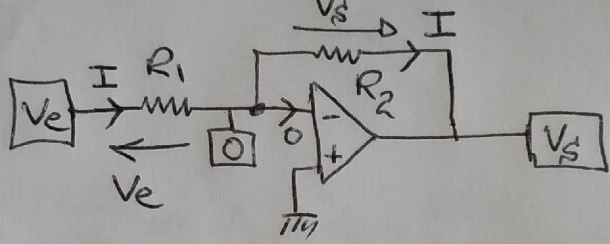
**I-1**

$V_e^- = 0 \Leftarrow \begin{cases} \text{- chemin électrique de la sortie de l'AOP vers l'entrée "-"} \Rightarrow \text{fonct}^{nt} \text{ linéaire} \Rightarrow \varepsilon = V_e^+ - V_e^- = 0 \\ \text{- } V_e^+ = 0 \text{ (connectée à la masse)} \end{cases}$

$V_e^- = 0$ sans être connectée à la masse ⇒ masse fictive

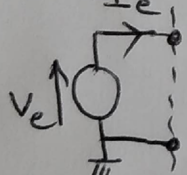
**I-2**

* 


$$\left.\begin{aligned} V_{R_1} &= V_e = R_1 I \\ V_s &= -R_2 V_s \end{aligned}\right) \Rightarrow T = A_v = \frac{V_s}{V_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

* $V_s$ est indépendante de $R_u$ car la sortie de l'AOP est assimilée à un générateur de tension parfait

**I-3**

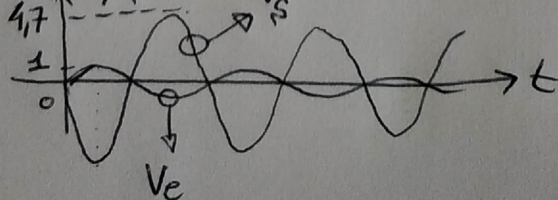



Montage inverseur $I_e = \frac{V_e}{R_1} = I$

$\Rightarrow \frac{V_e}{I_e} = R_1$ impédance d'entrée

**I-4** $R_1 = 1\,k\Omega \,/\, R_2 = 4{,}7\,k\Omega$

$\Rightarrow A_v = T = \frac{V_s}{V_e} = \frac{-4{,}7\,k\Omega}{1\,k\Omega} = -4{,}7$



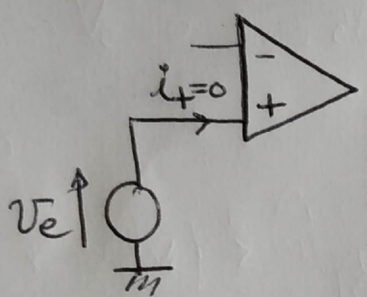

Ve et Vs en opposition de phase

II-1 Contre réaction ⇒ $\varepsilon = V_e^+ - V_e^- = 0$

$V_e^+ = V_e \Rightarrow \boxed{V_e^- = V_e}$

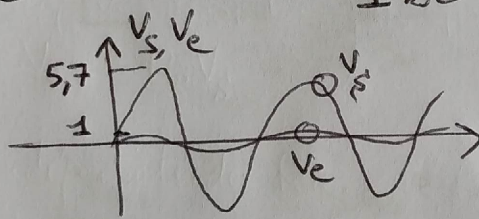
II-2 $V_e^- = V_s \dfrac{R_1}{R_1+R_2} = V_e \Rightarrow A_v = \dfrac{R_1+R_2}{R_1} = 1 + \dfrac{R_2}{R_1}$

II-3



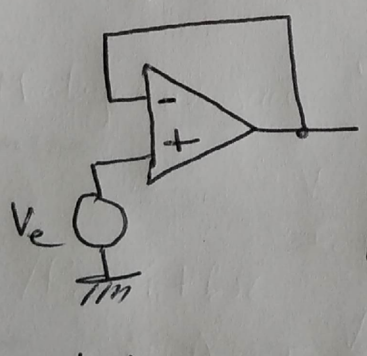

$\Rightarrow \dfrac{V_e}{I_e} = +\infty = R_e$ résistance d'entrée

II-4 $R_2 = 4{,}7\,k\Omega$
$R_1 = 1\,k\Omega$ $\Rightarrow A_v = 1 + \dfrac{4{,}7\,k\Omega}{1\,k\Omega} = 5{,}7$ V/V




