

LP : Amplificateur linéaire intégré (amplificateur opérationnel)

① 3

Niveau : CPGE

- Pré-requis :
- Electrocinétique
 - Théorème de Millman
 - ~~Réseau temporel~~
 - Milieux magnétiques
 - Notations complexes

Plan :

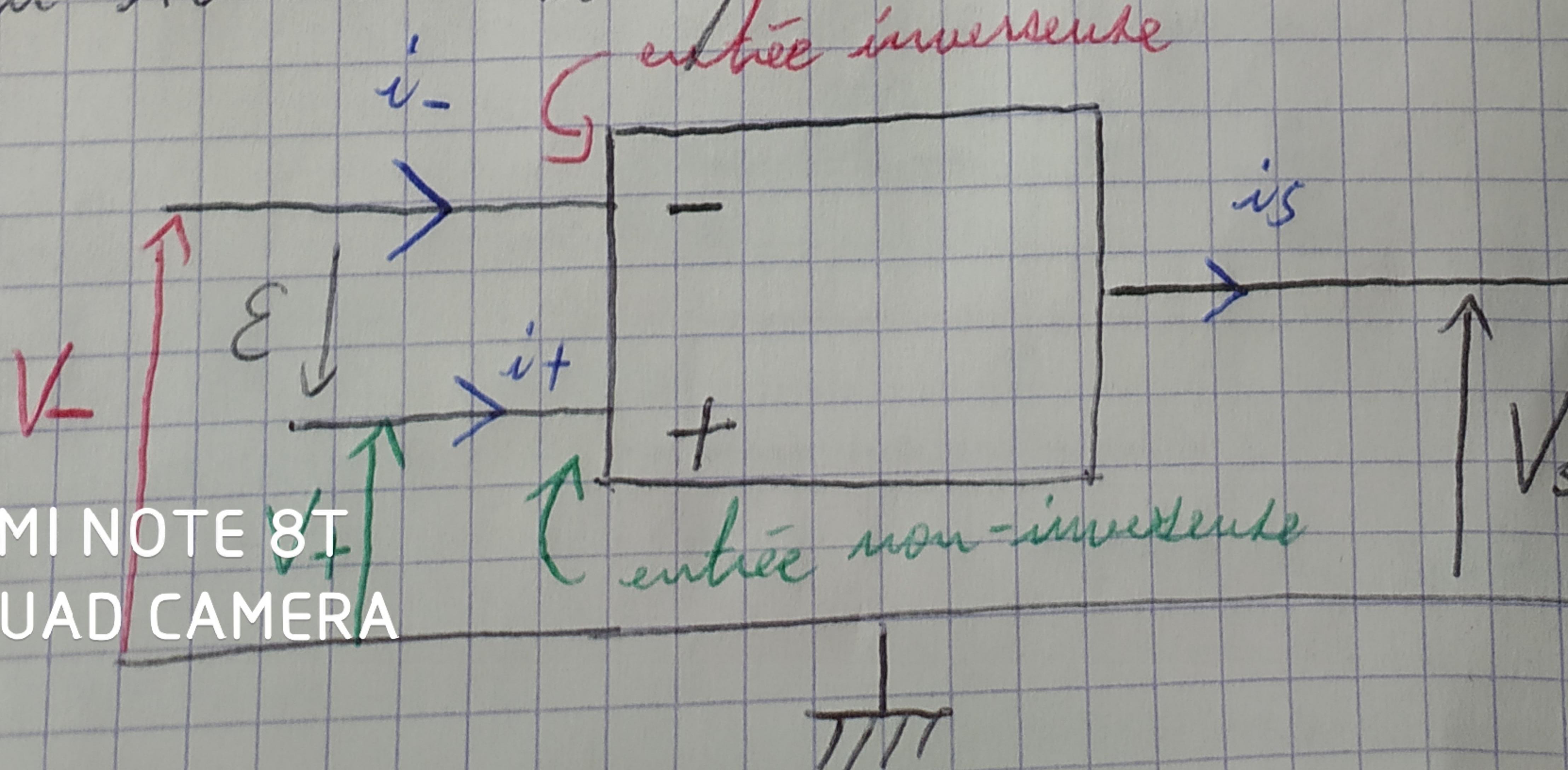
Introduction : L'amplificateur linéaire intégré (ALI), également appelé amplificateur opérationnel (AO) est un composant électronique de base extrêmement important car il permet de réaliser un grand nombre d'opérations linéaires (ou non-linéaires) sur des signaux présents dans énumérément de circuits électroniques.

⇒ Le but de cette leçon est ~~d'expliquer~~ de manière non exhaustive à que permet de faire ce composé électronique.

I) Présentation de l'amplificateur opérationnel.

1) L'AO idéal.

- Un AO idéal est représenté de la manière suivante :



On définit E :

$$E = V_+ - V_-$$

V_o Tension de sortie

- L'amplificateur opérationnel est traité dans cette leçon comme une boîte noire. Le principe d'un AO est d'amplifier la différence de tension $E = V_+ - V_-$. Pour ce faire, deux branches de l'AO sont reproducteur alimentées par des sources de tension continues égales $+15V$ et $-15V$.

