



Cours

ELECTRONIQUE

Dispositifs électroniques à base de l'amplificateur opérationnel

email : [nasser_baghdad @ yahoo.fr](mailto:nasser_baghdad@yahoo.fr)

Contenu du programme

Chapitre I : Généralités sur l'amplificateur opérationnel

Chapitre II : Montages à régime linéaire indépendants de la fréquence

Chapitre III : Montages à régime linéaire dépendants de la fréquence

Chapitre IV : Montages à régime non linéaire

Chapitre V : Oscillateurs sinusoïdaux

Chapitre VI : Multivibrateurs

Chapitre VII : Convertisseurs A/N et NA



Chapitre II

Montages à régime linéaire indépendants de la fréquence

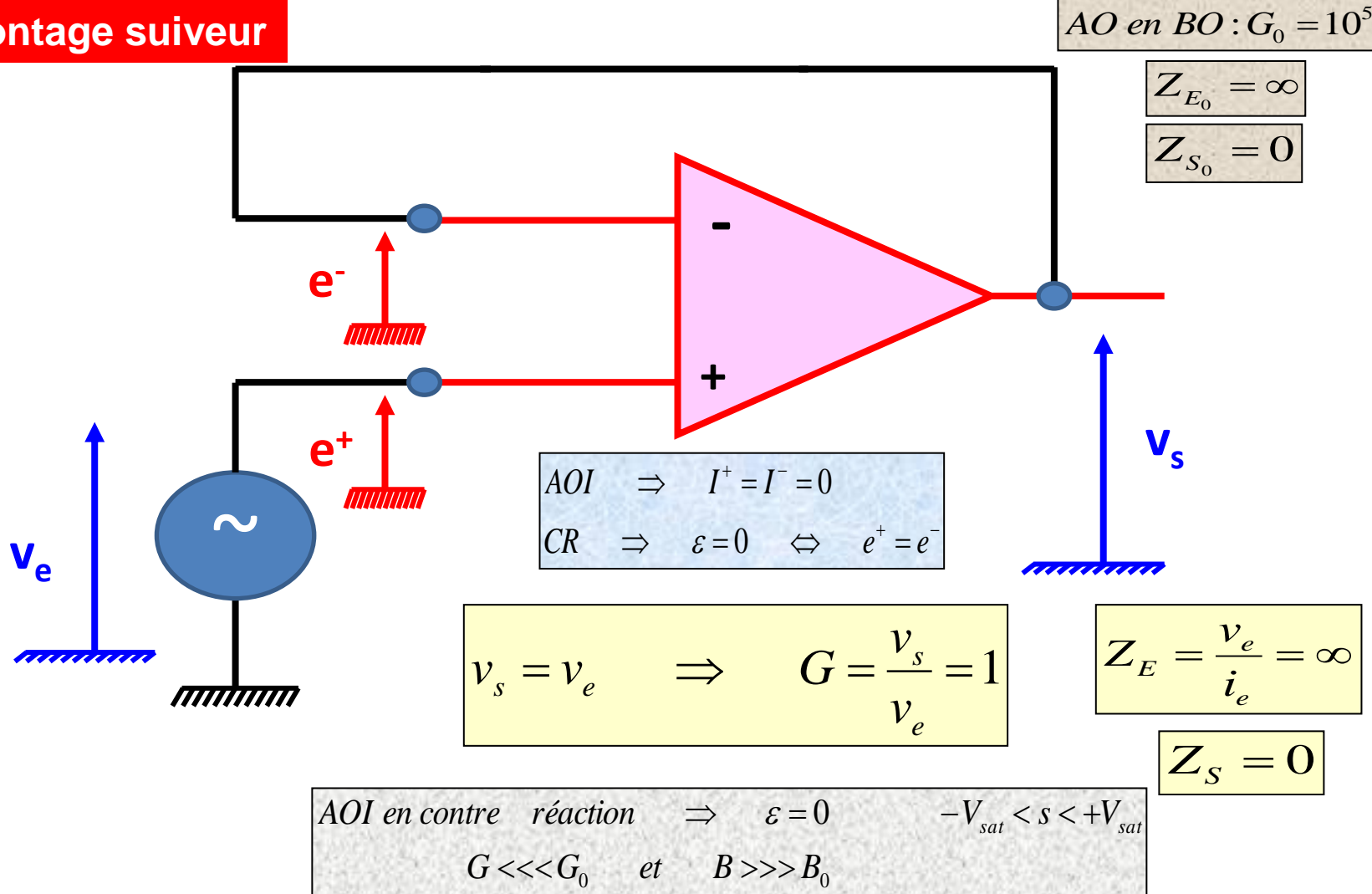


1°) Montages fondamentaux

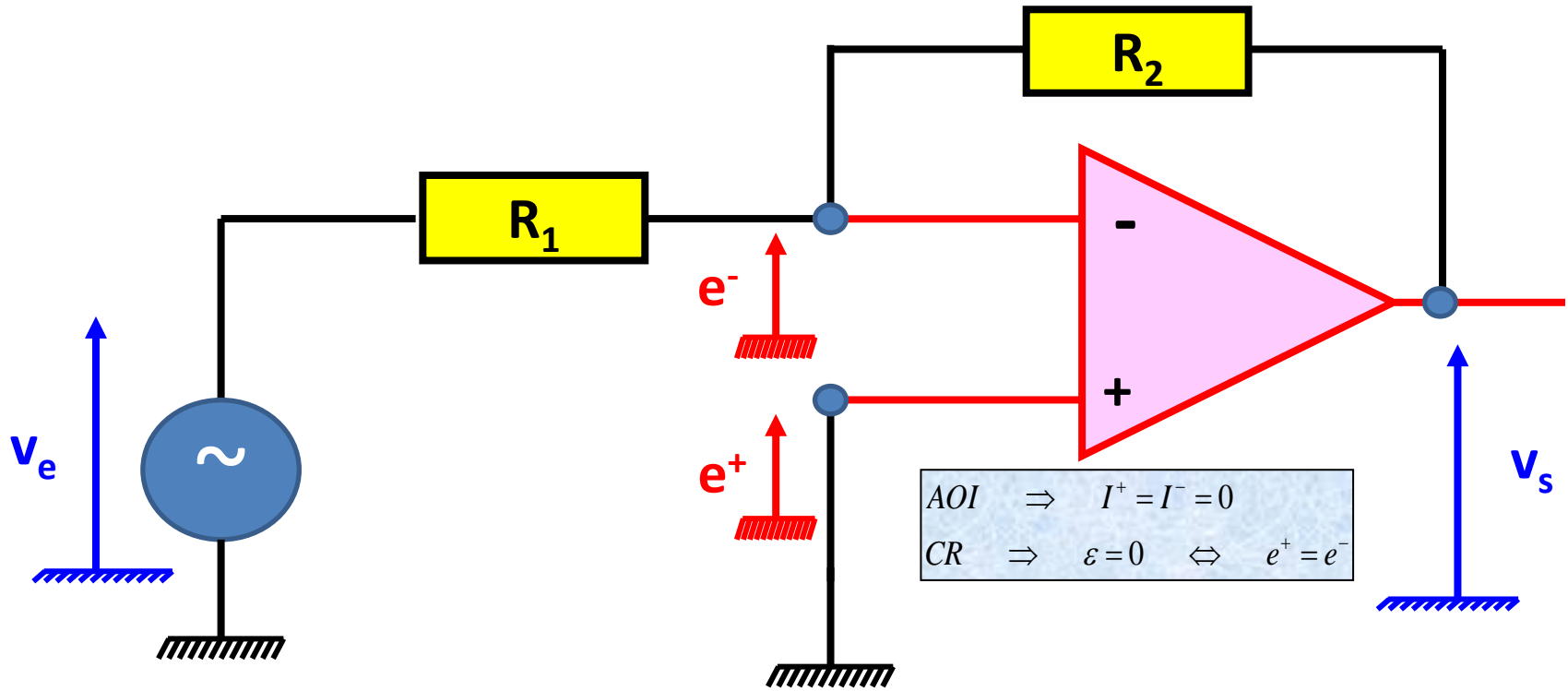
2°) Montages particuliers

1°) Montages fondamentaux

1°) Montage suiveur



2°) Montage amplificateur inverseur



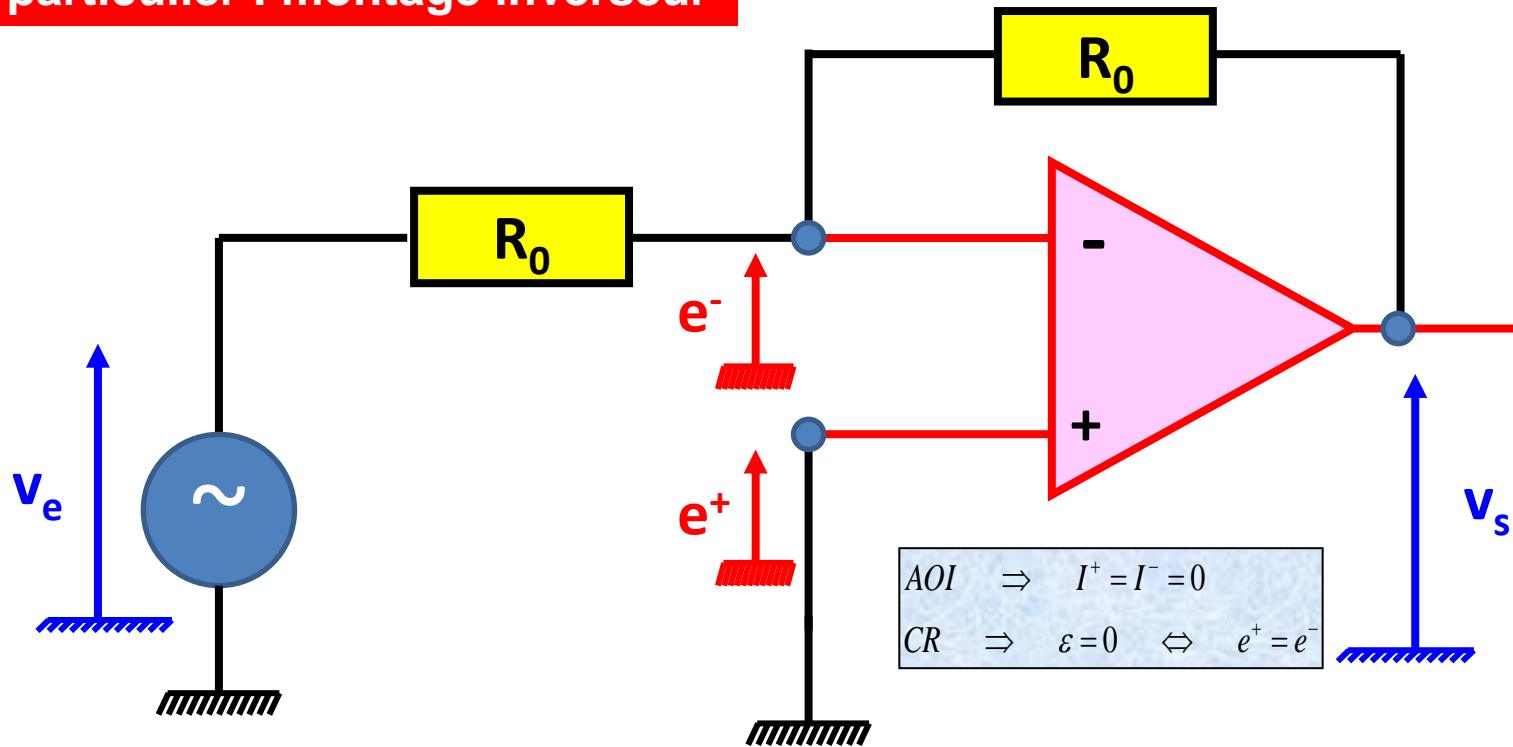
$$\begin{aligned} \text{AOI} &\Rightarrow I^+ = I^- = 0 \\ \text{CR} &\Rightarrow \varepsilon = 0 \Leftrightarrow e^+ = e^- \end{aligned}$$

$$v_s = -\frac{R_2}{R_1} \cdot v_e \Rightarrow G = \frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$Z_E = \frac{v_e}{i_e} = R_1$$