$V_s$ et $V_e$ en phase

II-5 * avec $R_2 = 0$ et $R_1 = +\infty$



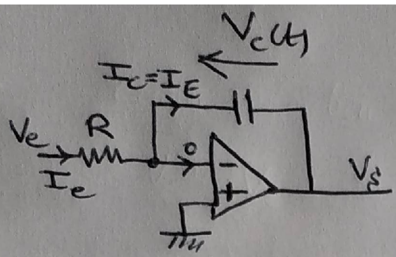

$V_s = V_e$ Montage suiveur

$A_v = 1 + \dfrac{R_2}{R_1} = 1 + \dfrac{0}{\infty} = 1$

$\Rightarrow V_s = V_e$

* <u>Utilité</u> : permet de mesurer une tension sans perturber le montage en amont

III -1



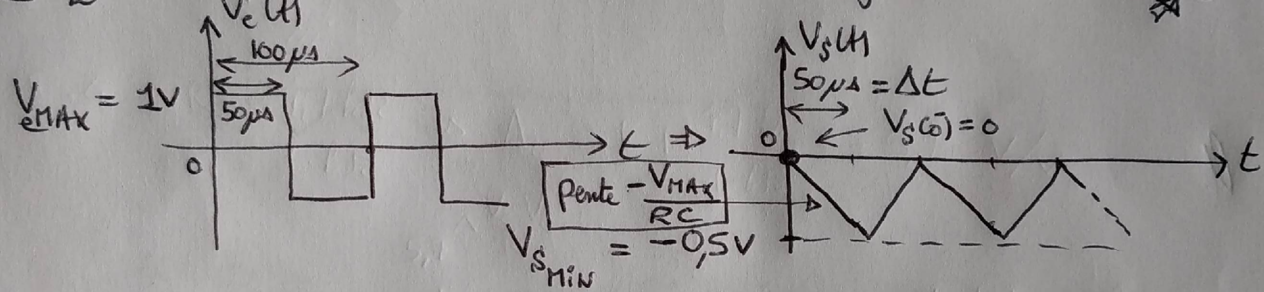

$$I_c(t) = C \frac{dV_c(t)}{dt}$$
$$I_c = I_e = \frac{V_e}{R}$$
$$V_c = -V_s$$

$$\frac{V_e}{R} = -C \frac{dV_s(t)}{dt}$$

$$\Rightarrow V_s(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_e(t)\,dt + V_s(0^-)$$

charge initiale du condensateur $= -V_c(0^-)$

III -2




* $\underline{V_{s\,MIN}\ ?}$ $\quad V_{sMIN} = \Delta t \times \text{pente}$

$$= 50µs \times \frac{-1 \rightarrow V_{eMAX}}{\underset{R}{10^{+3}} \times \underset{C}{10^{-7}}} = -0,5\,V$$

ou encore

$$V_s(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^{50µs} V_e(t)\,dt + V_s(0^-) \quad (t = 50µs,\ V_s(0^-) = 0)$$

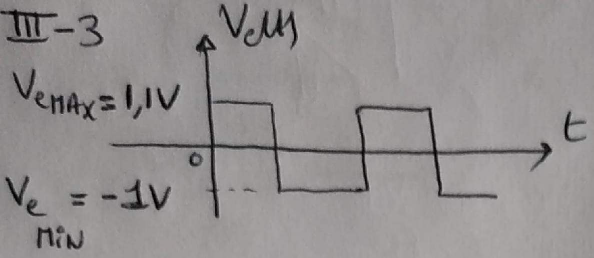
$$\Rightarrow V_s(50µs) = -\frac{1}{RC} \int_0^{50µs} V_{eMAX}\,dt$$

$$= -\frac{1}{RC} \Big[ V_{eMAX}\, t \Big]_0^{50µs}$$

$$V_s(50µs) = \frac{-V_{eMAX}}{RC}\, t = -0,5\,V$$

* Lorsque $V_e(t)$ change de signe le signal rejoint la valeur nulle (même pente au signe près / même durée)

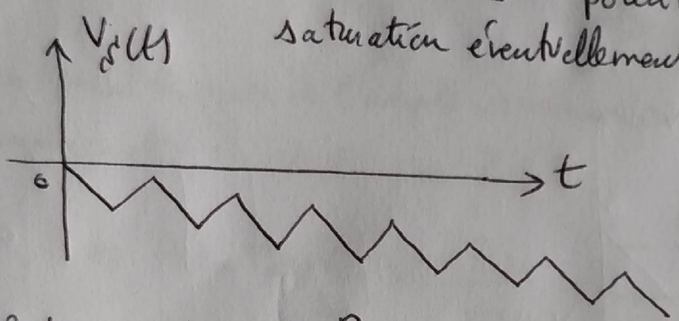
III-3



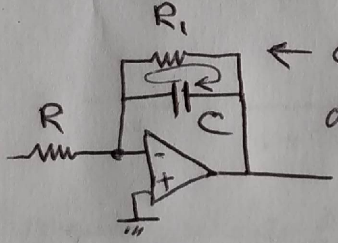

$\Rightarrow V_{eMAX} > V_{eMIN}$

$\Rightarrow$ la pente du signal de sortie est plus grande en valeur absolue lorsque $V_e = V_{eMAX}$

