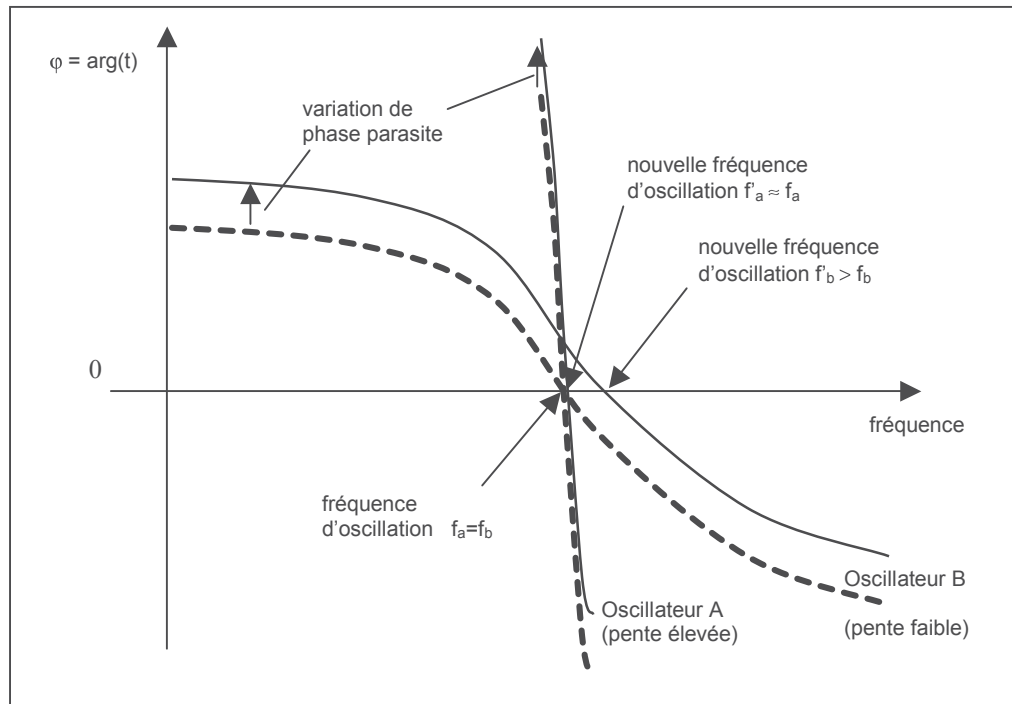
$$\arg(\underline{T}(j\omega_0)) = \arg(\underline{H}(j\omega)) + \arg(\underline{K}(j\omega_0)) = 0$$

En pratique, les déphasages introduits par H et K peuvent varier sous l'influence de différents facteurs :

- main qui s'approche du montage et introduit des capacités parasites
- variation de température qui modifie les épaisseurs de jonctions et donc leur capacité parasite
- vieillissement des condensateurs et modification de leur valeur

Toute variation de déphasage sera alors compensée par une variation de la fréquence f_0 pour que la condition de Barkhausen sur la phase reste vérifiée.

Figure 7.
Influence d'un déphasage parasite sur la fréquence d'oscillation.



La variation de fréquence sera d'autant plus faible que la rotation de phase est rapide au voisinage de f_0 .

Si le quadripôle de réaction est un filtre LC passe-bande, le déphasage s'écrit :

$$\varphi = \arctg \left[\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \right] \approx \left[\frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \right] \text{ au voisinage de } \omega_0$$

et la pente de la courbe de phase $S = \frac{d\varphi(\omega_0)}{d\omega} = \frac{2}{RC\omega_0^2} = 2 \frac{Q}{\omega_0^2}$ augmente avec Q

Pour réaliser des oscillateurs stables, on utilise donc des dispositifs à fort coefficient de qualité : ce sont les **résonateurs**, qui existent dans toutes les gammes de fréquences :

Gamme de fréquence	Type de résonateur
de 10 kHz à 100 MHz	quartz, résonateur piézoélectrique
de 100 MHz à 1 GHz	à onde de surface
de 1 à 2,5 GHz	céramique coaxial
de 2,5 à 20 GHz	diélectrique