$$Z_S = 0$$

Cas particulier : montage inverseur

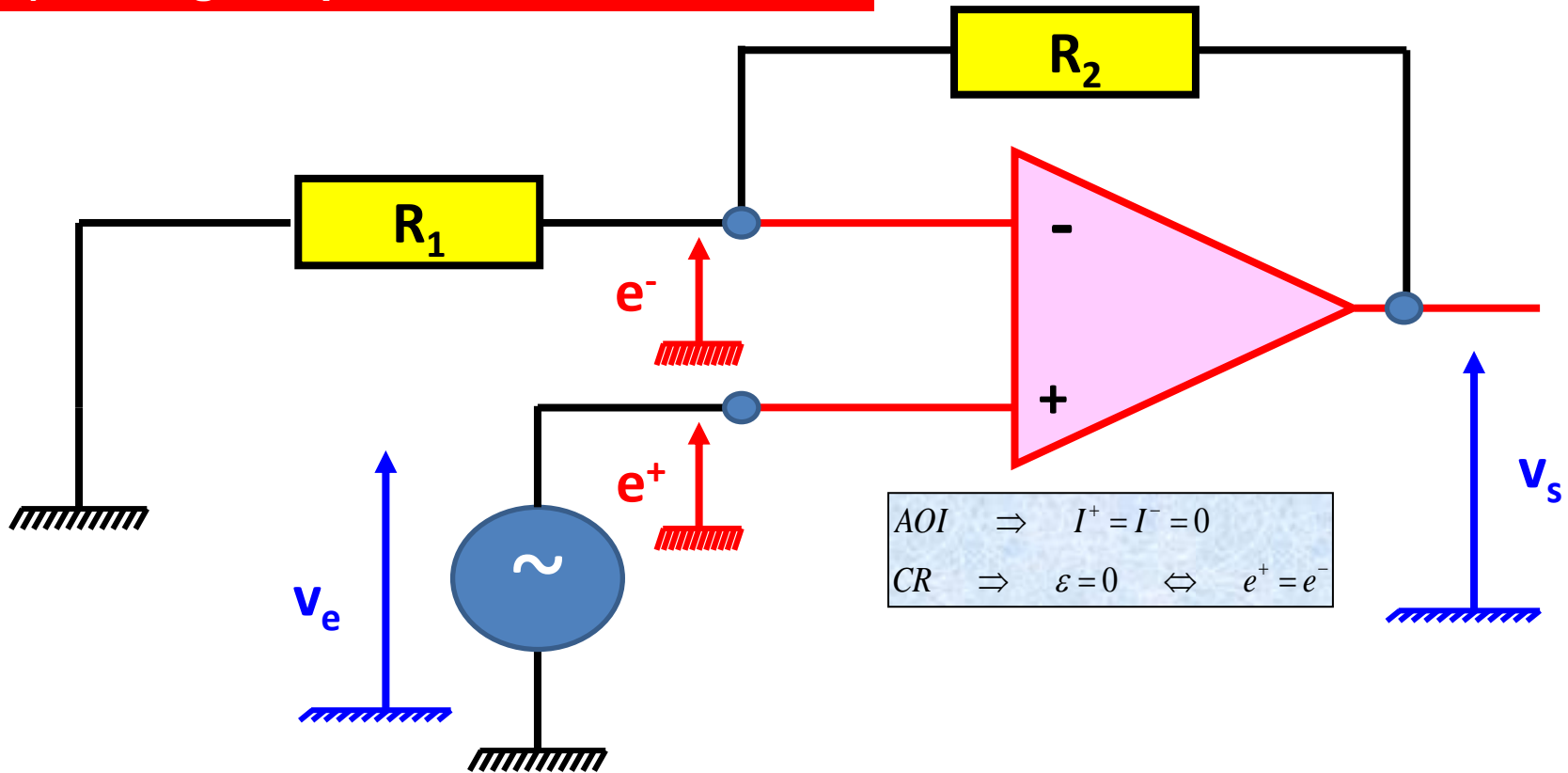


$$v_s = -\frac{R_0}{R_0} \cdot v_e = -v_e \quad \Rightarrow \quad G = \frac{v_s}{v_e} = -1$$

$$Z_E = \frac{v_e}{i_e} = R_0$$

$$Z_S = 0$$

3°) Montage amplificateur non inverseur



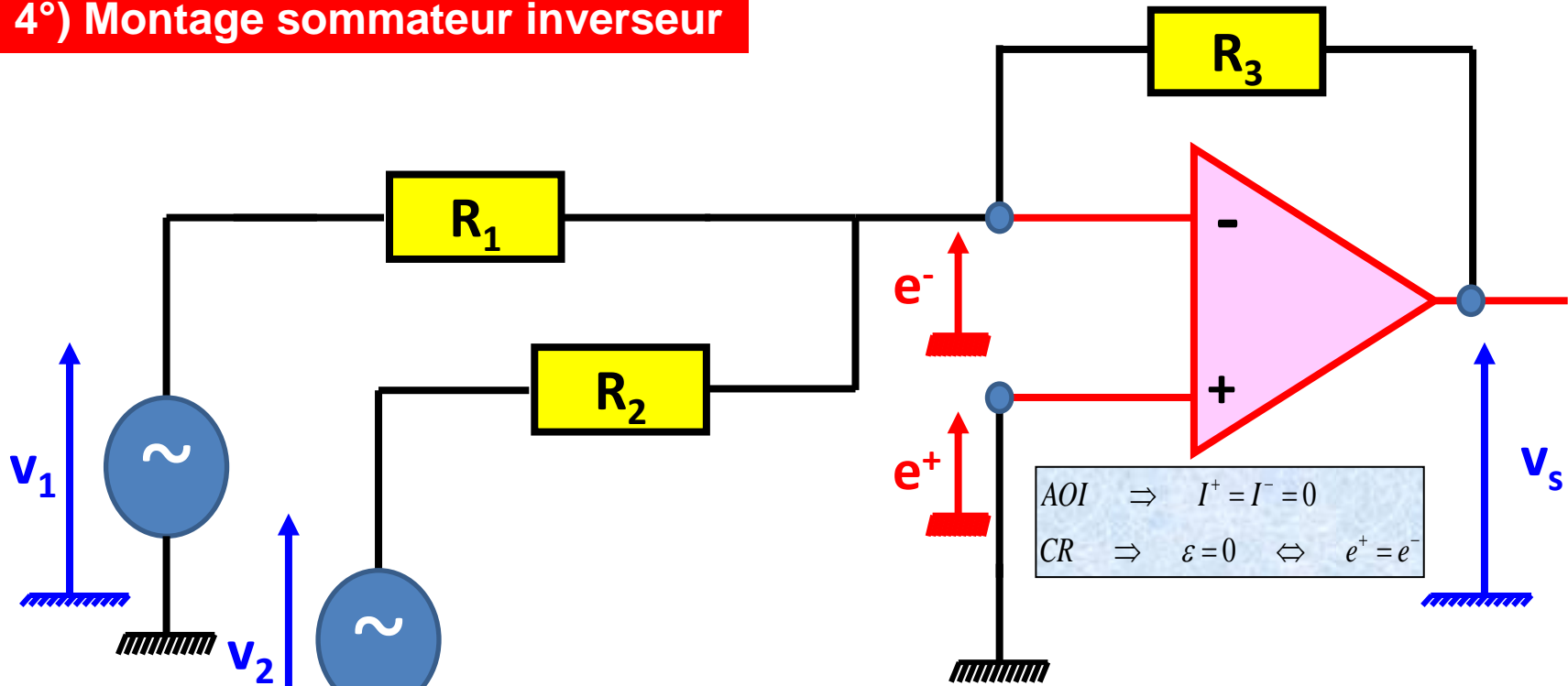
$$\begin{aligned} \text{AOI} &\Rightarrow I^+ = I^- = 0 \\ \text{CR} &\Rightarrow \varepsilon = 0 \Leftrightarrow e^+ = e^- \end{aligned}$$

