

Les oscillateurs

principe, circuit, caractéristiques...

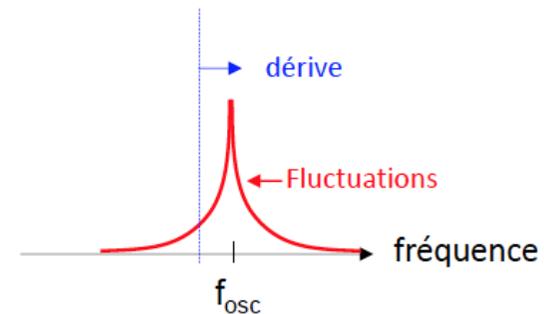
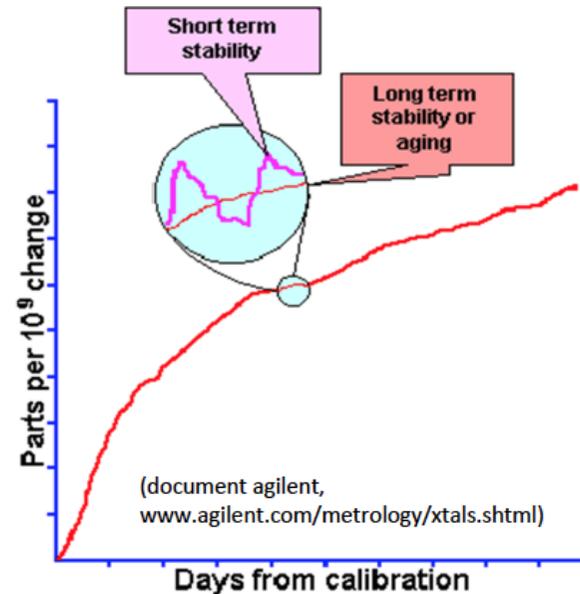
- Définitions
- Conditions d'oscillation
- Caractéristiques d'un oscillateur
- L'oscillateur à quartz

Oscillateur : circuit électronique qui délivre un signal variable à une fréquence fixe et stable

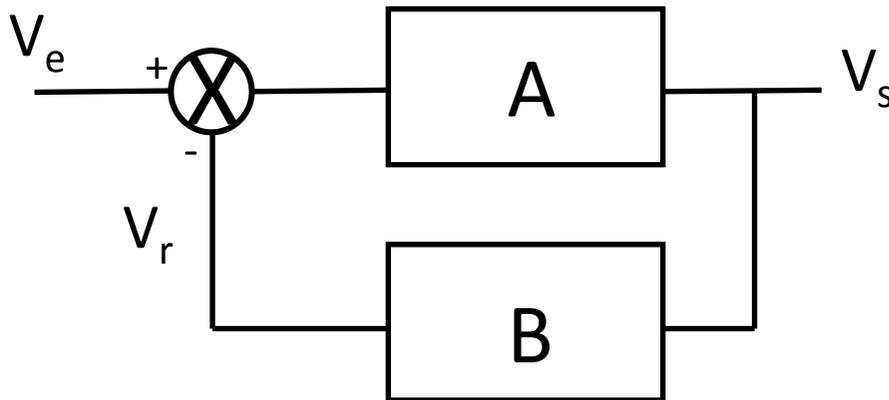
- Stabilité en temps et en fréquence



- Dérive en fréquence la plus faible possible (insensible à la température, au vieillissement, ...)



Structure de base : système bouclé analogique instable

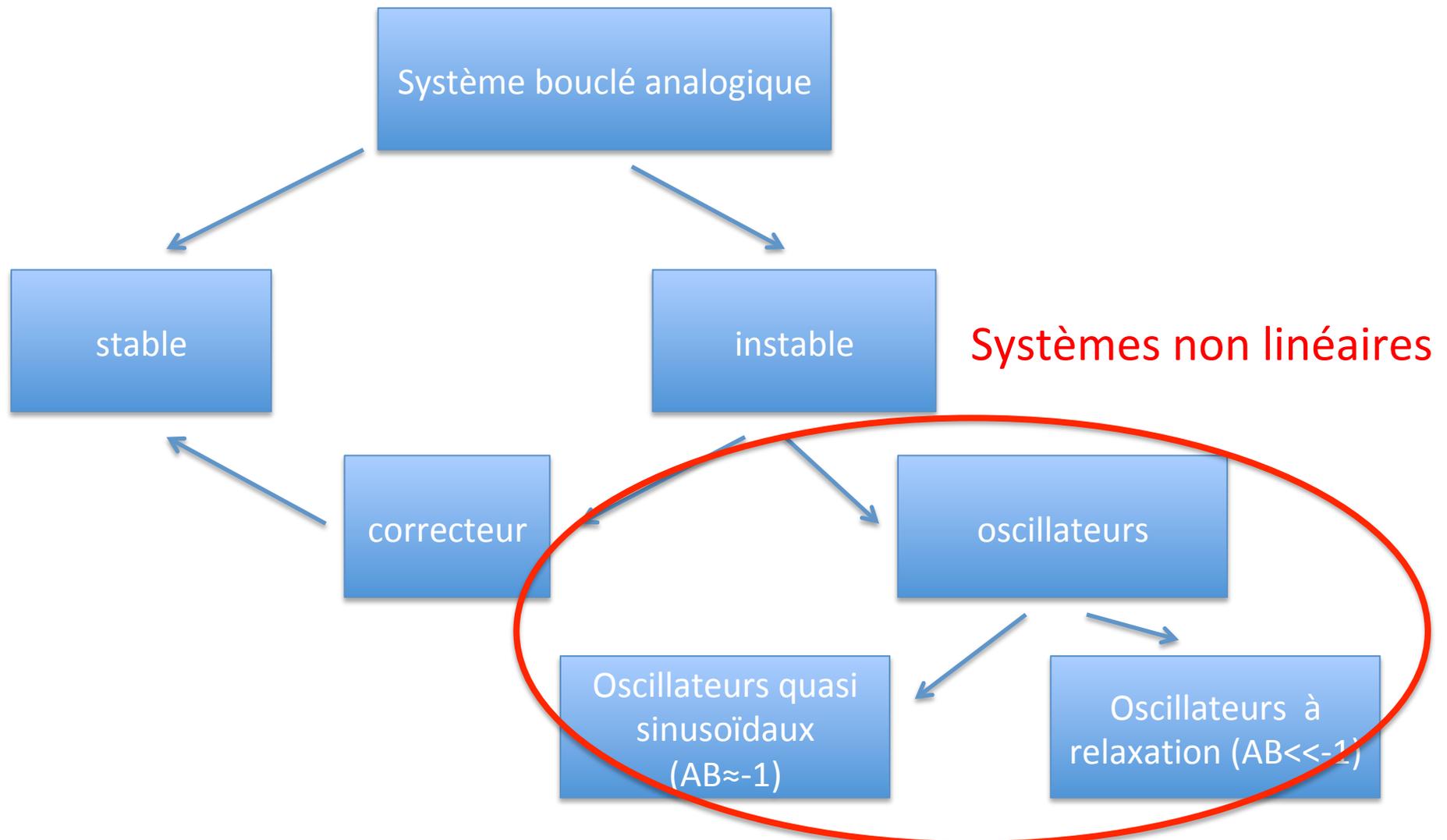


$$H = \frac{A}{1 + AB}$$

Si $1+AB = 0$, alors on a $H = \infty$. On peut avoir $V_s \neq 0$ avec $V_e = 0$!

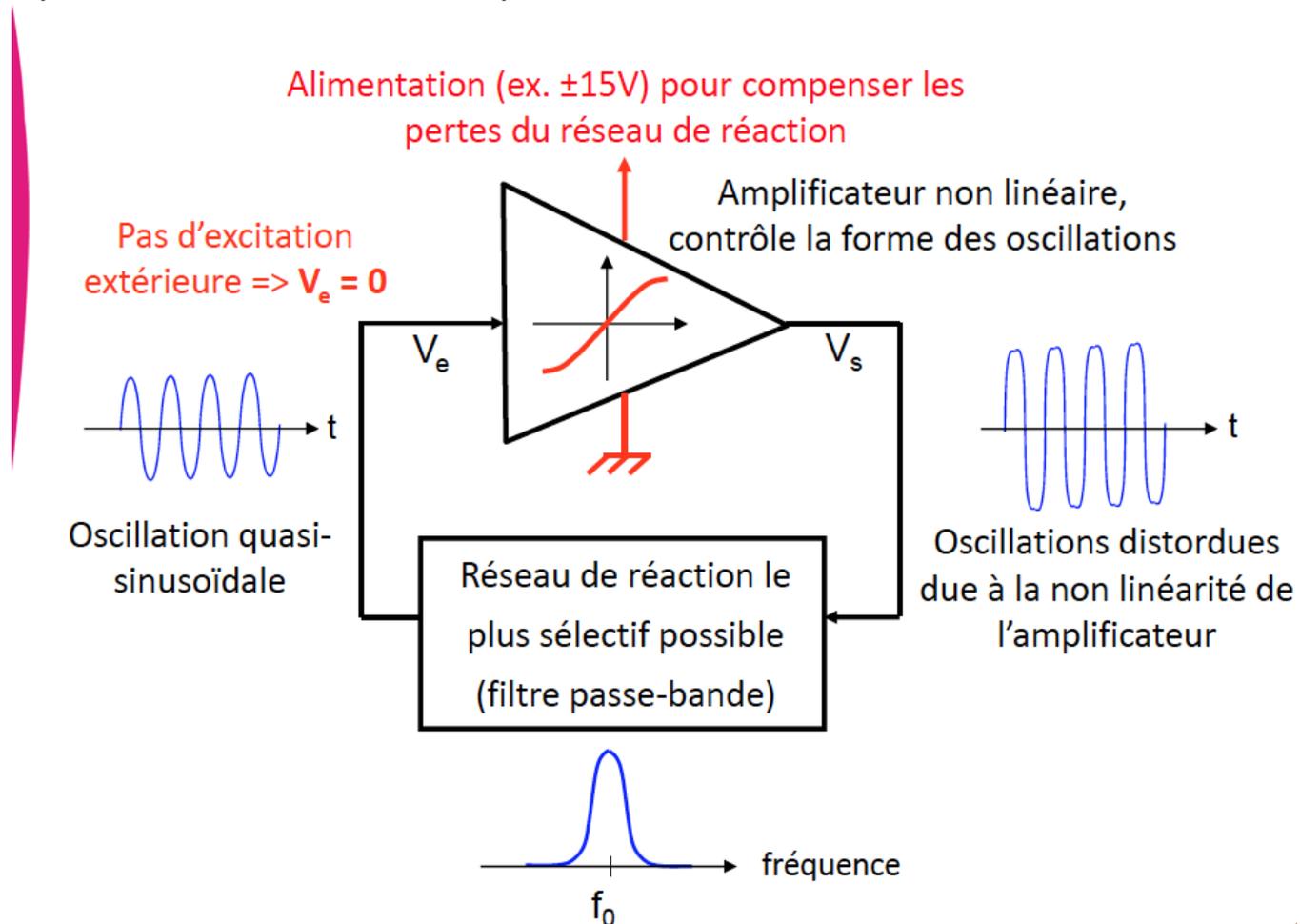
Etude de la stabilité des SBA faite par les automaticiens :
Critère de Nyquist , critère de Routh, critère du revers...