- La caractéristique entrée-sortie de l'AO en régime linéaire est :

$$V_s = \mu_0 (V_+ - V_-) = \mu_0 E \quad \mu_0 \equiv \text{gain}$$

- Dans le modèle de l'AO idéal : \rightarrow en pratique $\mu_0 = 10^5$

- * μ_0 est infini ce qui implique que $E = V_+ - V_- = 0$ pour avoir une tension V_s finie

$$\Rightarrow V_+ = V_-$$

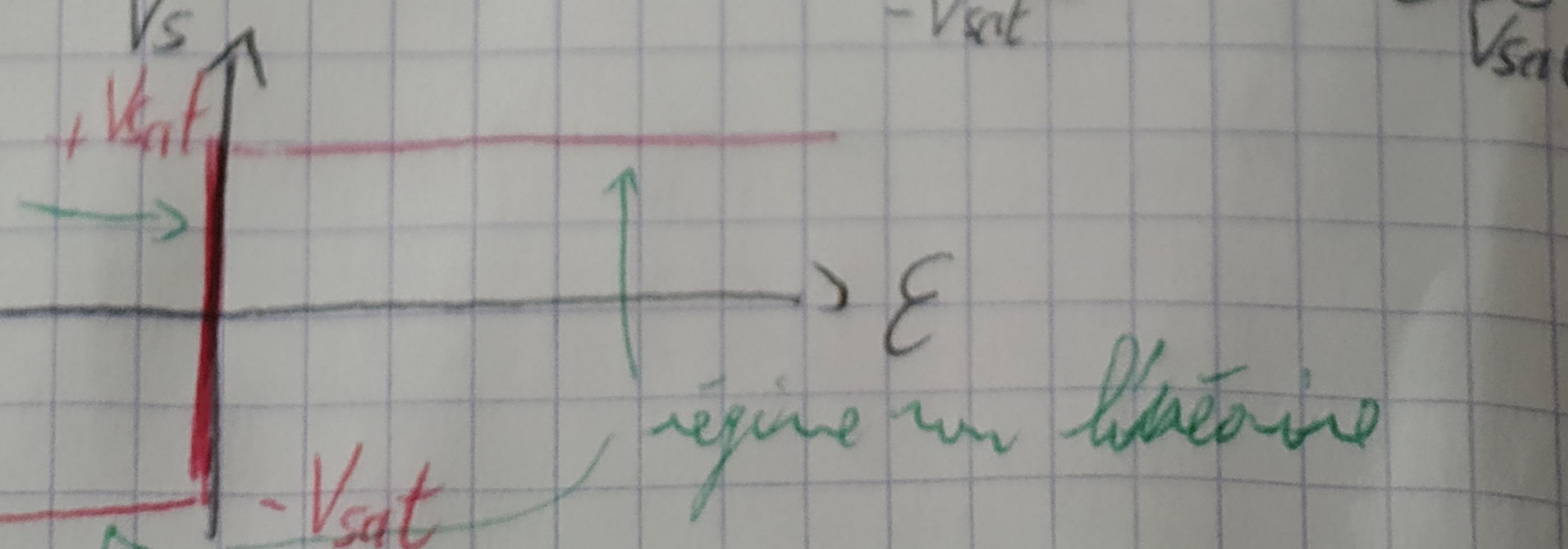
- * L'impédance d'entrée de l'AO est infinie ce qui impose $i_+ = i_- = 0$

Remarque 1: On admet que pour fonctionner en régime linéaire, il est nécessaire de relier la sortie à l'entrée inverse (\leftarrow).

Remarque 2: On comprend que la ^{tension de} sortie ne peut pas être aussi grande qu'on le souhaite car cela suppose que les sources de tension puissent fournir une puissance infinie.

\hookrightarrow En pratique V_s ne peut dépasser les tensions d'alimentation $\Rightarrow -15V \leq V_s \leq +15V$