$$v_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot v_e \Rightarrow G = \frac{v_s}{v_e} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$Z_E = \frac{v_e}{i_e} = \infty$$

$$Z_S = 0$$

4°) Montage sommateur inverseur



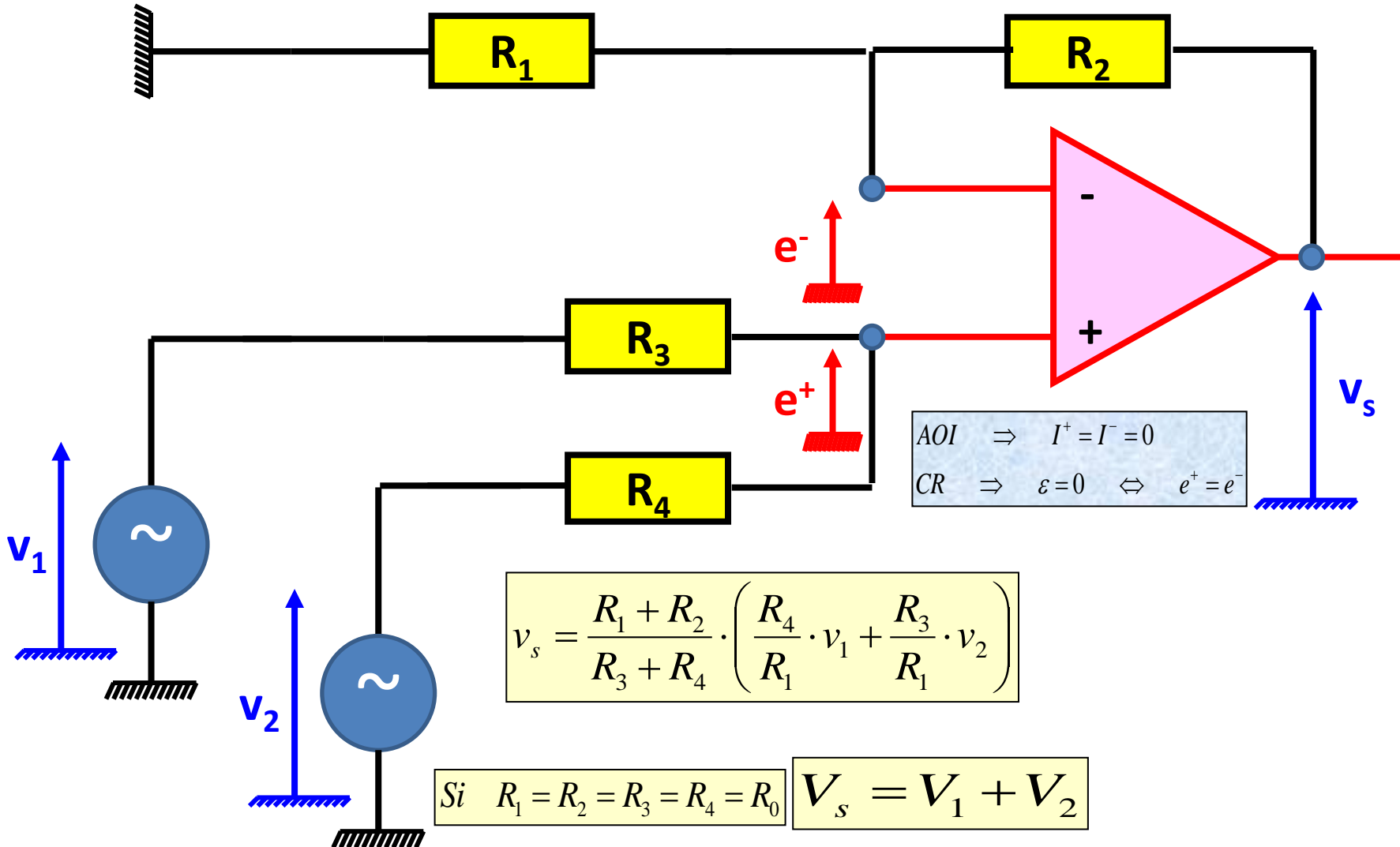
AOI $\Rightarrow I^+ = I^- = 0$
 CR $\Rightarrow \varepsilon = 0 \Leftrightarrow e^+ = e^-$