Stabilité d'un système bouclé analogique



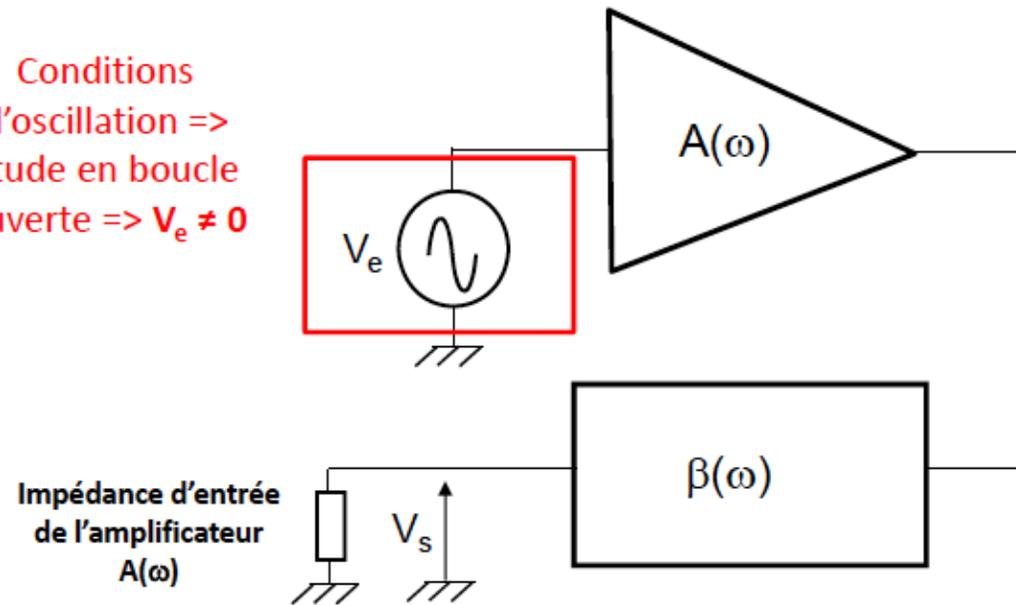
Structure de base

- Système bouclé non linéaire avec amplificateur (gain) et résonateur (réseau de réaction sélectif)



Condition pour des oscillations quasi sinusoïdales

Conditions
d'oscillation =>
Etude en boucle
ouverte => $V_e \neq 0$

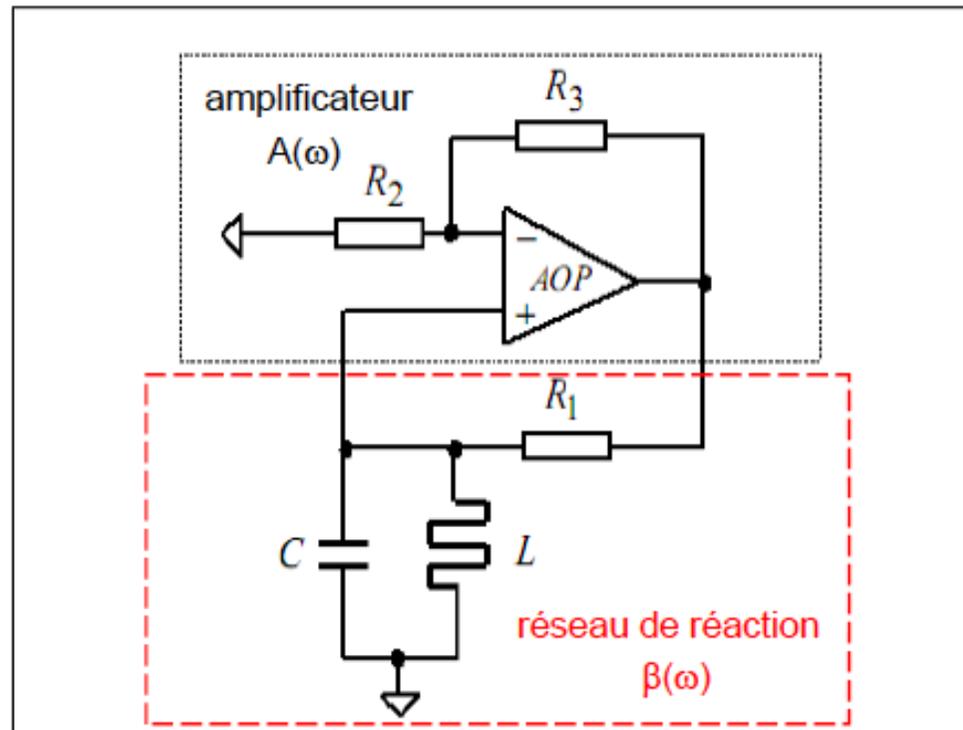


- Condition d'oscillation (**critère de Barkhausen**) : $A(\omega)\beta(\omega) = 1$

avec $A(\omega)\beta(\omega)$: gain en boucle ouverte aux petits signaux

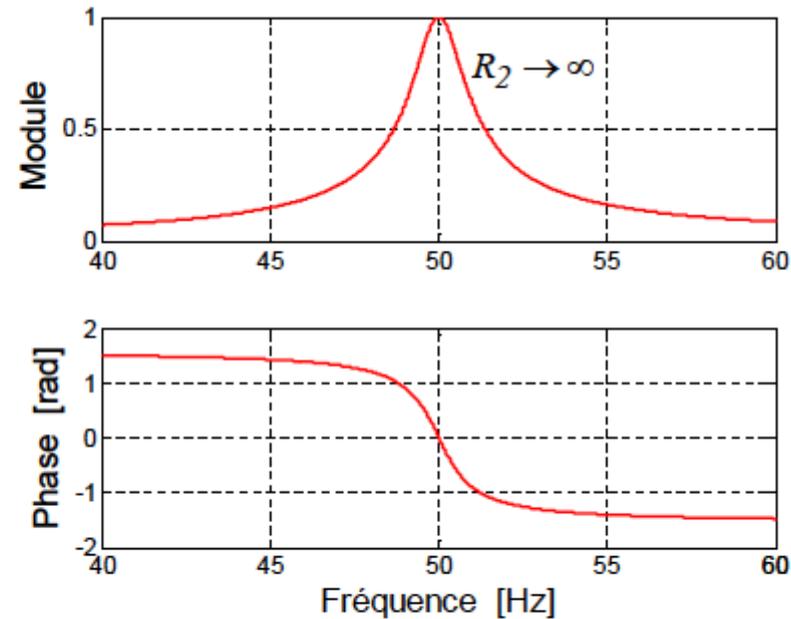
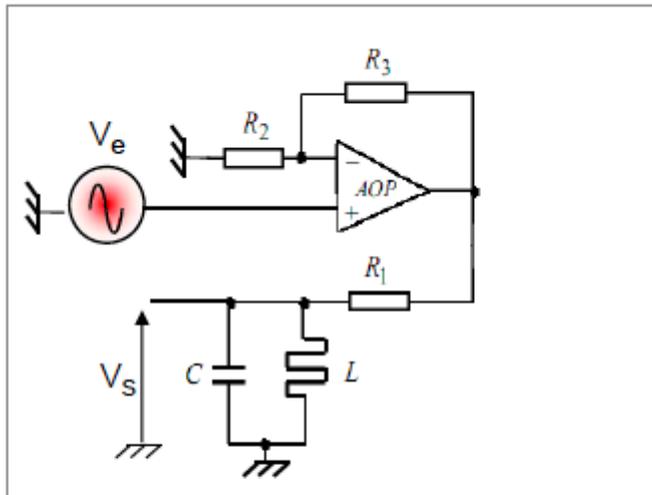
$$\left\{ \begin{array}{l} |A(\omega)\beta(\omega)| = 1 \\ \varphi(A(\omega)\beta(\omega)) = 0 \end{array} \right. \Rightarrow \begin{array}{l} \bullet \text{ Fréquence des oscillations} \\ \bullet \text{ Valeur minimale du gain pour obtenir les oscillations} \end{array}$$

Oscillateur « pédagogique »



- Amplificateur : 1 AOP et 2 résistances. Les non-linéarités : limitation du courant de sortie de l'AOP et tensions d'alimentation
- Réseau de réaction : circuit R - L - C

Oscillateur « pédagogique »