Caractéristique
entrée-sortie $\mu_0 = 10^5$
régime linéaire

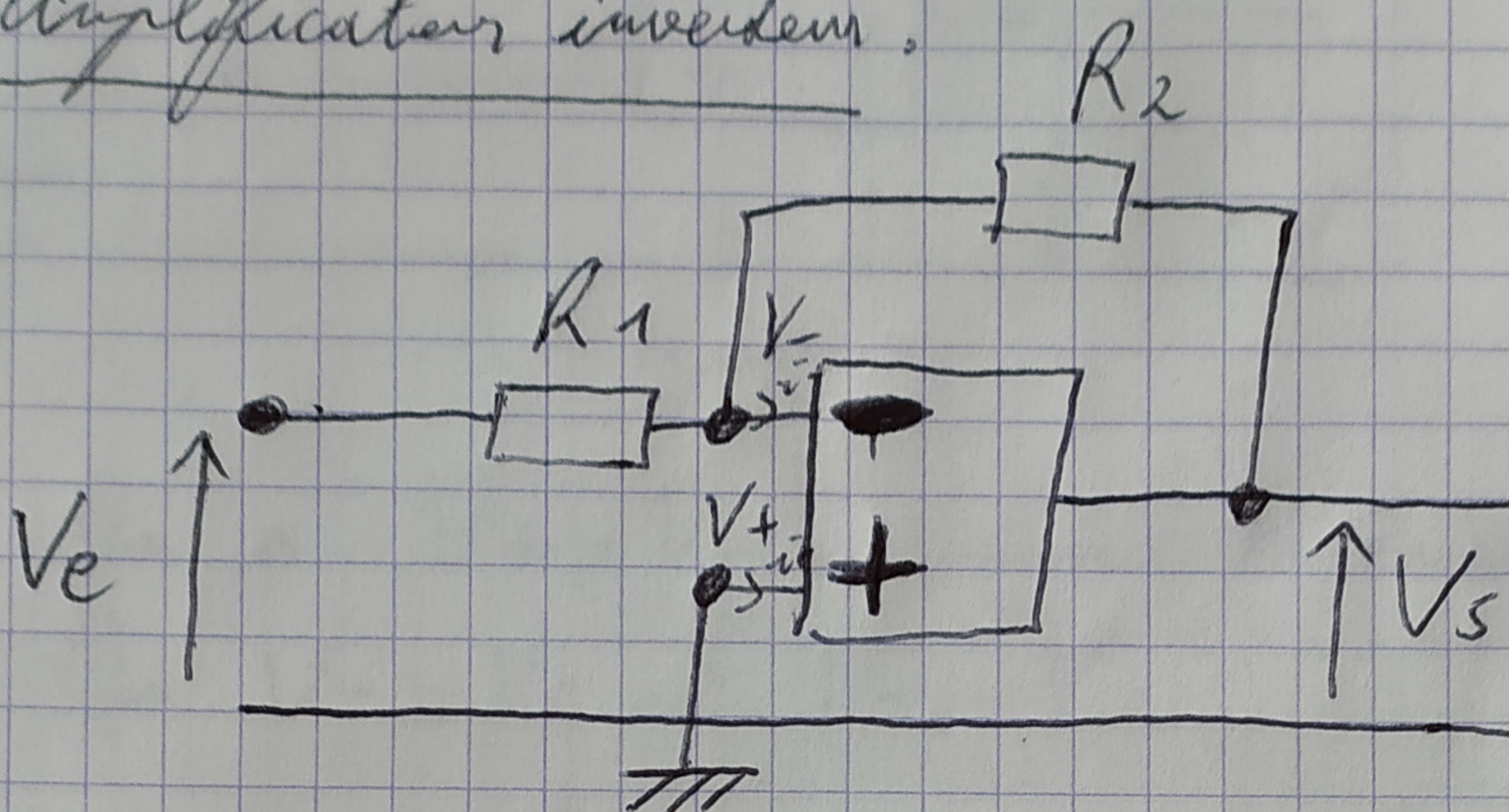


2) Quelques montages de base.

③

a) Montages amplificateurs :

- * Amplificateur inverseur :



$$i_- = i_+ = 0$$

⇒ On explique le théorème de Millman en V_-
(possible car $i_- = 0$):

$$\frac{(V_e - V_-)}{R_1} + \frac{(V_s - V_-)}{R_2} = 0$$

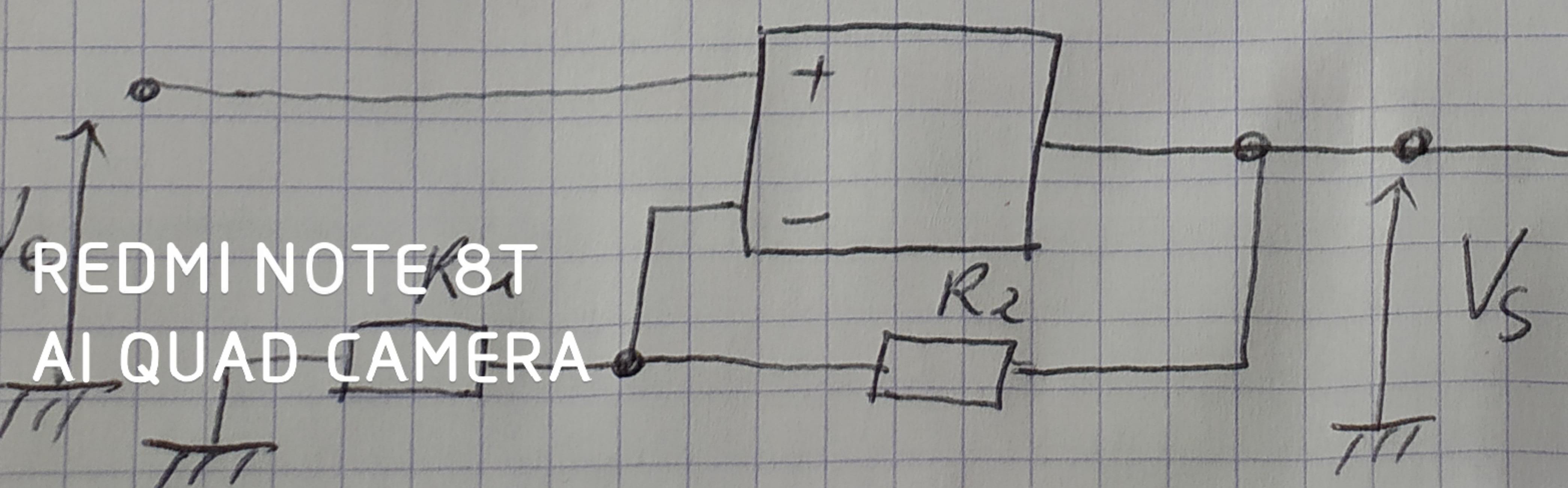
$$\Rightarrow \text{Or } V_- = V_+ = 0$$

$$\Rightarrow \frac{V_e}{R_1} + \frac{V_s}{R_2} = 0 \Rightarrow \boxed{V_s = -\left(\frac{R_2}{R_1}\right)V_e}$$

⇒ * On voit que si $R_2 > R_1$, alors l'amplitude de la tension de sortie est plus grande

- * le C- justifie le nom (inverseur)
- * peut aussi diminuer tension

- * Amplificateur non-inverseur :