$\Rightarrow$ Dérive de la sortie vers les potentiels négatifs, jusque la saturation éventuellement




solution




← on rajoute une résistance qui décharge doucement C

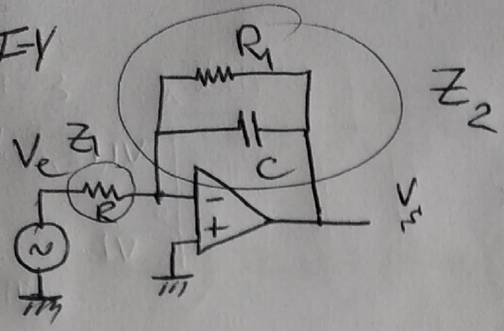
Pour ne pas modifier sensiblement le fonctionnement de l'intégrateur, il faut que la constante de temps $R_1C$ soit grande devant la période du signal d'entrée

$$R_1C > T$$

$\Rightarrow R_1 > \frac{T}{C}$ on peut prendre par exemple $\boxed{R_1 = 10\frac{T}{C}}$

10 kΩ

IV-1






$Z_1 = R$ ⚠ Valable uniquement en sinusoïdal

$Z_2 = R_1 \parallel \frac{1}{jC\omega}$

$Z_2 = \left(\frac{1}{R_1} + jC\omega\right)^{-1} = \left(\frac{1+jR_1C\omega}{R_1}\right)^{-1}$

$\Rightarrow Z_2 = \frac{R_1}{1+jR_1C\omega}$

* on prend le gain de l'ampli inverseur en remplaçant $R_2$ et $R_1$ par $Z_2$ et $Z_1$

$$\Rightarrow A_v = T = \frac{v_s}{v_e} = \frac{-Z_2}{Z_1} = \frac{-\frac{R_1}{1+jR_1C\omega}}{R}$$

IV-2

$$= -\frac{R_1}{R} \times \frac{1}{1+jR_1C\omega} = -\frac{R_1}{R} \times \frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_c}}$$

$\boxed{\text{avec } \omega_c = \frac{1}{R_1C} \text{ pulsation de coupure}}$

* à basses fréquences $\omega = 2\pi f \to 0$

et $A_{v_{BF}} = -\frac{R_1}{R} = T_{BF}$

* à hautes fréquences $|A_v(\omega)| = \frac{R_1}{R} \times \frac{1}{\sqrt{1+R_1^2C^2\omega^2}} \xrightarrow[\omega \to +\infty]{} 0$

filtre "passe-bas" 1er ordre

IV-3 $T_{BF} = \frac{-R_1}{R} = -10$ V/V

$|T_{BF}| = 10$

$\omega_c = \frac{1}{R_1C} = 10^4$ rad s$^{-1}$ $\Rightarrow f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} = 1591$ Hz

IV-4

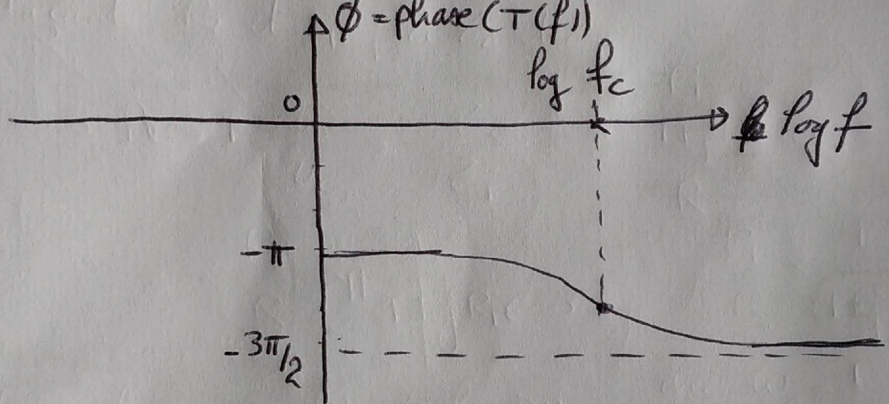
* $A_v = T(\omega) = -\frac{R_1}{R} \times \frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_c}}$

$$phase(T(\omega)) = phase\left(-\frac{R_1}{R}\right) + phase\left(\frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_c}}\right)$$