$$v_s = - \left(\frac{R_3}{R_1} \cdot v_1 + \frac{R_3}{R_2} \cdot v_2 \right)$$

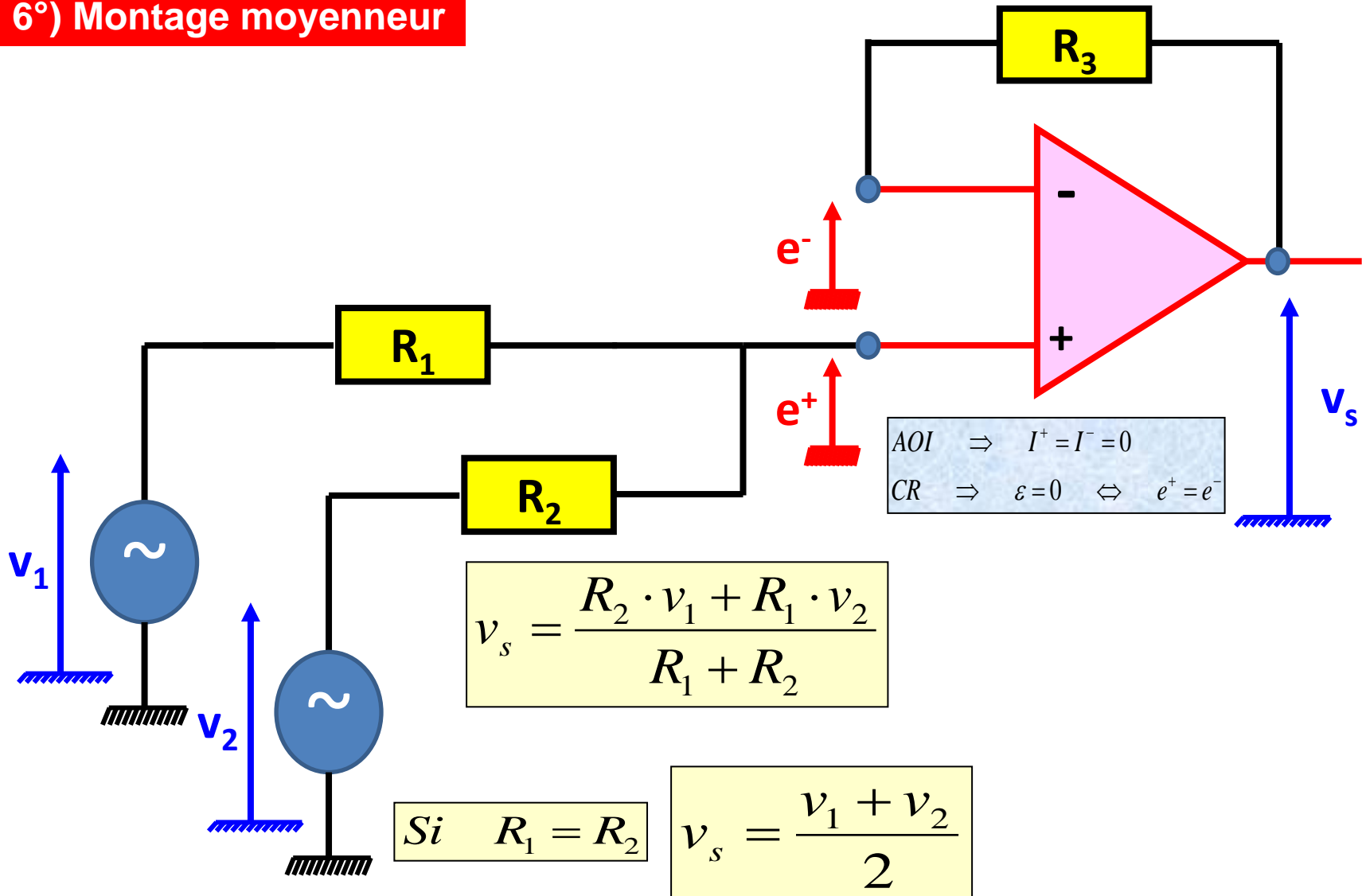
Si $R_1 = R_2 = R_3 = R_0$

$$v_s = - (v_1 + v_2)$$

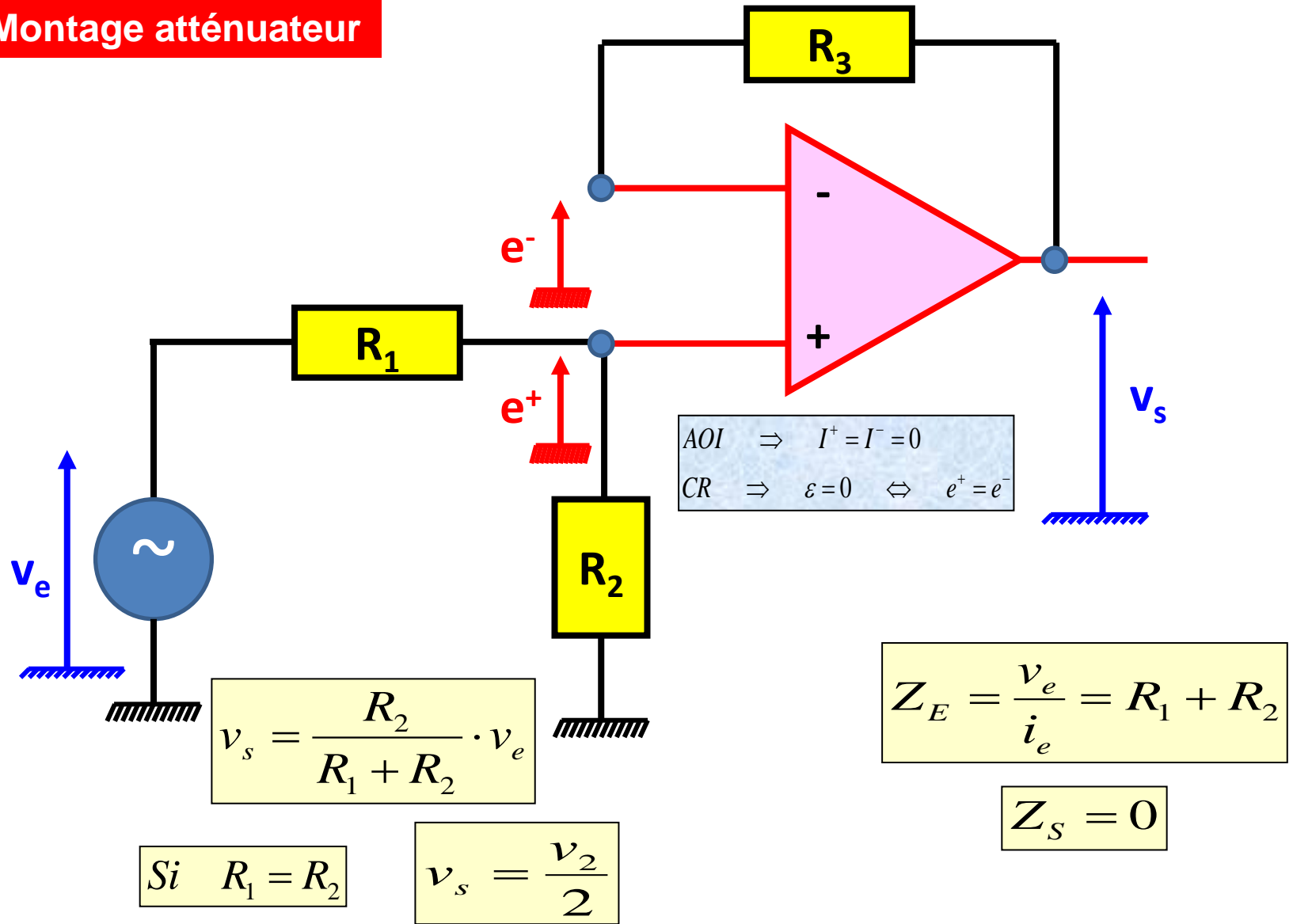
5° Montage sommateur non inverseur