Un calcul similaire nous montre que

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

⇒ toujours amplifie avec ligne +

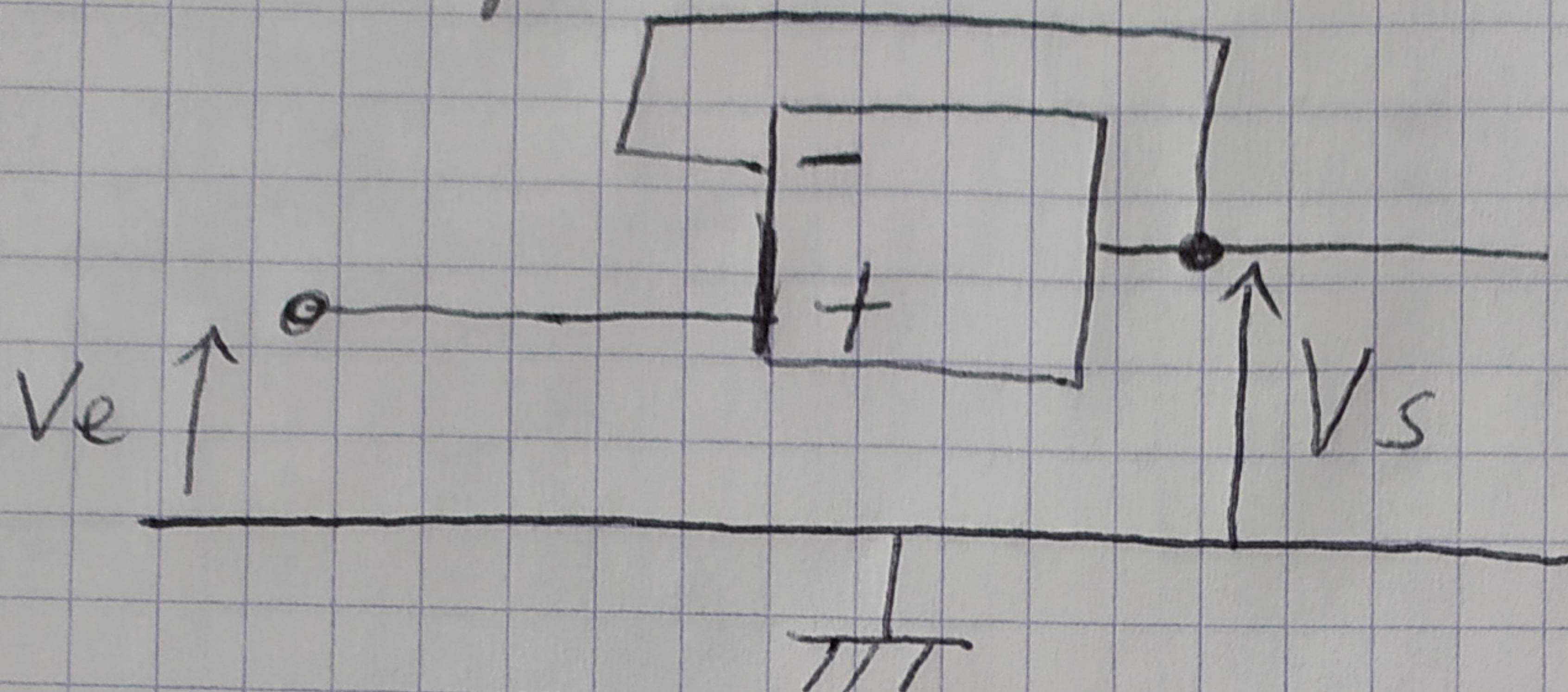


REDMI NOTE 8T
AI QUAD CAMERA

b) Montage suiveur.

④

- Le montage suiveur est le suivant :



On a $V_+ = V_-$ en régime linéaire.

Or $V_- = V_s$ et $V_+ = V_o$

Le montage réalise $V_o = V_s$

↳ Quelle est son utilité ?

SLIDER :

① Dire que l'on charge un condensateur en mettant l'interrupteur sur 1,

② Dire que l'on met alors l'interrupteur sur 2
↳ condensateur chargé, décharge non possible
car circuit ouvert

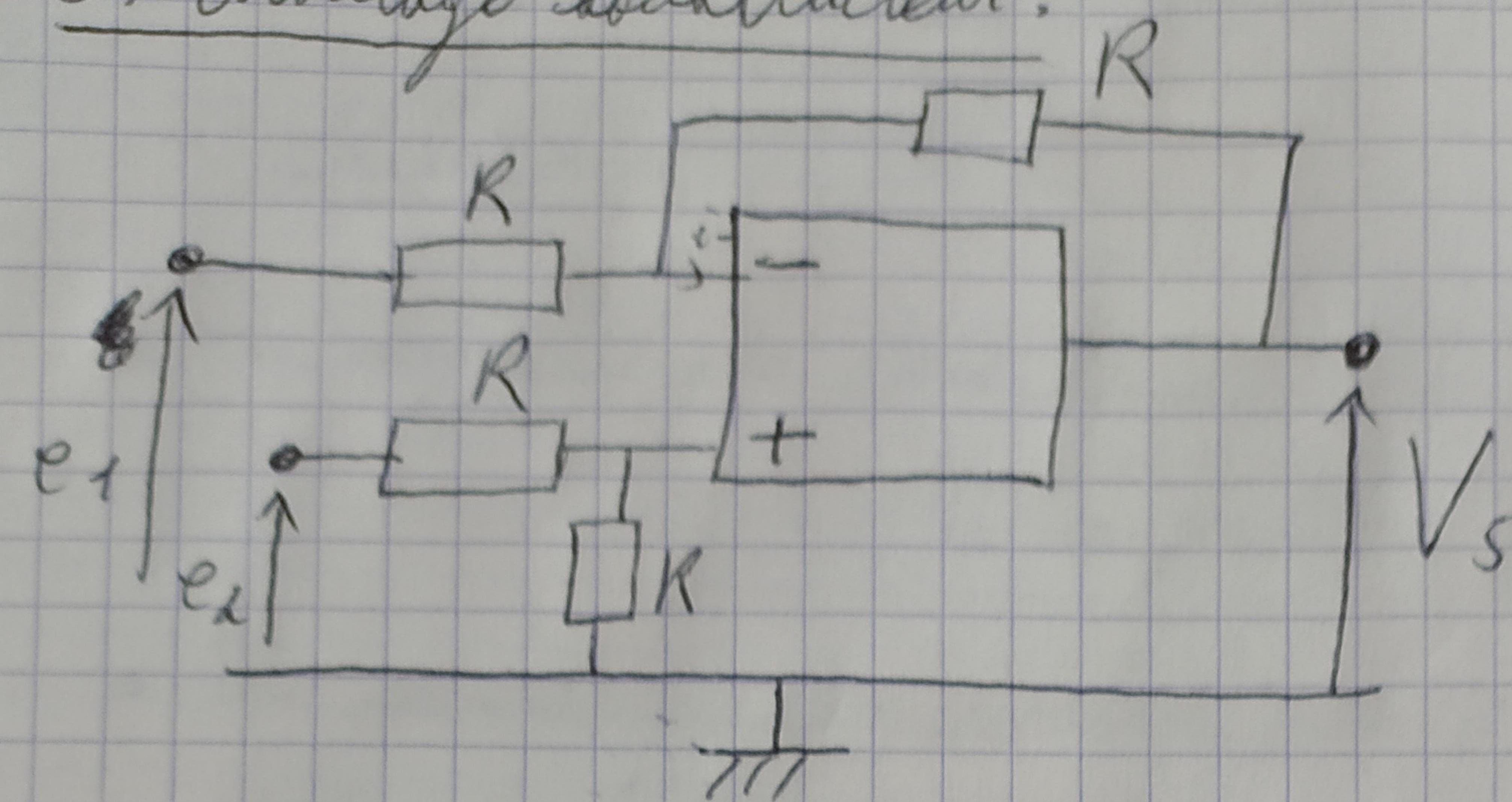
③ Dire que l'on mesure avec un voltmètre la tension entre A et la masse
↳ celle-ci diminue, la mesure ferme le circuit et le probline