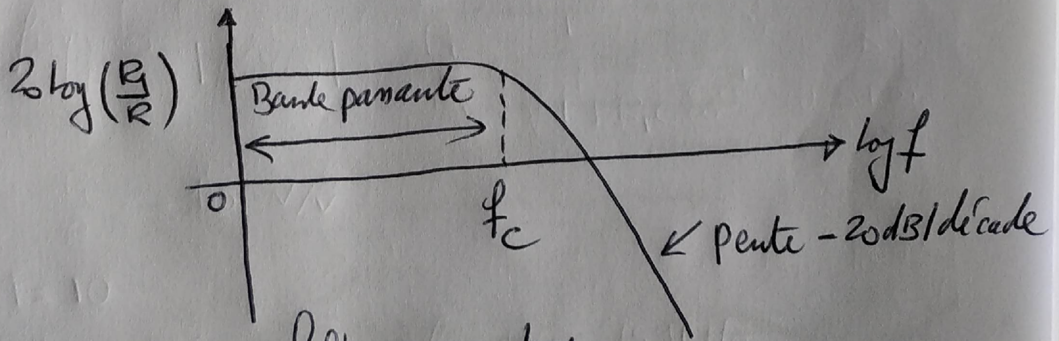
$$= -\pi - phase\left(1+j\frac{\omega}{\omega_c}\right)$$

$$phase(T(\omega)) = -\pi - arctg\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)$$

* en fonction de la fréquence : $phase(T(f)) = -\pi - arctg\left(\frac{f}{f_c}\right)$




* Norme : $T_{dB} = 20 \log(|T(\omega)|)$




filtre passe-bas

IV-5 $V_e = 1V$
$f = 5\,kHz$

en radians

* $\text{phase} = -\pi - \arctan\left(\frac{f}{f_c}\right) = -3{,}14 - \arctan\left(\frac{5\cdot10^3}{1591}\right) = -4{,}40\ \text{rad}$ modulo $2\pi$

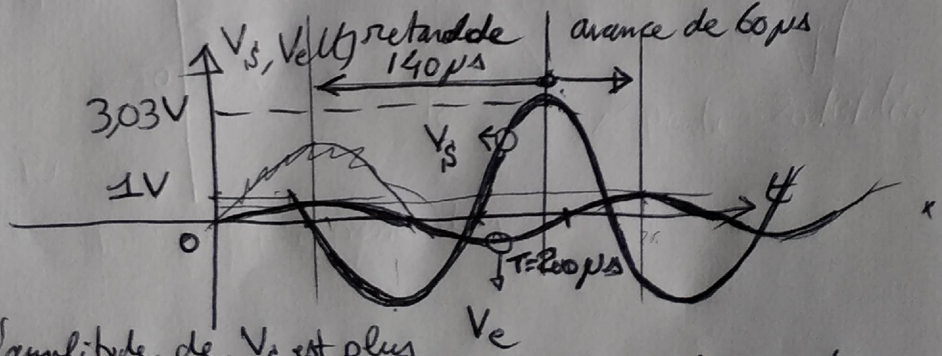
$\text{phase} = -4{,}4\ \text{rad}$ $\boxed{\text{ou}}$ $\boxed{-4{,}4 + 2\pi = 1{,}88\ \text{rad}}$

Décalage temporel : $V_s$ en retard de $-4{,}4$ rad
$\boxed{\text{ou}}$ $V_s$ en avance de $1{,}88$ rad

$$\frac{\phi}{2\pi} = \frac{\Delta t}{T} \Rightarrow \Delta t = \frac{\phi}{2\pi} \times T$$
$$= \frac{1{,}88}{2\pi} \times \frac{1}{f} = \frac{1{,}88}{2\pi} \times \frac{1}{5\cdot10^3}$$
$$\boxed{\Delta t = 60\,\mu s}$$

* norme :
$$|V_s| = |T| \times \underset{1V}{|V_e|}$$
$$= \underbrace{\frac{R_1}{R} \times \frac{1}{\sqrt{1+(R_1 C\omega)^2}}}_{|T|} \times 1 = \frac{10\,k\Omega}{1\,k\Omega} \times \frac{1}{\sqrt{1+(10^4 \times 10^{-8} \times 2\pi \times 5\cdot10^3)^2}}$$
$$\Rightarrow \boxed{|V_s| = 3{,}03\,V}$$