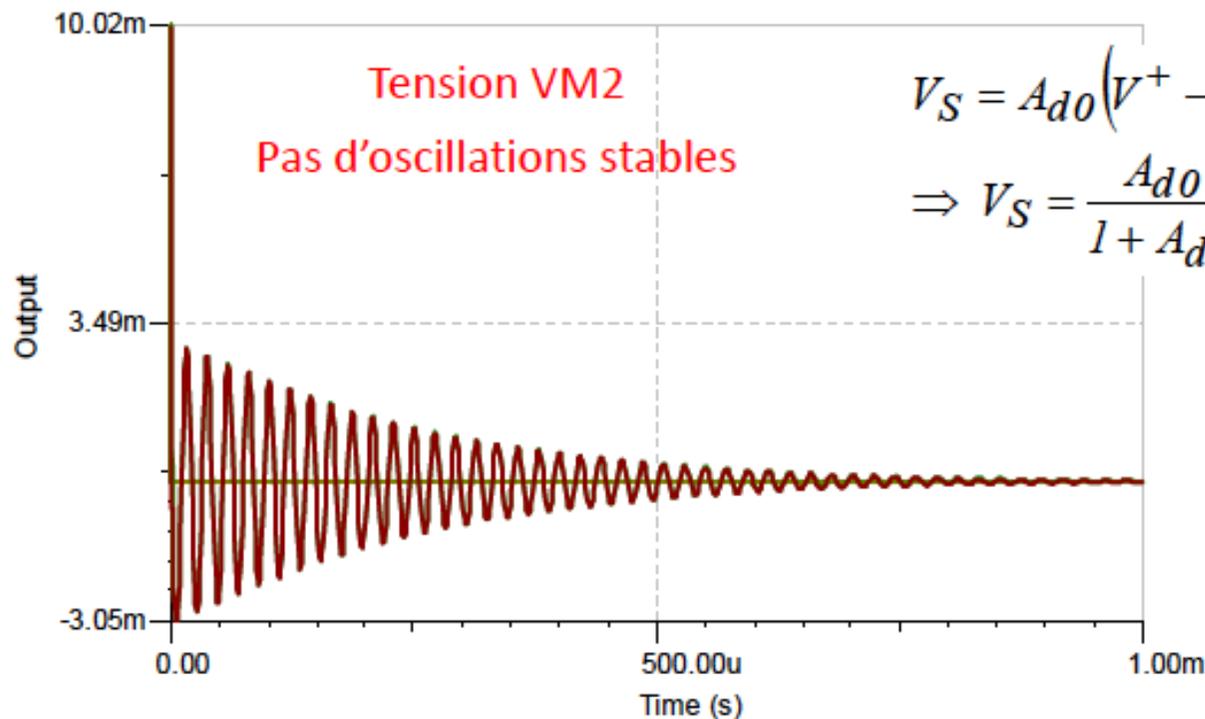
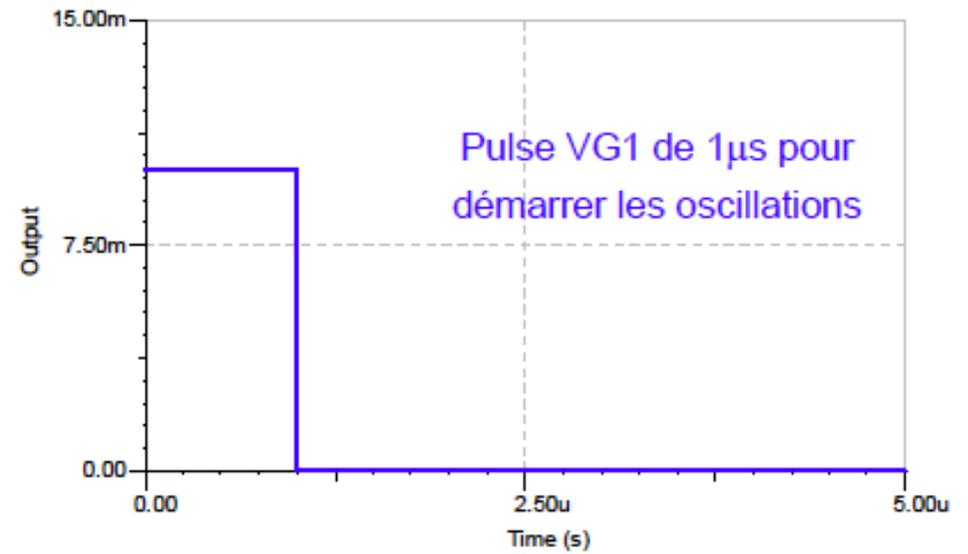
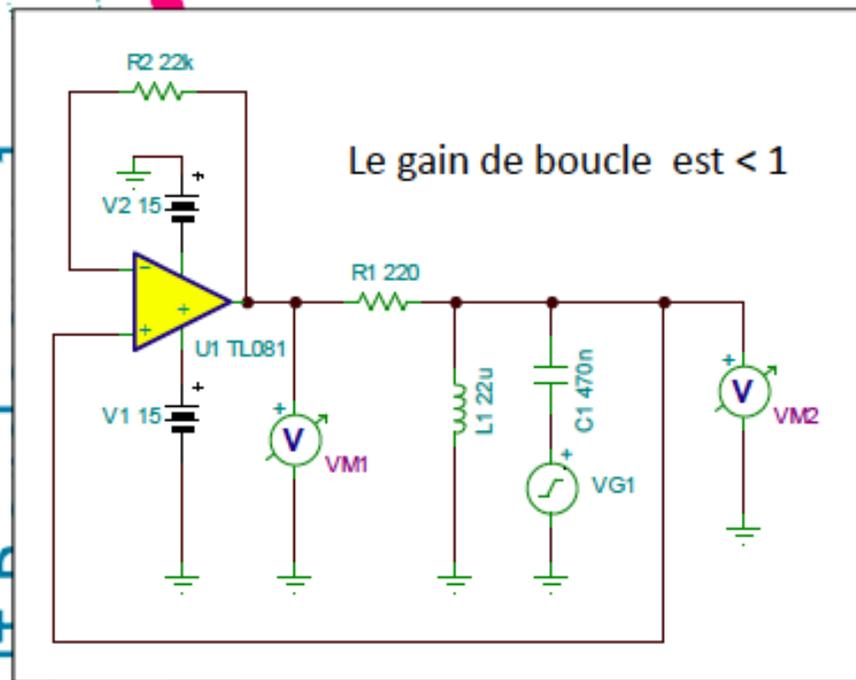
Hypothèse : AOP idéal, L et C sans pertes

$$A(\omega)\beta(\omega) = \frac{V_S}{V_e} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \frac{j\omega \frac{\omega_0}{Q}}{(-\omega^2 + \omega_0^2) + j\omega \frac{\omega_0}{Q}} \quad \text{avec } Q = R_1 C \omega_0 \text{ et } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- La phase est nulle pour $\omega = \omega_0$, d'où : $\omega_{\text{osc}} = \omega_0$.

- Pour $\omega = \omega_0$, le module $|A(\omega_0)\beta(\omega_0)| = 1$ avec $R_2 \rightarrow \infty$.

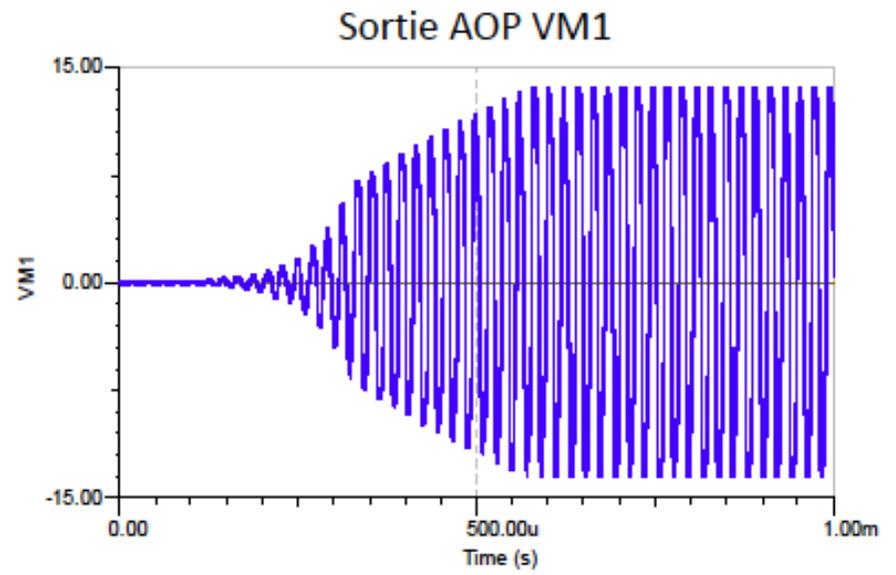
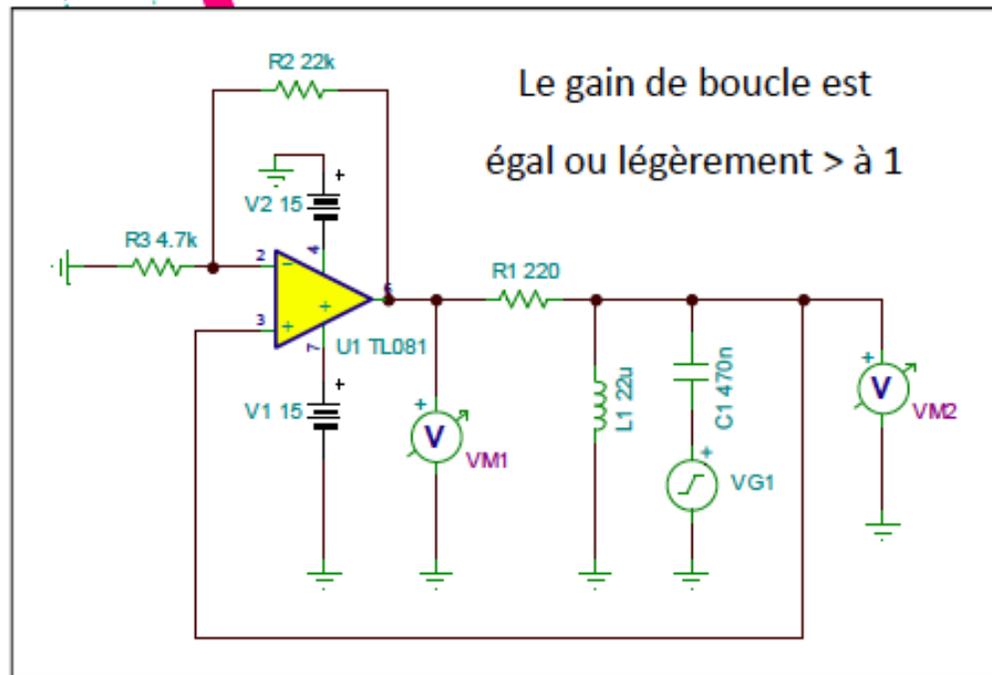
Simulation sous le logiciel TINA