④ Répéter ① et ② et mesurer cette fois-ci entre S et la masse \Rightarrow plus ce probline

↳ Un suivre peut d'isoler l'appareil de mesure du circuit



c) Montage soustracteur.



$$i^- = i^+ = 0$$

* On applique le théorème de Millman en - :

$$\frac{(e_1 - V_-)}{R} + \frac{(V_s - V_-)}{R} = 0$$

en + : $\frac{(e_2 - V_+)}{R} - \frac{V_+}{R} = 0 \Rightarrow e_2 = 2V_+$

$$e_2 = 2V_-$$

$$V_- = \frac{e_2}{2}$$

$$\Rightarrow e_1 - \frac{e_2}{2} + V_s - \frac{e_2}{2} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{V_s = e_2 - e_1}$$

SLIDE 3 :

* Fixe sur l'exemple d'une présente qu'un soustracteur (argument la valeur de commande à la valeur attendue pour le système) peut être utile pour assurer un système à fonctionner dans le régime-volu

II) Limitations et stabilité.

⑥

1) Stabilité.

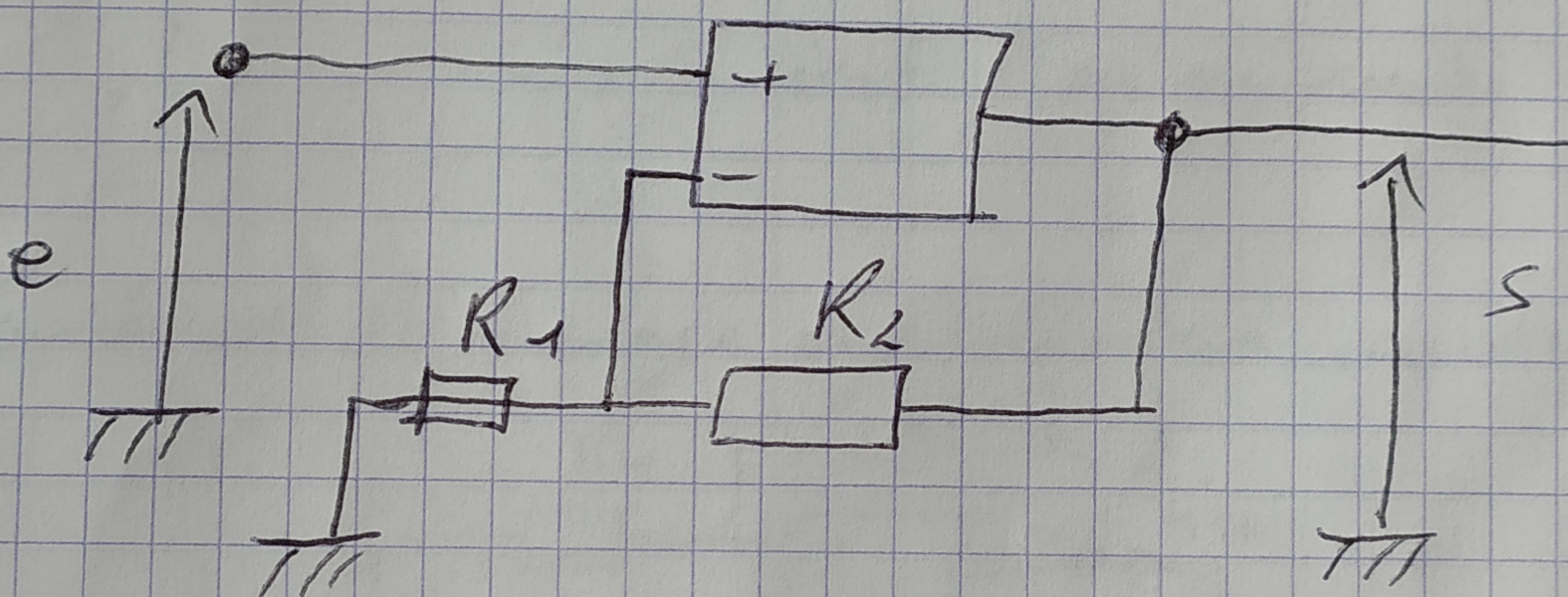
- * On rappelle que dans le cas de l'AD idéal on avait

$$\underline{S} = \mu_0 \underline{E}$$

- * En seconde approximation, la fonction de transfert de l'AD peut être modélisée comme un passe bas du premier ordre :