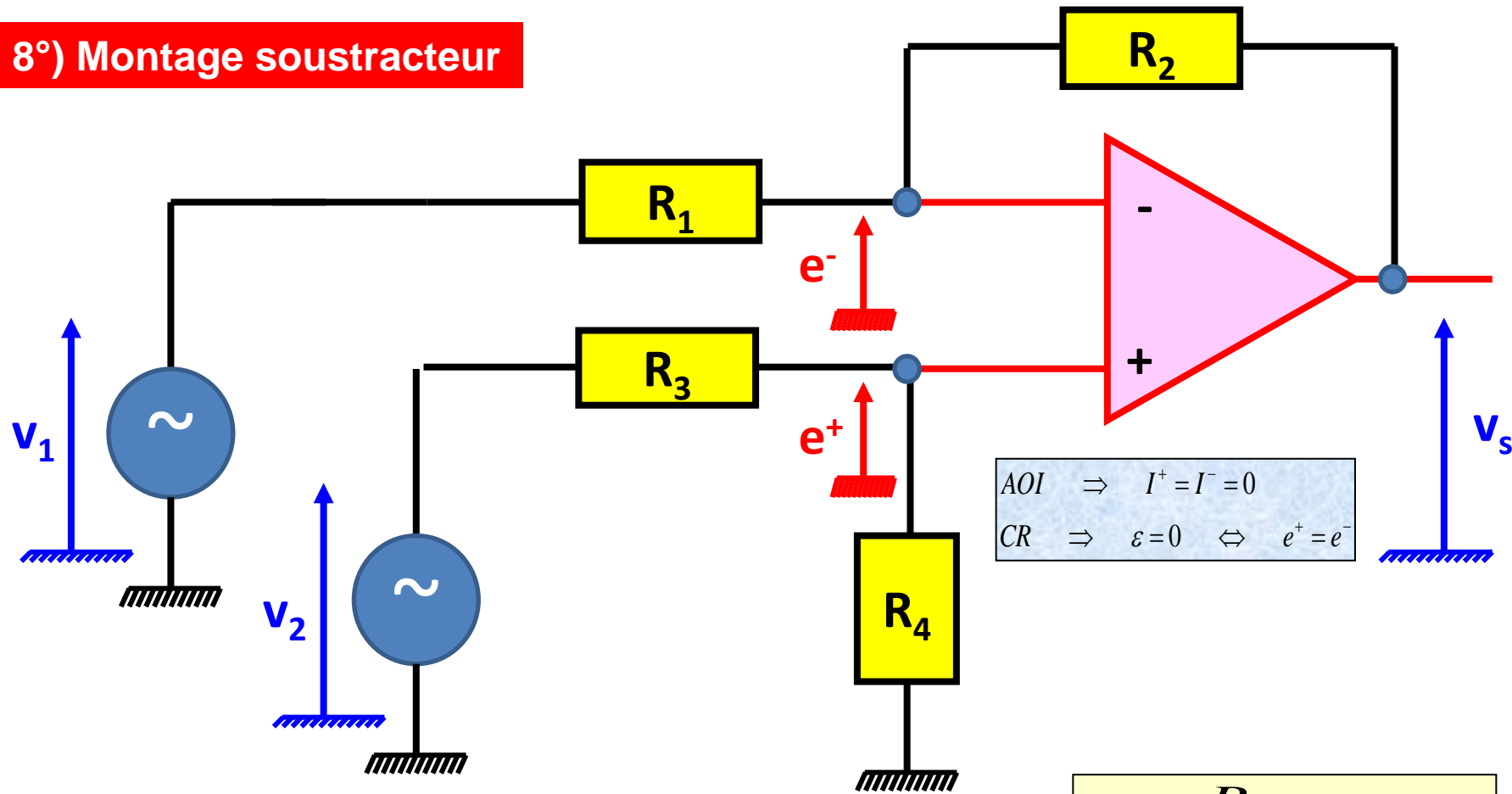
6°) Montage moyeneur



7°) Montage atténuateur



8°) Montage soustracteur



$$v_s = \left(\frac{R_4}{R_1} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4} \cdot v_2 - \frac{R_2}{R_1} \cdot v_1 \right)$$