$$V_S = A_{do}(V^+ - V^-) = A_{do}(V^+ - V_S)$$

$$\Rightarrow V_S = \frac{A_{do}}{1 + A_{do}} V^+$$

Simulation sous le logiciel TINA

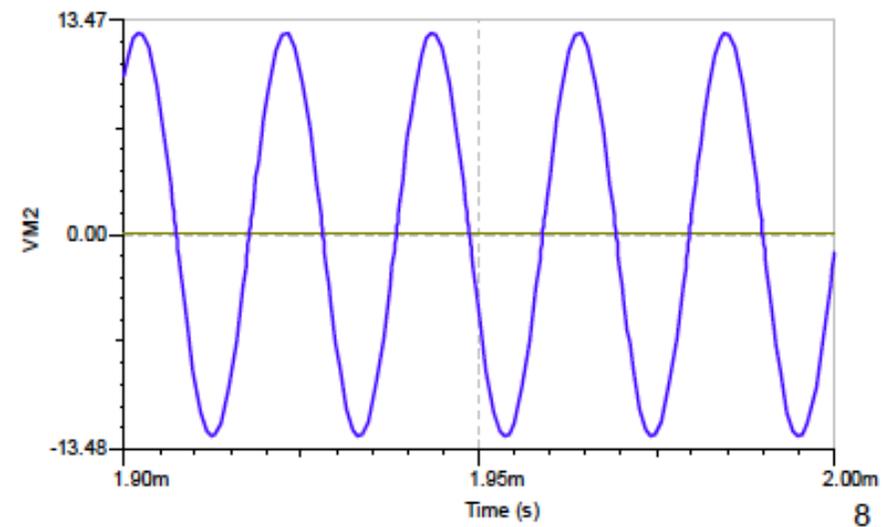
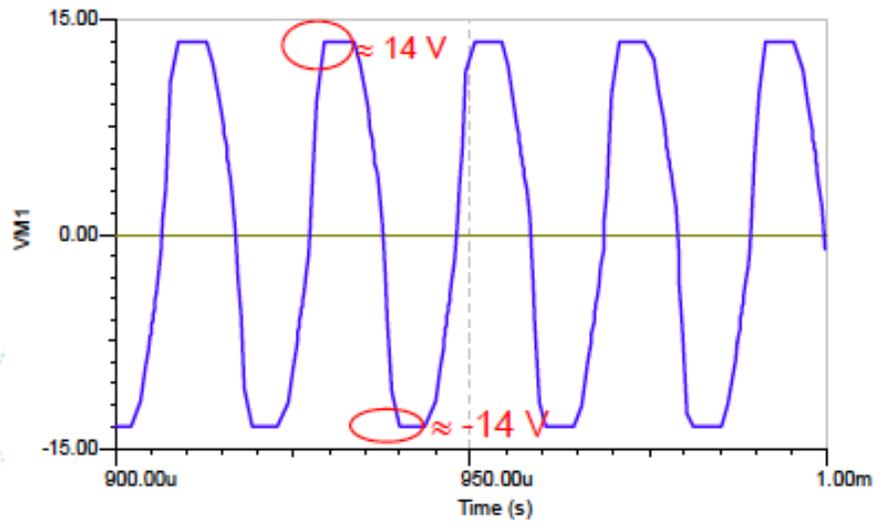


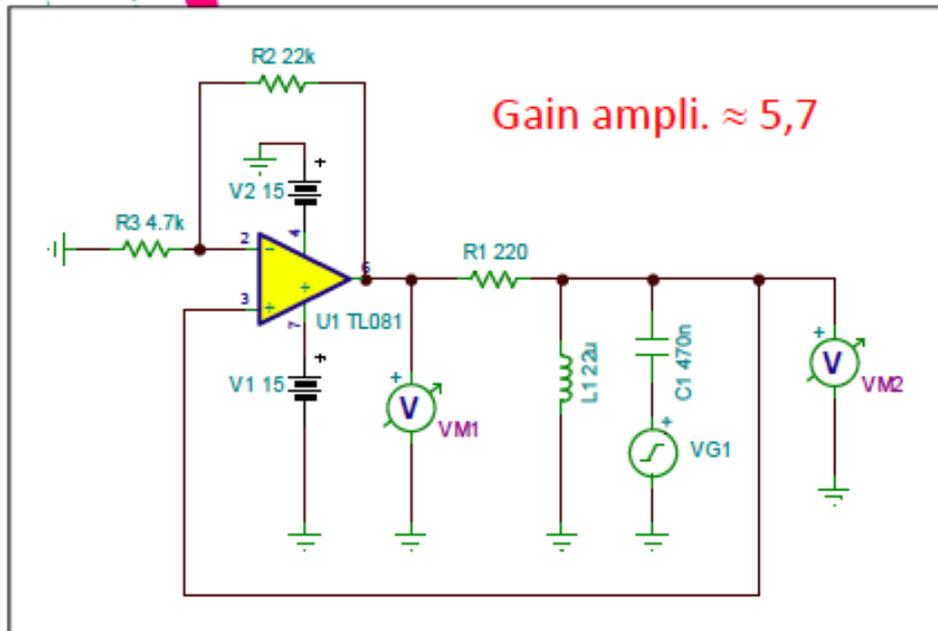
Zoom sortie AOP (VM1)

Sortie filtre passe-bande (VM2)

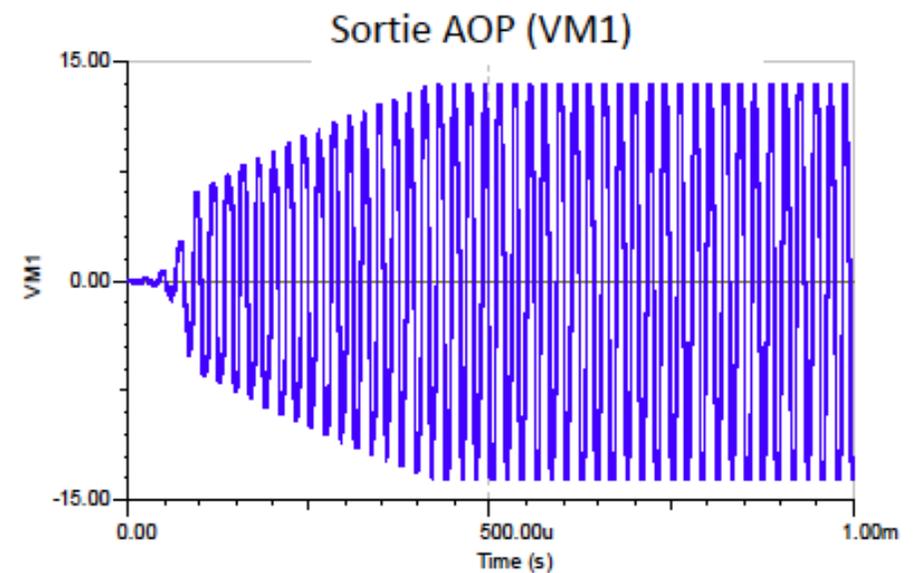
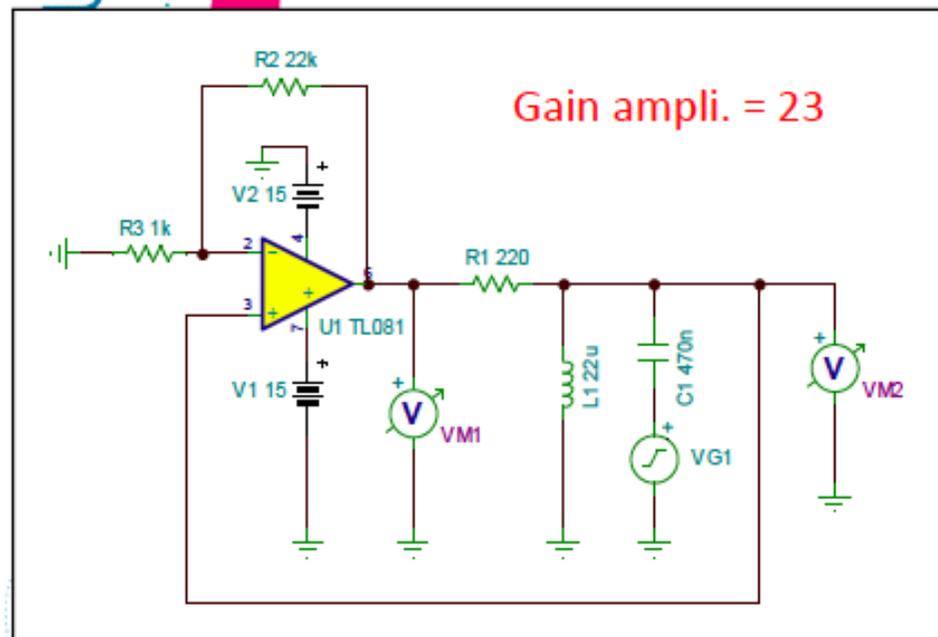
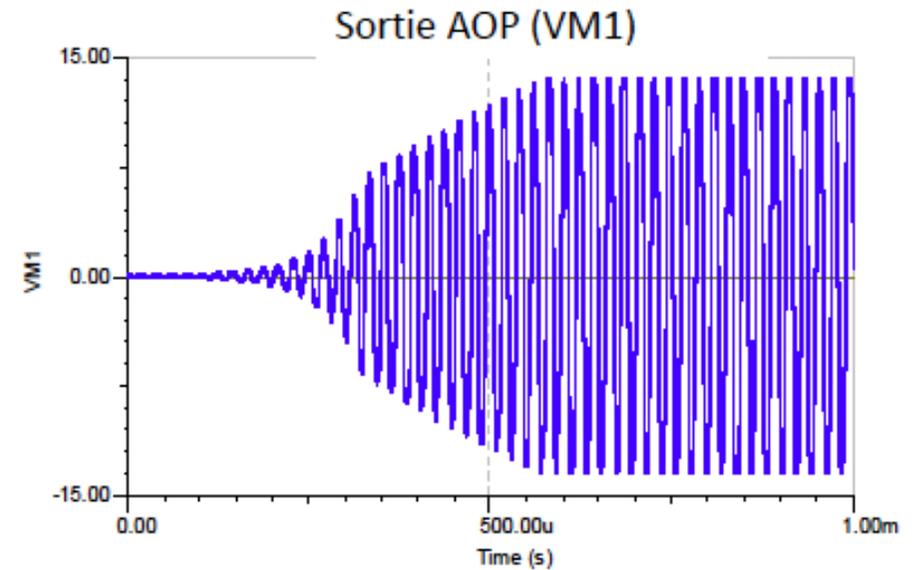
saturation de l'étage de sortie de l'AOP