$$\underline{S} = \frac{\mu_0}{1 + j\omega\tau} \underline{E}$$

- * Revenons sur l'exemple de l'amplificateur non-invertant :



$$\text{Lai } \underline{V}_+ = \underline{e}$$

$$\Rightarrow \underline{S} = \frac{\mu_0}{1 + j\omega\tau} \left(\underline{e} - \frac{\underline{S} R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$\underline{V}_- = \underline{S} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow \underline{S} + j\omega\tau\underline{S} = \mu_0 \underline{e} - \frac{\mu_0 R_1}{R_1 + R_2} \underline{S}$$

$$\Rightarrow \underline{S} \left(1 + \frac{\mu_0 R_1}{R_1 + R_2} \right) + j\omega\tau\underline{S} = \mu_0 \underline{e}$$

$$\hookrightarrow \tau \frac{d}{dt}$$

Dans le domaine

temporel

$$\frac{2}{1 + \mu_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}} \frac{ds}{dt}$$

$$+ s(t) = \frac{\mu_0}{1 + \mu_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}} e(t)$$

$$\frac{1 + \mu_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{2}$$

* Supposons $e = \text{constante}$

\hookrightarrow Si $\mu_0 > 0$, alors $|\mu_0| \gg 1$ le signe de τ est le signe de μ_0

\hookrightarrow Si $\mu_0 > 0 \Rightarrow$ boucle sur boule inverseuse

$\tau' > 0 \Rightarrow$ solution non divergente
 \hookrightarrow stabilité

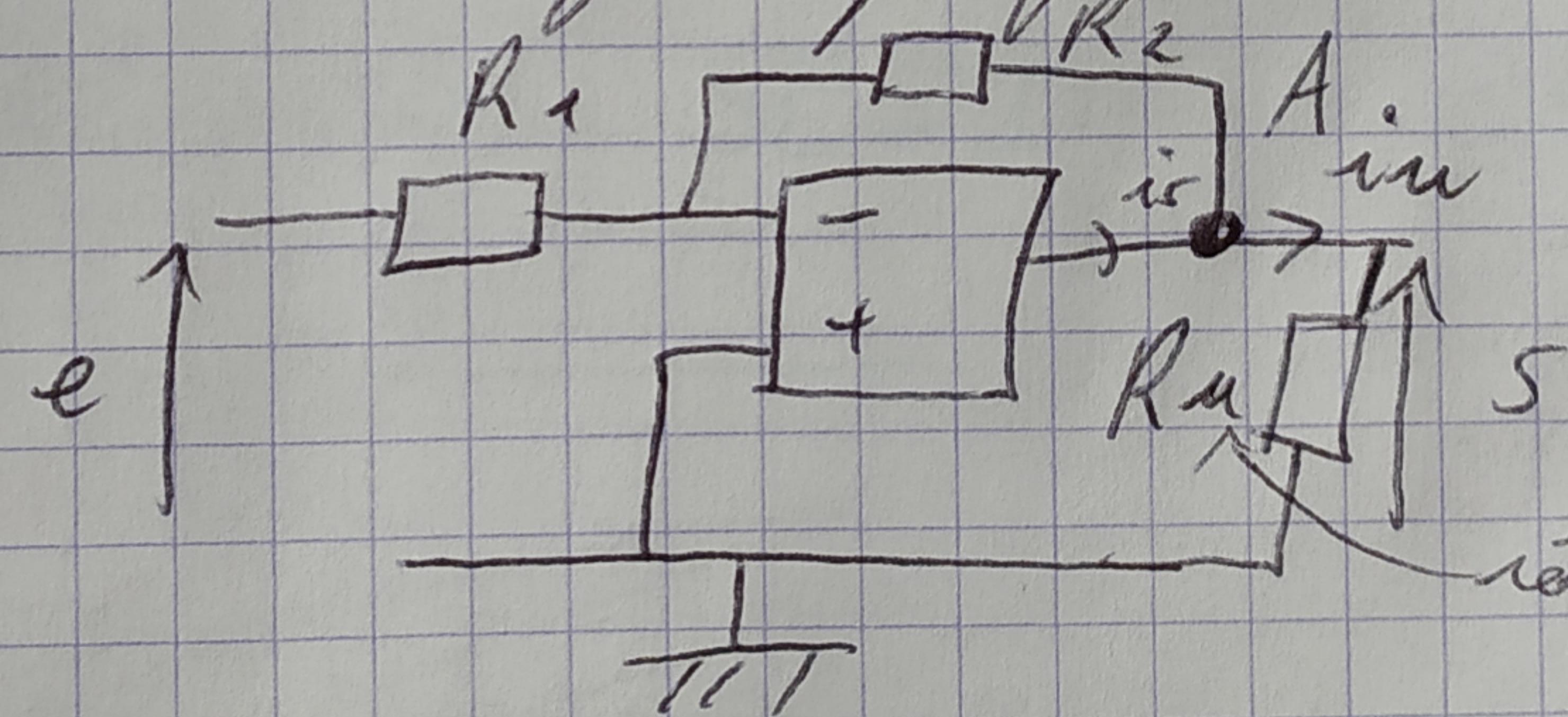
\hookrightarrow Si $\mu_0 < 0 \Rightarrow$ boucle sur boule non-inverseuse

$\tau' < 0 \Rightarrow$ solution divergente
 \hookrightarrow instabilité

2) Limitations.