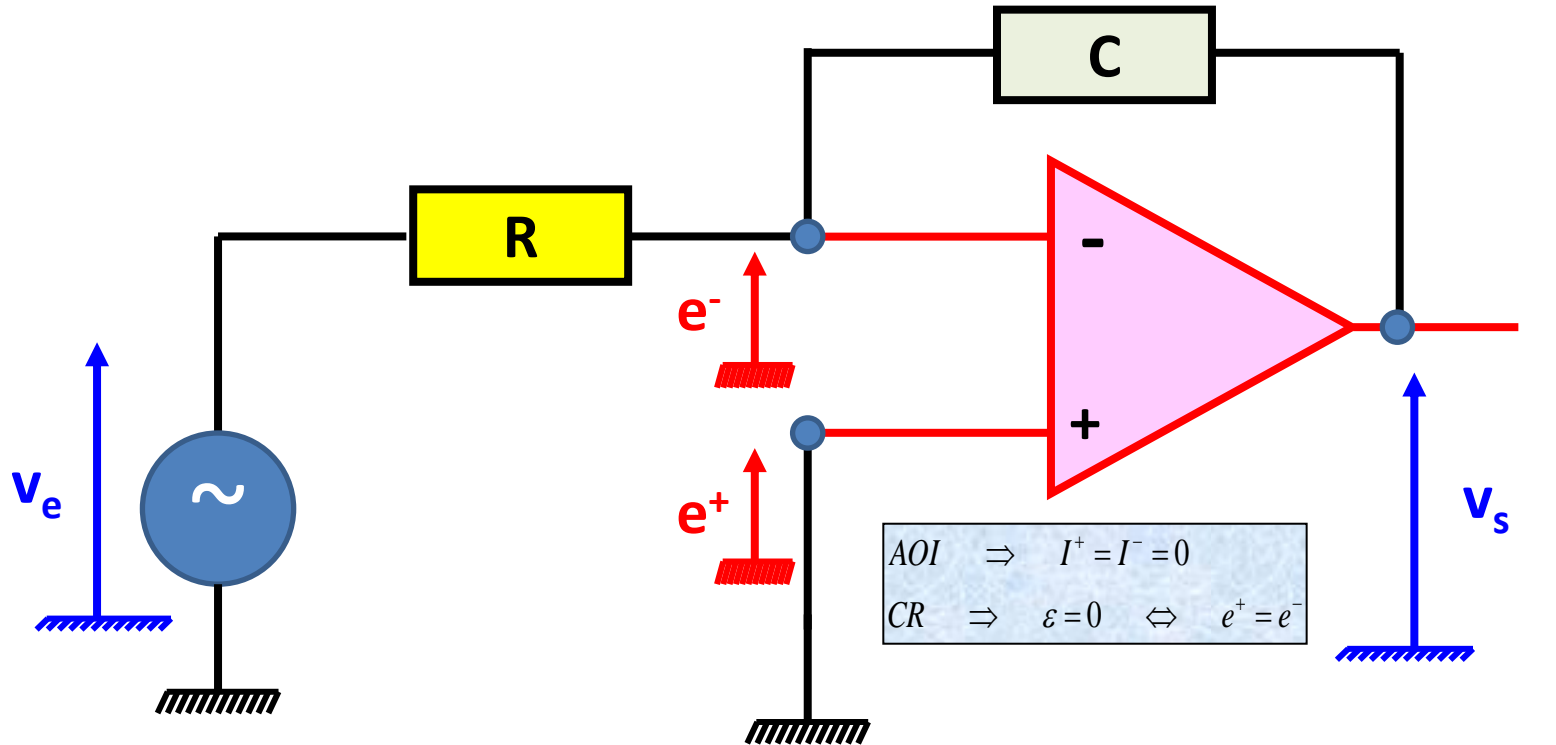
Si $R_1 = R_3$ et $R_2 = R_4$

$$v_s = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

Si $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0$

$$v_s = v_2 - v_1$$

9°) Montage intégrateur



$$AOI \Rightarrow I^+ = I^- = 0$$

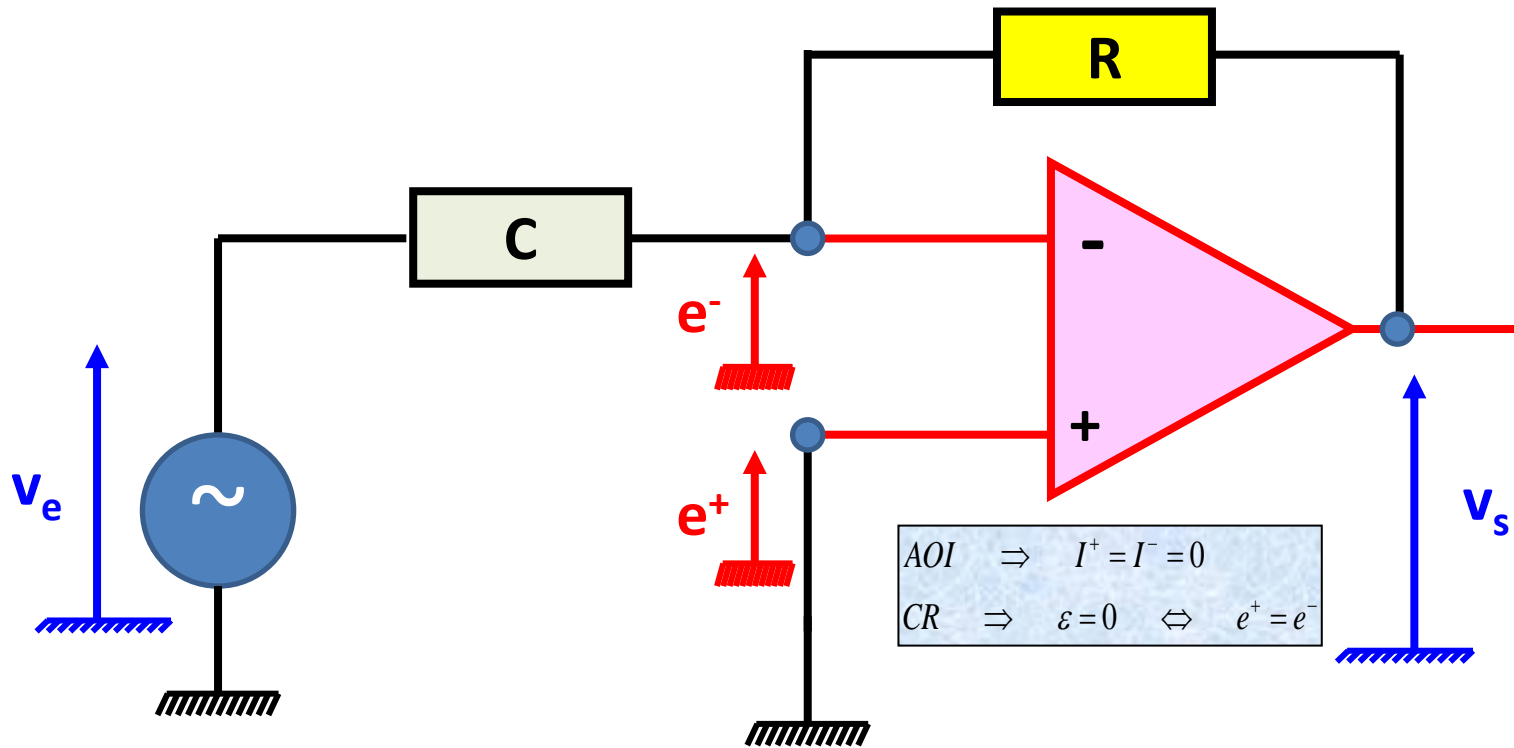
$$CR \Rightarrow \varepsilon = 0 \Leftrightarrow e^+ = e^-$$