signal « quasi » sinusoïdal



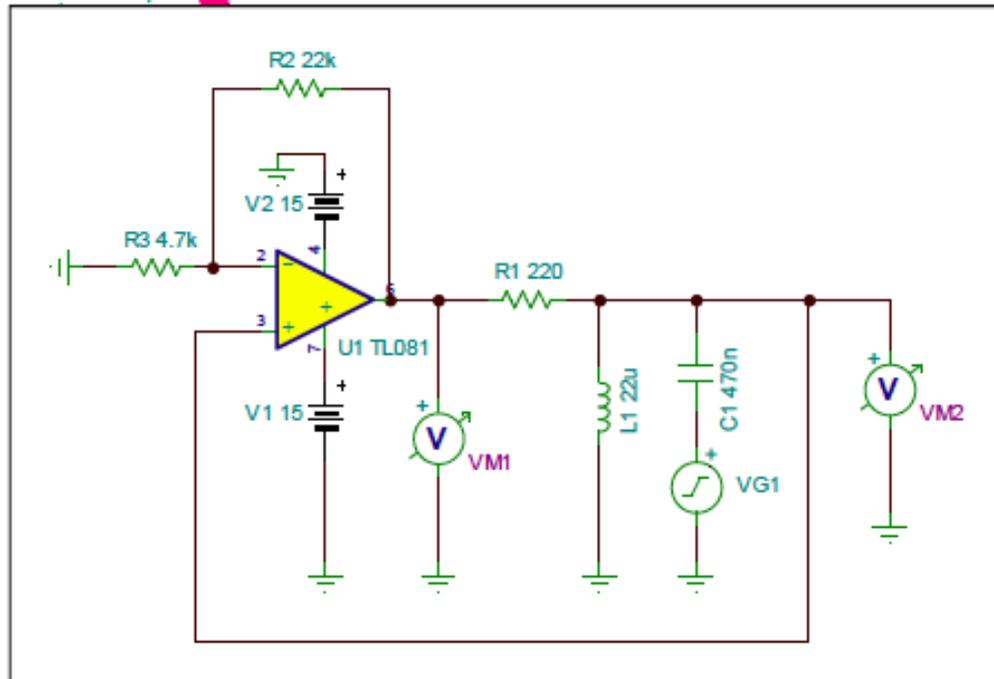


Simulation sous le logiciel TINA

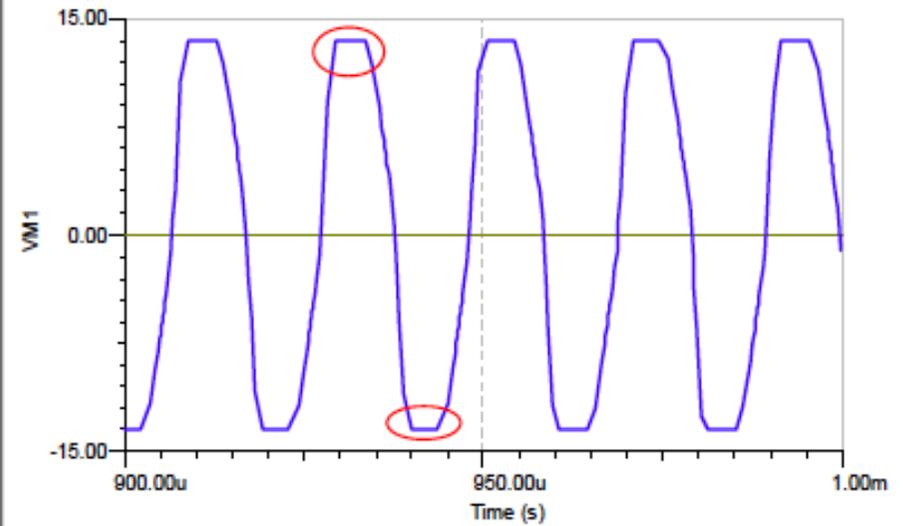


La durée du transitoire est d'autant plus petite que le gain de boucle est grand

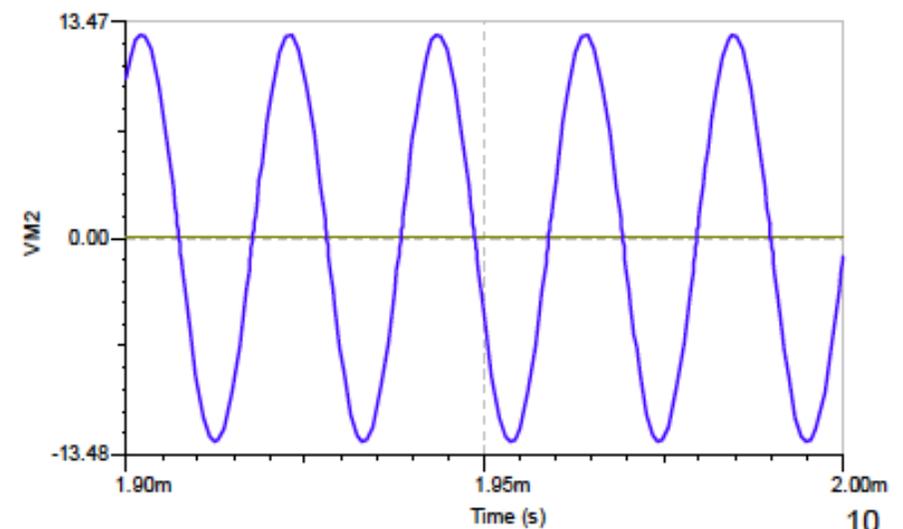
Simulation sous le logiciel TINA



sortie AOP (VM1)



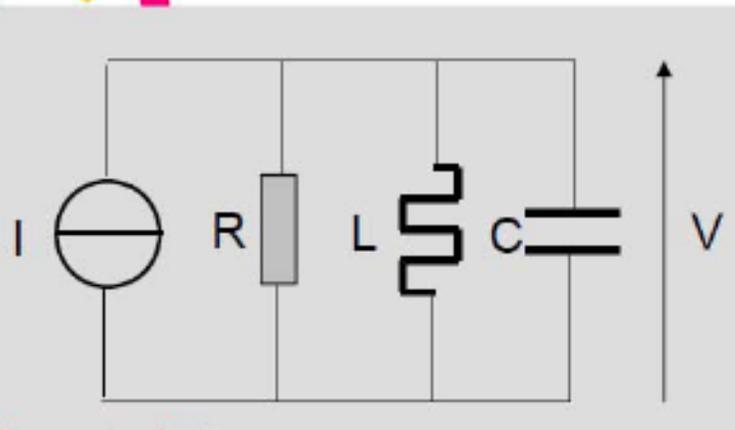
sortie filtre (VM2)



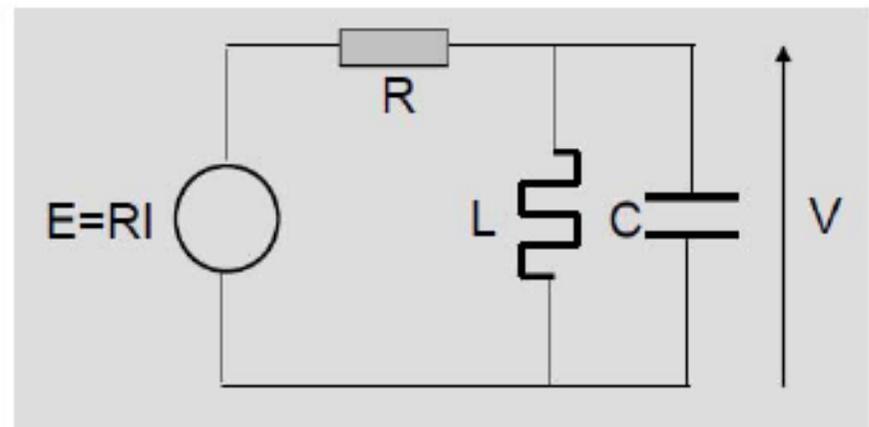
Compte tenu de la non linéarité de l'amplificateur et de la réponse en fréquence du filtre passe bande, le signal distordu.

CONCLUSION : IL EST IMPOSSIBLE DE GENERER UN SIGNAL PUREMENT SINUSOÏDAL

2- Caractéristiques principales d'un oscillateur : Le résonateur



ou



$$V = \frac{I}{\frac{1}{R} + jC\omega + \frac{1}{jL\omega}} = \frac{RI}{1 + jRC\omega + \frac{R}{jL\omega}}$$

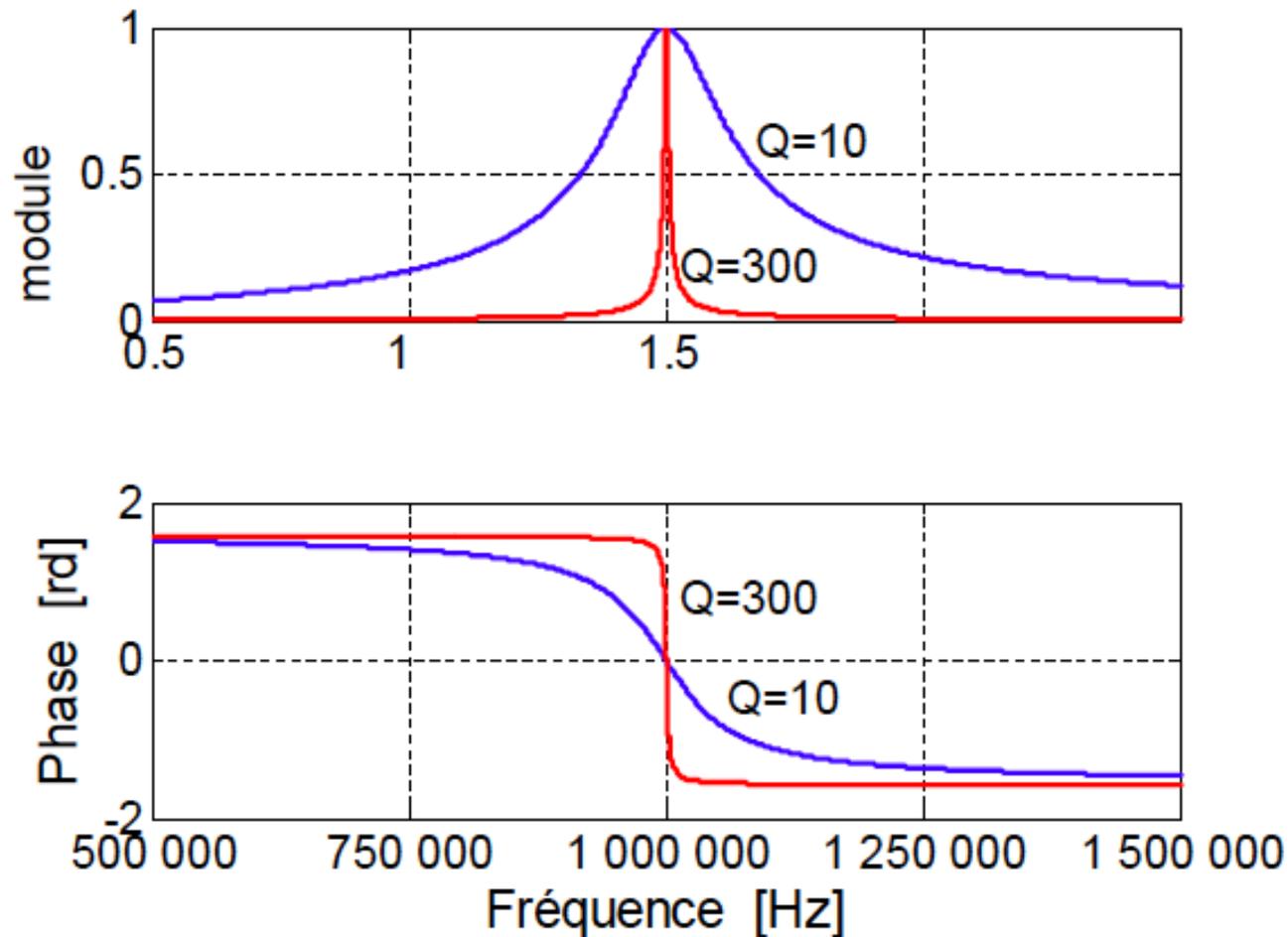
On pose : $Q = RC\omega_0$ **coefficient de qualité**, avec $LC\omega_0^2 = 1$