* En pratique, le courant de sortie ~~max~~ d'un AD est limité :
 $i_S \leq i_{SAT}$ (on va prendre $i_{SAT} = 10 \text{ mA}$)

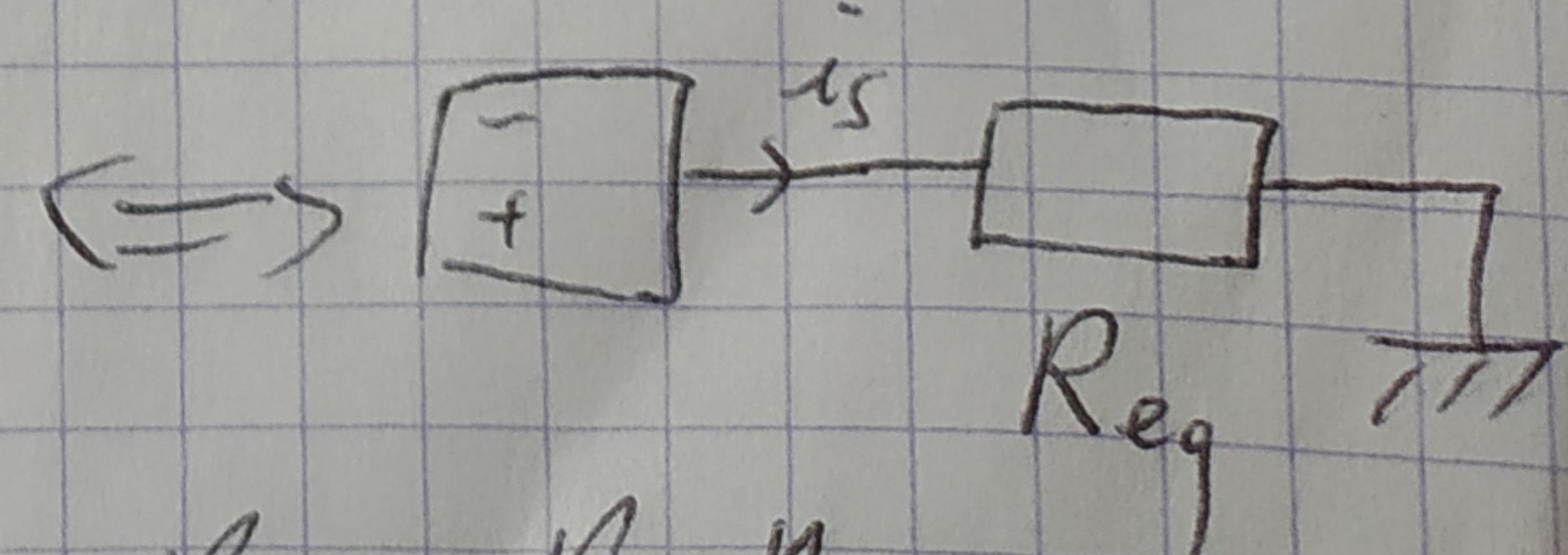
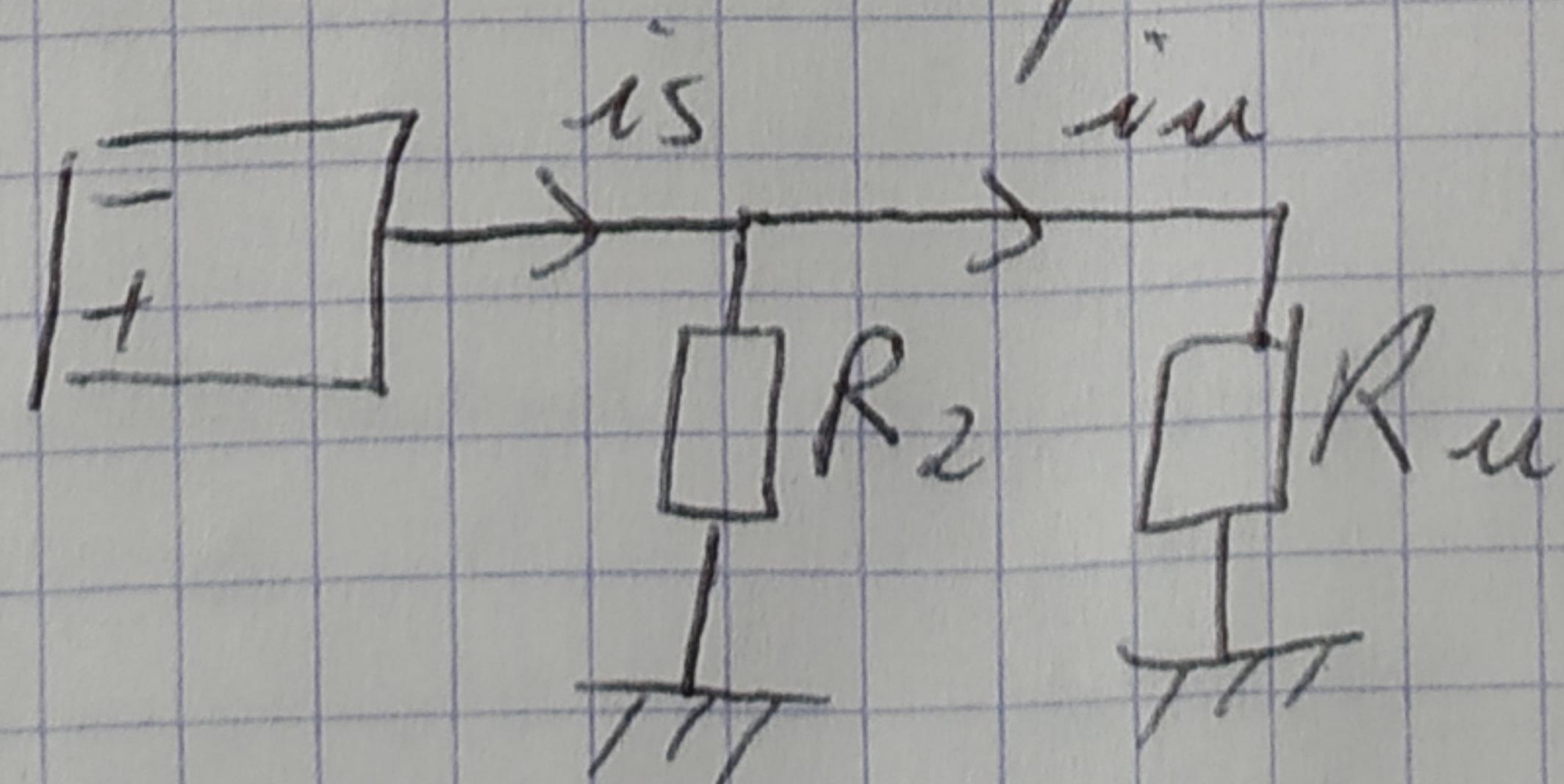
* Considérons le montage amplificateur inverseur :