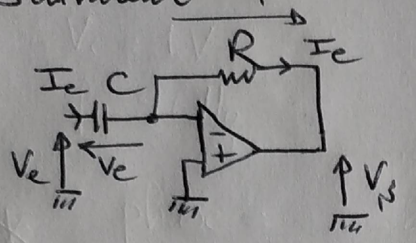
$\Rightarrow$




Remarque : l'amplitude de $V_s$ est plus grande que $V_e$ même en dehors de la bande passante (à cause du gain $\frac{R_1}{R}$)

# V / Derivateur

V-1/

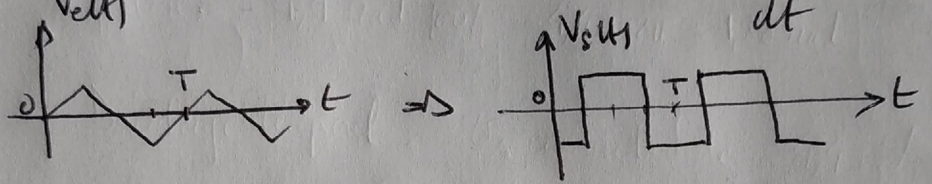



$$I_e = C \frac{dV_e(t)}{dt}$$

$$V_s = -R I_e$$

$$\Rightarrow V_s = -RC \frac{dV_e(t)}{dt} \quad \text{derivateur}$$

V-2/



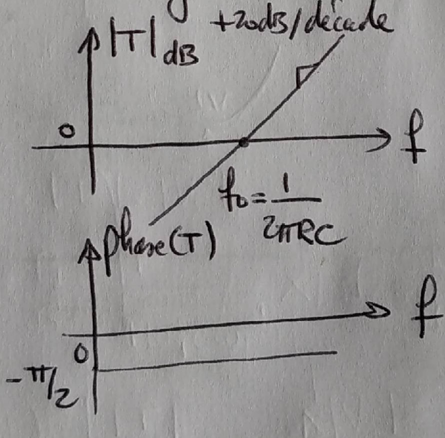

V-3/

$Z_2 = R$ / $Z_1 = \frac{1}{jC\omega}$

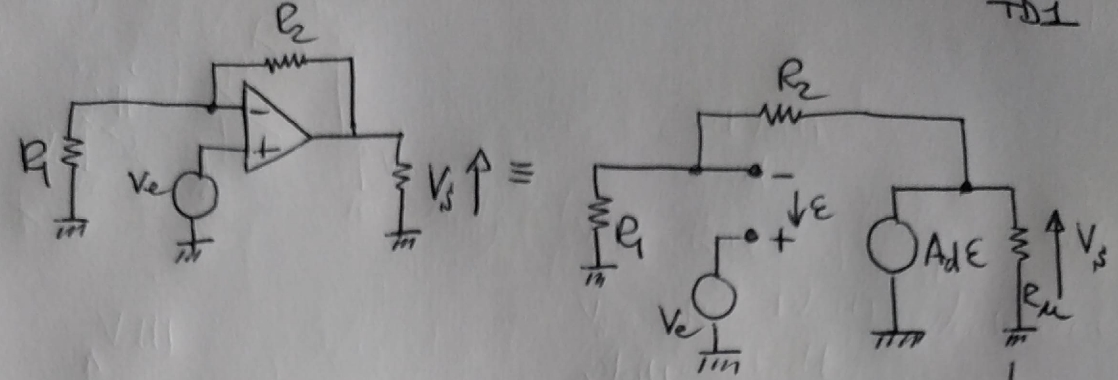
$$T(\omega) = \frac{V_s}{V_e}(\omega) = \frac{-R}{\frac{1}{jC\omega}} = -jRC\omega$$

→ gain nul à basse fréquence

→ gain proportionnel à f



## VI-1




Ru ne joue aucun rôle

$$\begin{cases} V_s = A_d\,\varepsilon \\ \varepsilon = V_e^+ - V_e^- = V_e - V_e^- \\ V_e^- = V_s \dfrac{R_1}{R_1+R_2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_s = A_d \left( V_e - V_s \frac{R_1}{R_1+R_2} \right)$$

$$V_s\left(1 + A_d \frac{R_1}{R_1+R_2}\right) = A_d V_e$$

## VI-2

$$\Rightarrow \frac{V_s}{V_e} = \frac{A_d}{1 + A_d \dfrac{R_1}{R_1+R_2}} = \frac{R_1+R_2}{\underbrace{\dfrac{R_1+R_2}{A_d}}_{\text{petit}} + R_1}$$

$$= \frac{5{,}7\ \text{k}\Omega}{\dfrac{5{,}7\ \text{k}\Omega}{10^5} + 1\ \text{k}\Omega} = 5{,}6999966$$

au lieu de 5,7 kΩ

erreur de 0,000006 %

c'est fini!