f_0 : fréquence de résonance

D'où le gain complexe :

$$\frac{V}{E} = \frac{1}{1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

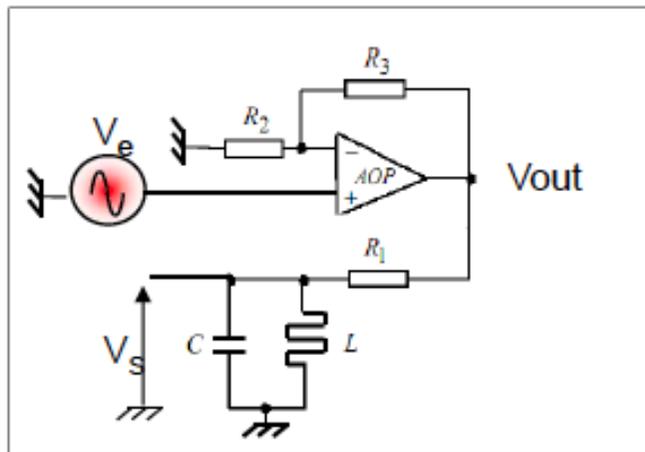
2- Caractéristiques principales d'un oscillateur : Le résonateur



Plus le coefficient de qualité Q est élevé, plus le pic de résonance est étroit et plus la **phase varie rapidement au voisinage de la fréquence de résonance f_0** .

2- Caractéristiques principales d'un oscillateur : Limitations

- Influence du facteur Q du résonateur sur la fréquence des oscillations



Gain en boucle ouverte de l'AOP

$$V_{out} = \frac{A_{d0}}{1 + j \frac{\omega}{\omega_c}} (V^+ - V^-)$$

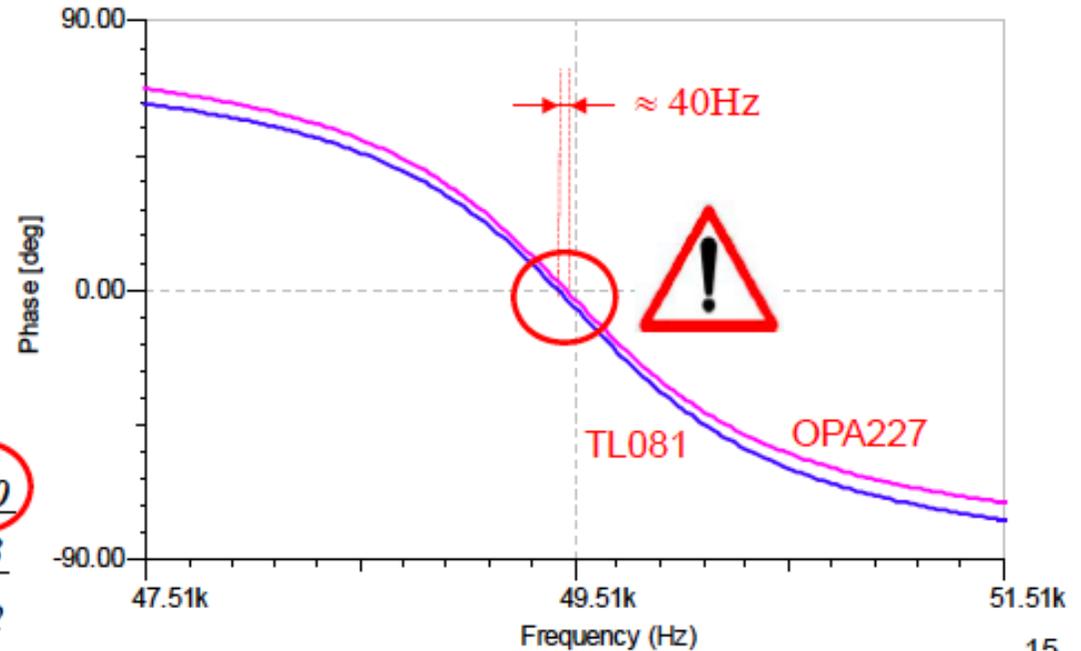
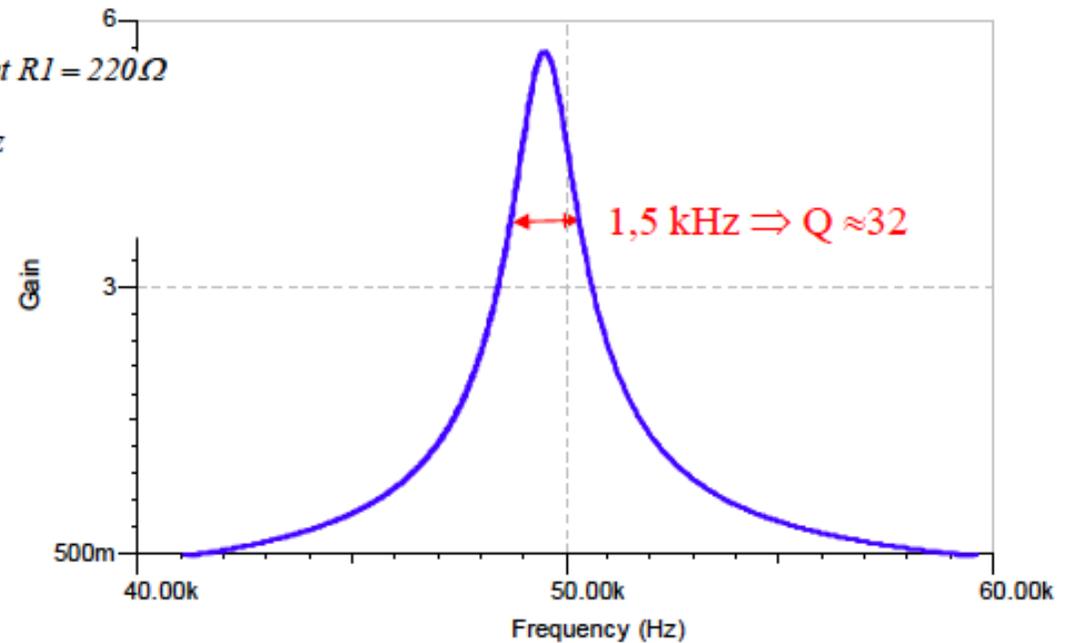
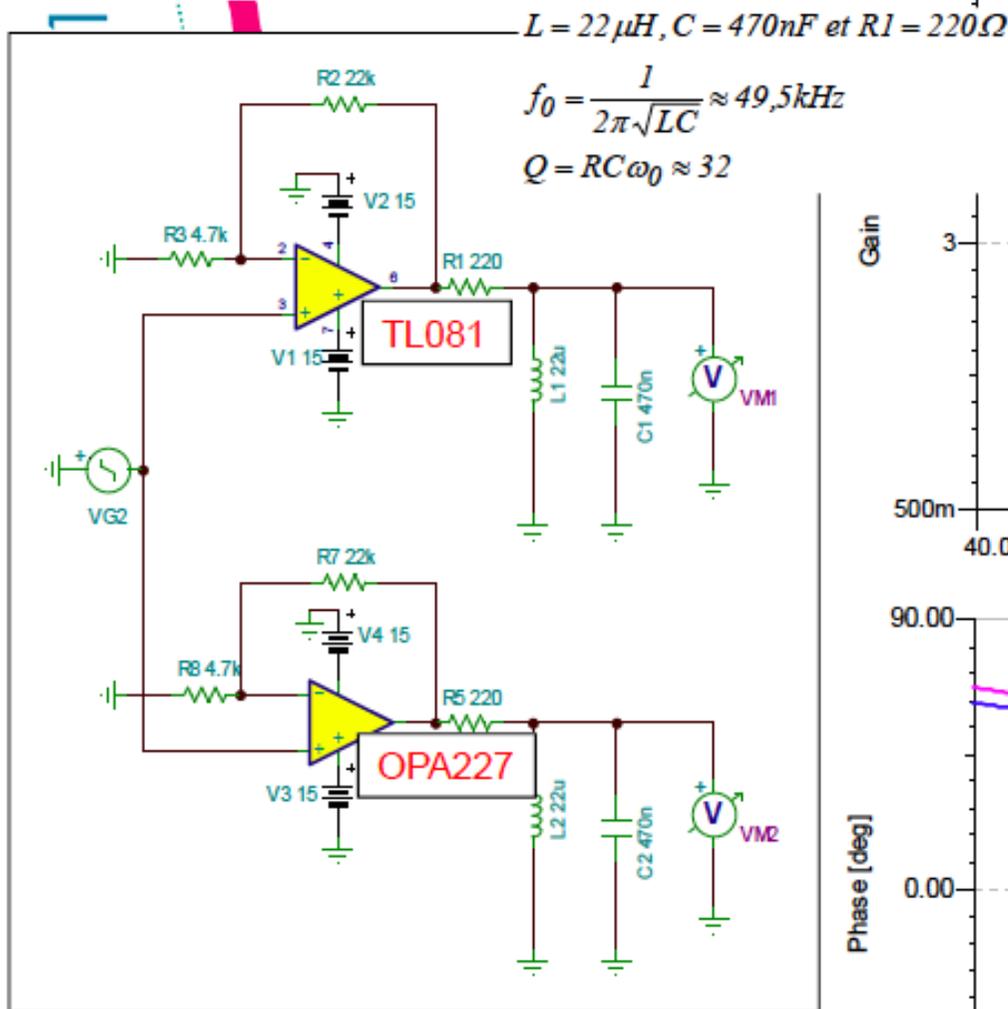
$$\text{Gain de boucle : } A(\omega)\beta(\omega) = \frac{V_S}{V_e} \approx \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \left(\frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_{-3dB}}} \right) \frac{j\omega \frac{\omega_0}{Q}}{(-\omega^2 + \omega_0^2) + j\omega \frac{\omega_0}{Q}}$$

$$\text{d'où la pulsation des oscillations : } \omega_{osc} = \omega_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\omega_0}{Q\omega_{-3dB}}}} \text{ avec : } \omega_{-3dB} = \frac{\omega_c A_{d0}}{1 + \frac{R_3}{R_2}}$$