~~Si $R_2 < R_1$~~
résistance de charge (en temps)
 $R_u = 3 \text{ k}\Omega$

* Imaginons que nous voulons un gain égal à 10 en valeur absolue $\Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 10$

* On a $V_- = V_+ = 0$ donc équivalent



$$Reg = \frac{R_2 R_u}{(R_2 + R_u)}$$

$$i_{max} = \frac{\sqrt{A_{max}}}{R_{eq}} < i_{sat} = 10mA$$

+ 15V

$$\Rightarrow R_{eq} > \frac{V_{1max}}{i_{sat}} > \frac{V_{sat}}{i_{sat}} = 1,5k\Omega$$

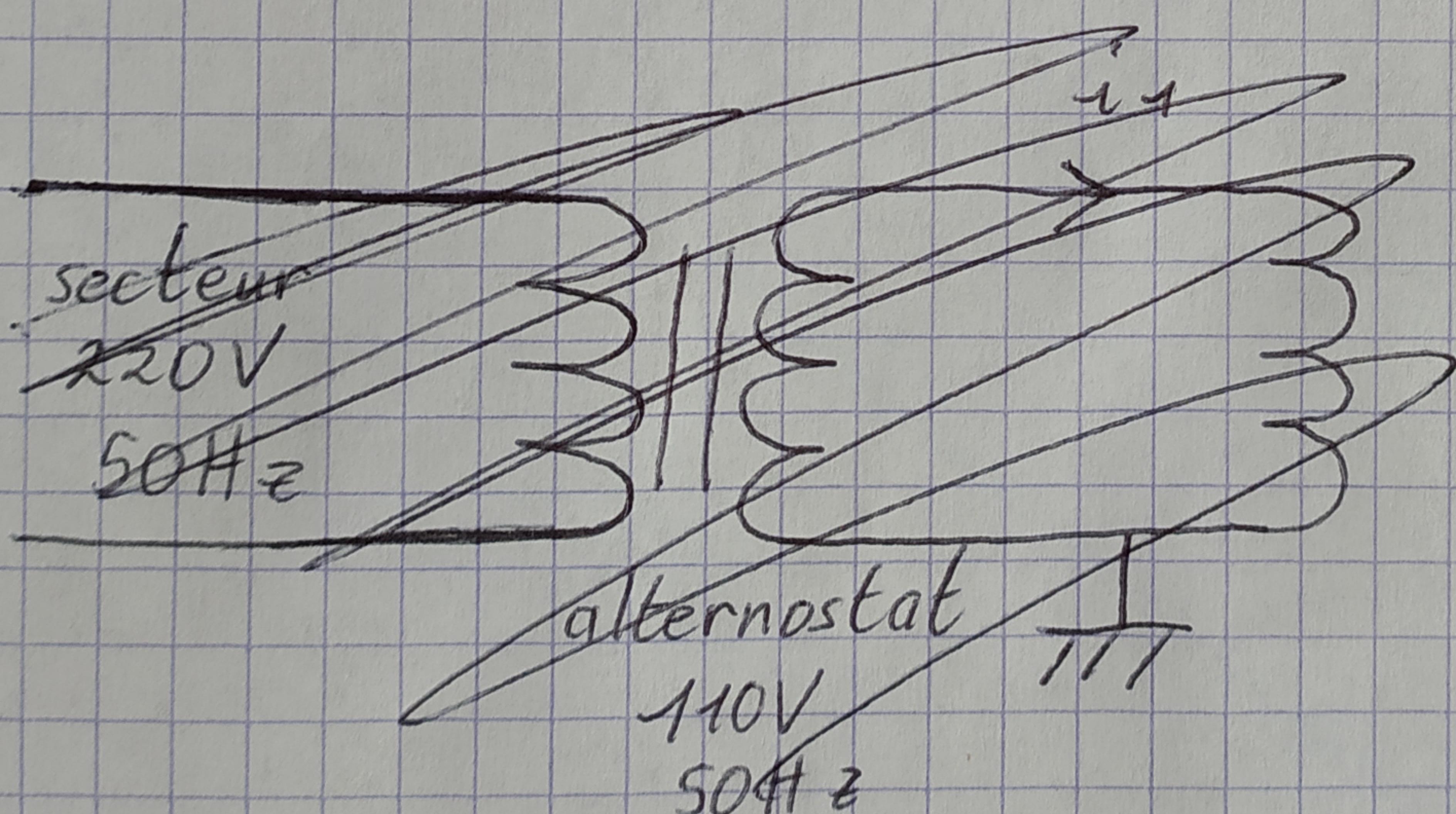
* On a donc $R_2 > \frac{R_u \times \frac{V_{sat}}{i_{sat}}}{R_u - \frac{V_{sat}}{i_{sat}}} = 3k\Omega$

On voit que l'on peut pas choisir n'importe quel jeu de R_1 et R_2 pour que le courant en sortie de l'AO ne change pas.

→ MONTRER SCIDET 4

III) Une application de l'AO à la mesure d'un signal physique.

→ MONTRER SCIDES5 et 6



Conclusion: On a un beaucoup de choices

(s AO servent aussi pour faire du filtrage temporel)