Intérêt d'un résonateur avec un fort coefficient de qualité Q : $\omega_{osc} \approx \omega_0$

- Influence des caractéristiques de l'AOP sur la fréquence des oscillations

Simulation sous le logiciel TINA



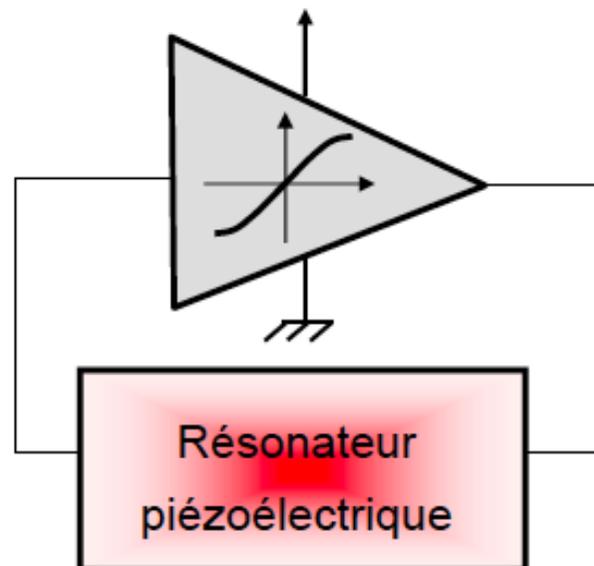
$$\omega_{osc} = \omega_0 \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{\omega_0}{Q\omega_{-3dB}}}}$$

$$\omega_{-3dB} = \frac{\omega_0 A_{d0}}{1 + \frac{R_3}{R_2}}$$

- Synthèse et bilan

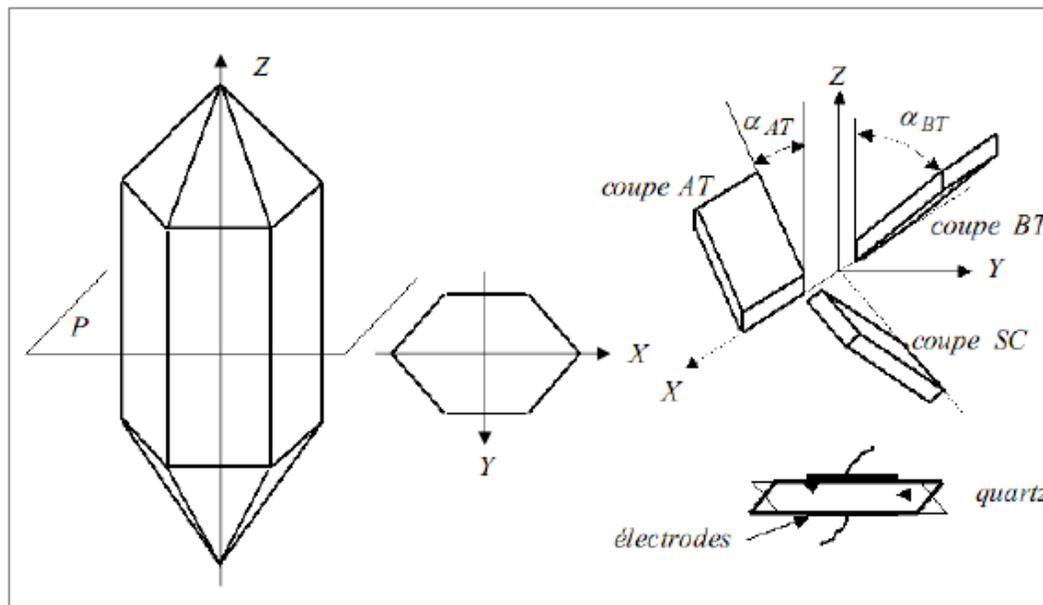
Plus le coefficient de qualité Q du résonateur est faible, plus la fréquence des oscillations est dépendante des caractéristiques de l'AOP, d'où la nécessité de trouver un résonateur avec une très forte valeur de Q .

Solution => Utilisation de résonateurs piézoélectriques
(ex. quartz)



Oscillateur à Quartz

Pour obtenir des oscillateurs avec une grande stabilité en fréquence on utilise un composant particulier : le quartz



Cristal de quartz naturel

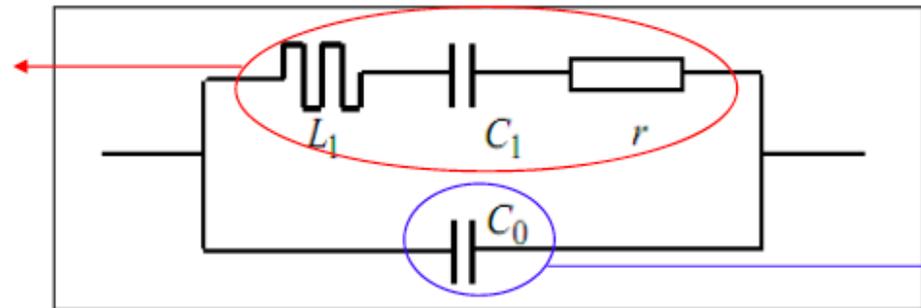


Le quartz est un oxyde de silicium cristallin qui est isolant et piézoélectrique

Schéma équivalent du quartz

branche motionnelle
due à l'effet
piézoélectrique

IUT Borde



capacité
géométrique

Impédance électrique d'un résonateur piézoélectrique

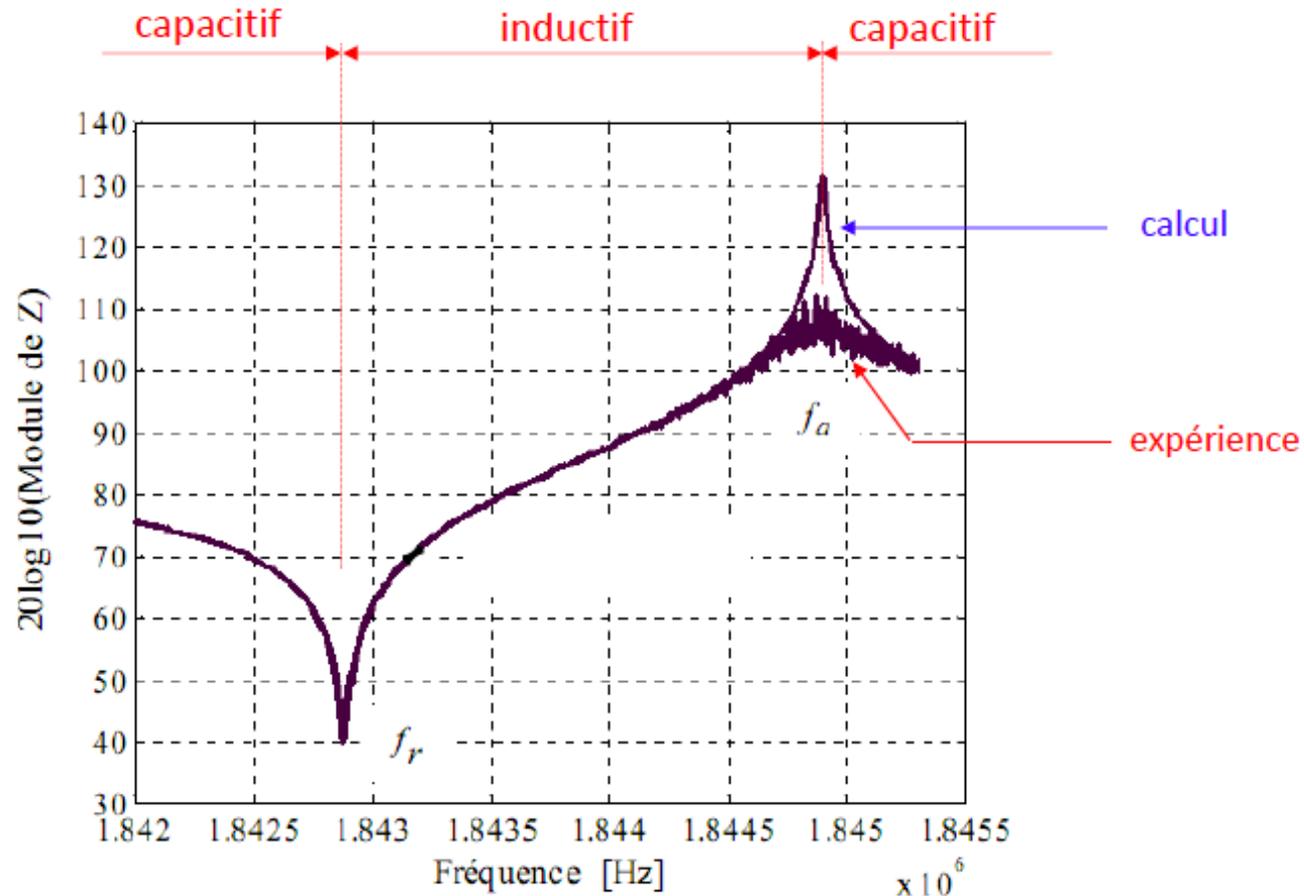
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \text{ et } f_a = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_0} \right)} \text{ avec } f_a = f_r \left(1 + \frac{C_1}{C_0} \right)^{1/2}$$

fréquence
de résonance

fréquence
d'antirésonance

A la fréquence de résonance f_r , le quartz est électriquement équivalent à une résistance r , c'est quasiment un court-circuit alors qu'à la fréquence d'antirésonance f_a c'est quasiment un circuit ouvert.

Impédance du quartz

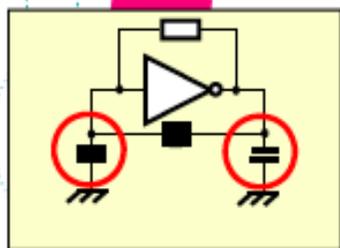


Module de l'impédance Z au voisinage des fréquences de résonance et d'antirésonance du fondamental

Paramètres	200kHz	2MHz	30MHz	90MHz
	Mode fondamental		Harmonique 3	Harmonique 5
r (en Ω)	2000	100	20	40
L_1 (en H)	27	0,52	0,011	0,006
C_1 (en fF)	24	12	2,6	0,5
C_0 (en pF)	9	4	6	4
Q	$\approx 20\ 000$	$\approx 100\ 000$	$\approx 100\ 000$	$\approx 100\ 000$

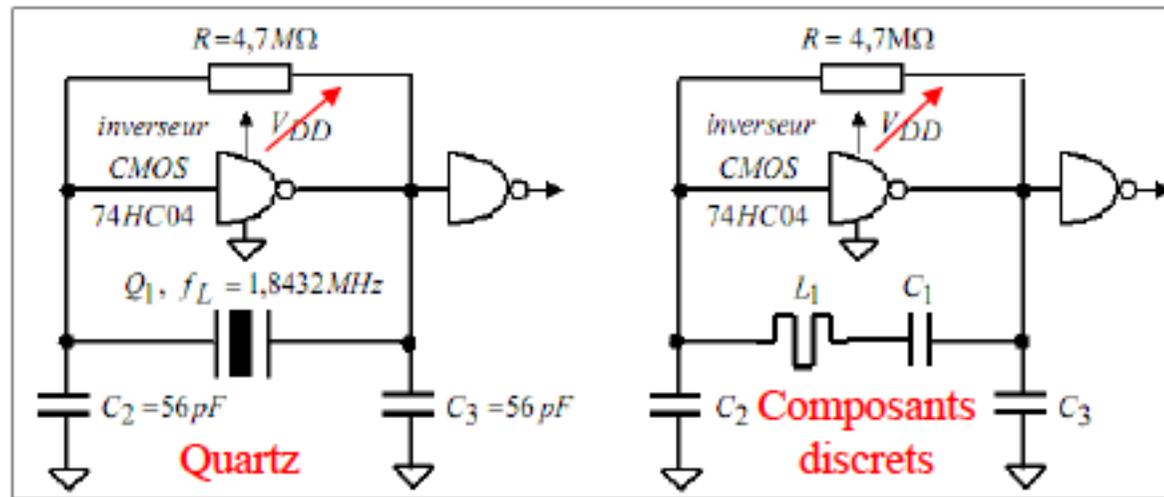
Valeurs typiques des paramètres r , L_1 , C_1 et C_0

NB : avec des composants discrets, Q est de l'ordre de q.q. 100

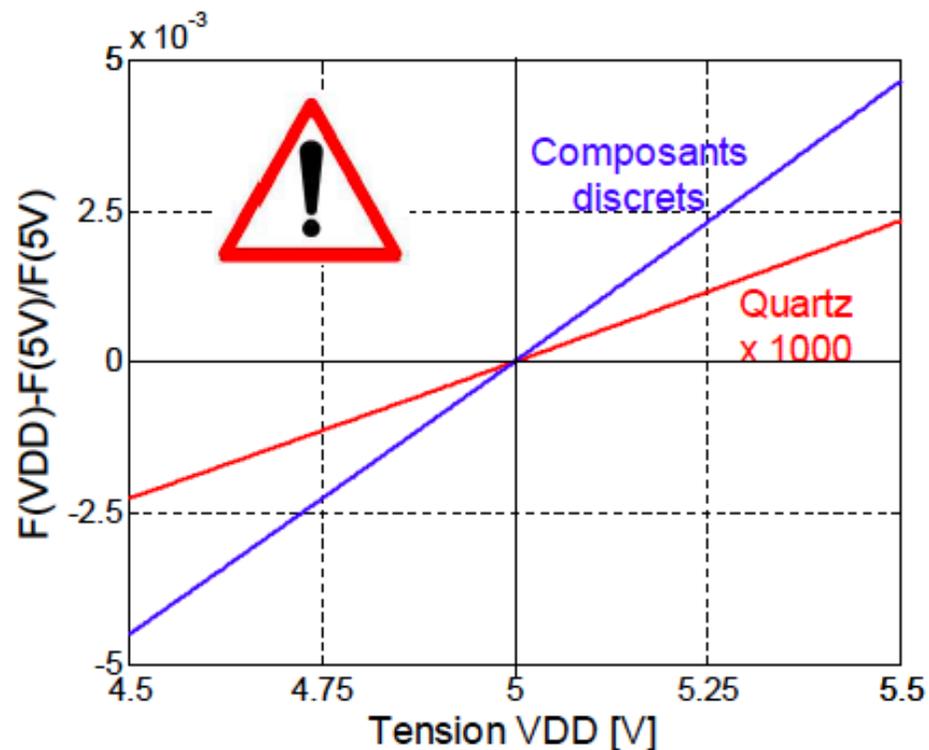


La valeur inscrite sur le boîtier du quartz correspond à la fréquence nominale, c'est la fréquence pour laquelle il est prévu d'osciller.

Certains montages sont conçus pour que le quartz oscille à la fréquence de résonance f_r , on parle dans ce cas de **résonance série (series resonant)**, d'autres montages sont conçus pour que le quartz oscille entre f_r et f_a , c-à-d là où le quartz à un comportement selfique, on parle dans ce cas de **résonance parallèle (parallel resonant)**, le plus courant. Dans ce dernier cas, le constructeur spécifie la valeur de la capacité de charge (**load capacitance**)



Les fréquences d'oscillation des deux montages sont \approx identiques

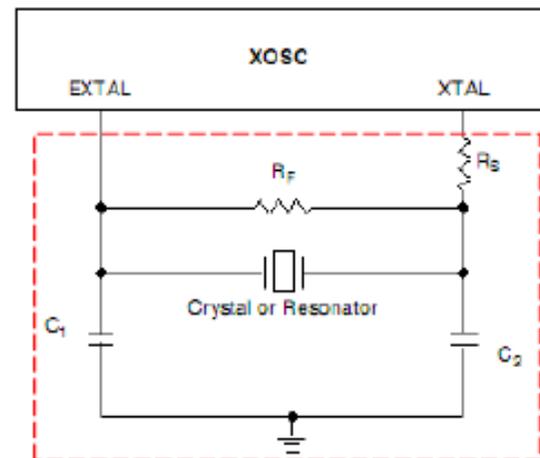


La variation relative de fréquence est entre 100 et 1000 fois plus faible avec un quartz :

- $Q_{\text{quartz}} \approx 10^5$
- $Q_{\text{composants discrets}} \approx 50 - 100$

3- L'oscillateur à quartz

HCS08
Microcontrollers



Oscillateur dit de « Pierce »
pour systèmes numériques

Feedback resistor				
Low range (32 kHz to 38.4 kHz)	R_F		10	MΩ
High range (1 MHz to 16 MHz)			1	MΩ

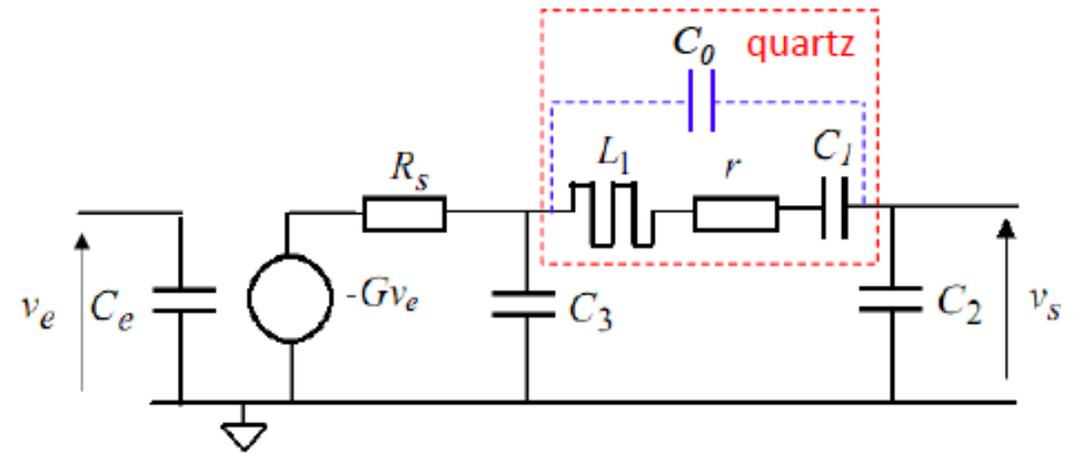
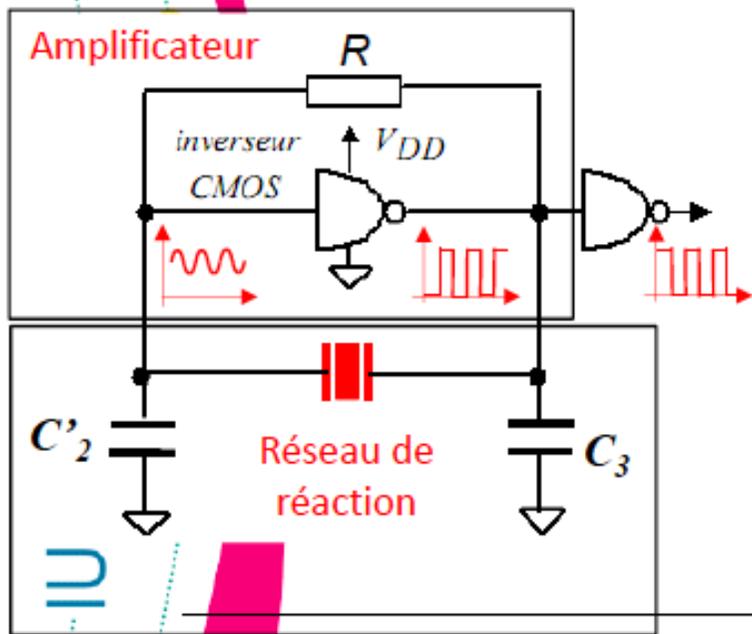


Schéma équivalent pour le calcul du gain en boucle ouverte

Condition d'oscillation : $\frac{v_s}{v_e} = 1$ $\left\{ \begin{array}{l} f_{osc} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_{eq}}} \left[1 + \frac{r C_{eq}}{R_S C_3} \right]^{1/2} \\ G \frac{C_3}{C_2} > \left[1 + \frac{r}{R_S} + \frac{r R_S C_3^2}{L_1 C_{eq}} + \frac{r^2 C_3}{L_1} \right] \end{array} \right.$

avec : $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$ et $C_2 = C'_2 + C_e$

La fréquence des oscillations ne dépend quasiment que des caractéristiques du résonateur

Conclusion

1. Oscillateur : système bouclé analogique non linéaire constitué d'un ampli suivi d'un filtre qui délivre un signal variable à une fréquence fixe et stable
2. Critère de Barkhausen : $A(\omega) \beta(\omega) = 1$
 - Une équation qui donne la fréquence des oscillations
 - Une équation qui fixe le gain de l'ampli
3. La stabilité de l'oscillateur est lié au facteur de qualité du filtre
 - D'où l'intérêt pour les oscillateurs à quartz