$$v_s(t) = -\frac{1}{RC} \int v_e(t) dt$$

$$\underline{Z}_E = \frac{v_e}{i_e} = R$$

$$\underline{Z}_S = 0$$

10° Montage dérivateur



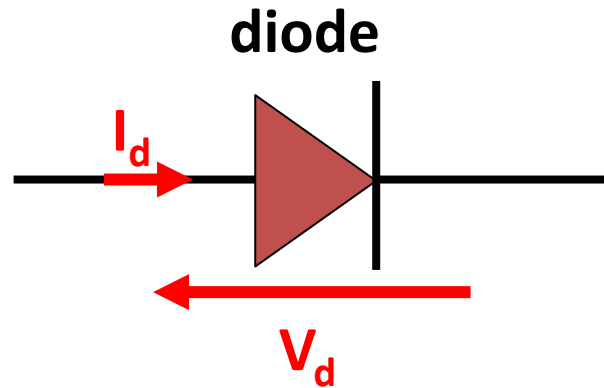
$$\begin{aligned} AOI &\Rightarrow I^+ = I^- = 0 \\ CR &\Rightarrow \varepsilon = 0 \Leftrightarrow e^+ = e^- \end{aligned}$$

$$V_s = -RC \frac{dV_e}{dt}$$

$$Z_E = \frac{v_e}{i_e} = \frac{1}{jC\omega}$$

$$Z_S = 0$$

Rappel :



→ Le courant à traversant la diode est donné par la relation :

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_d}{u_T}} - 1 \right)$$

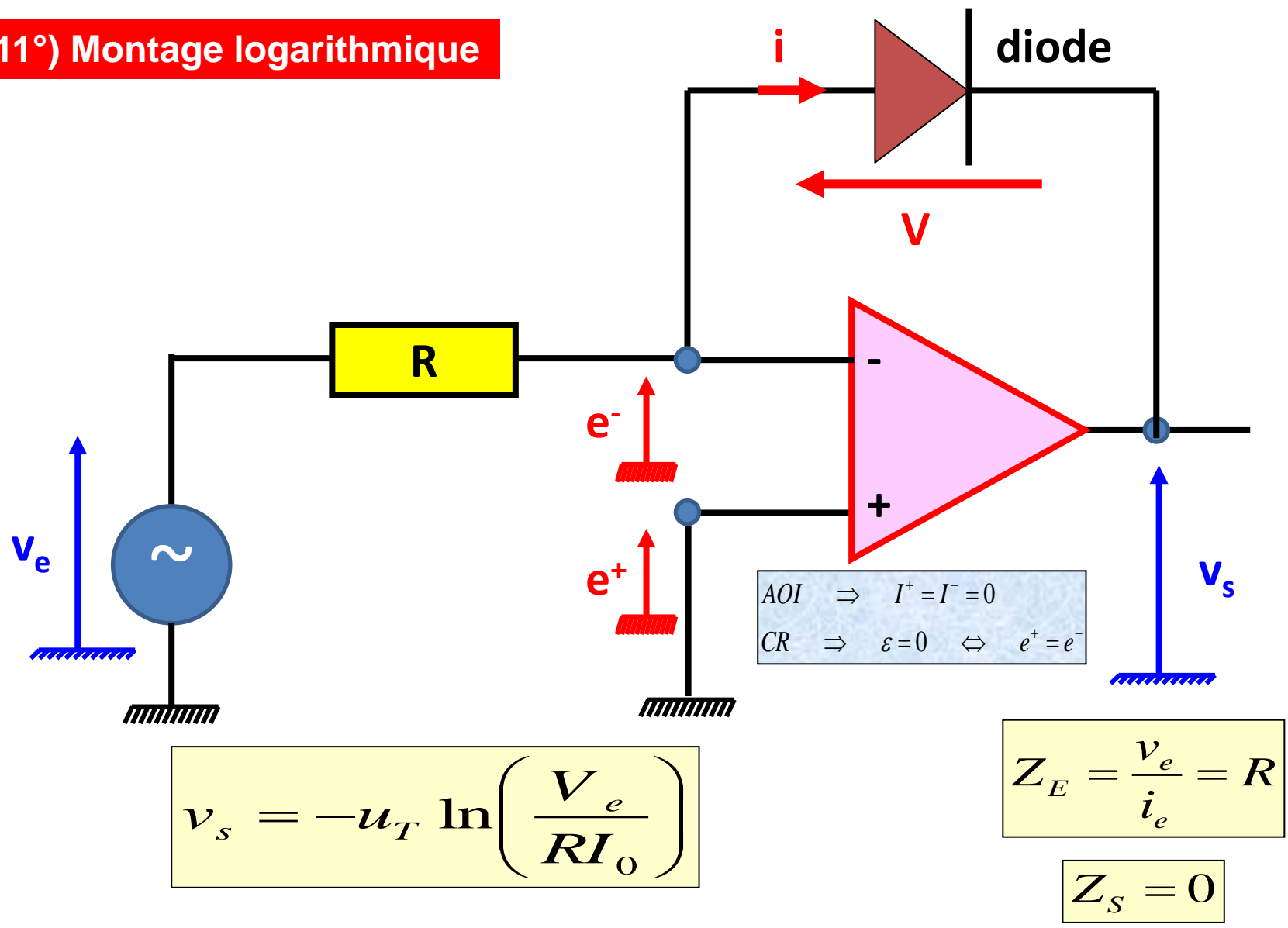
$$u_T = \frac{k \cdot T}{q}$$

→ La tension u_T correspond à la tension thermodynamique, d'une valeur de 25 mV environ à l'ambiance.

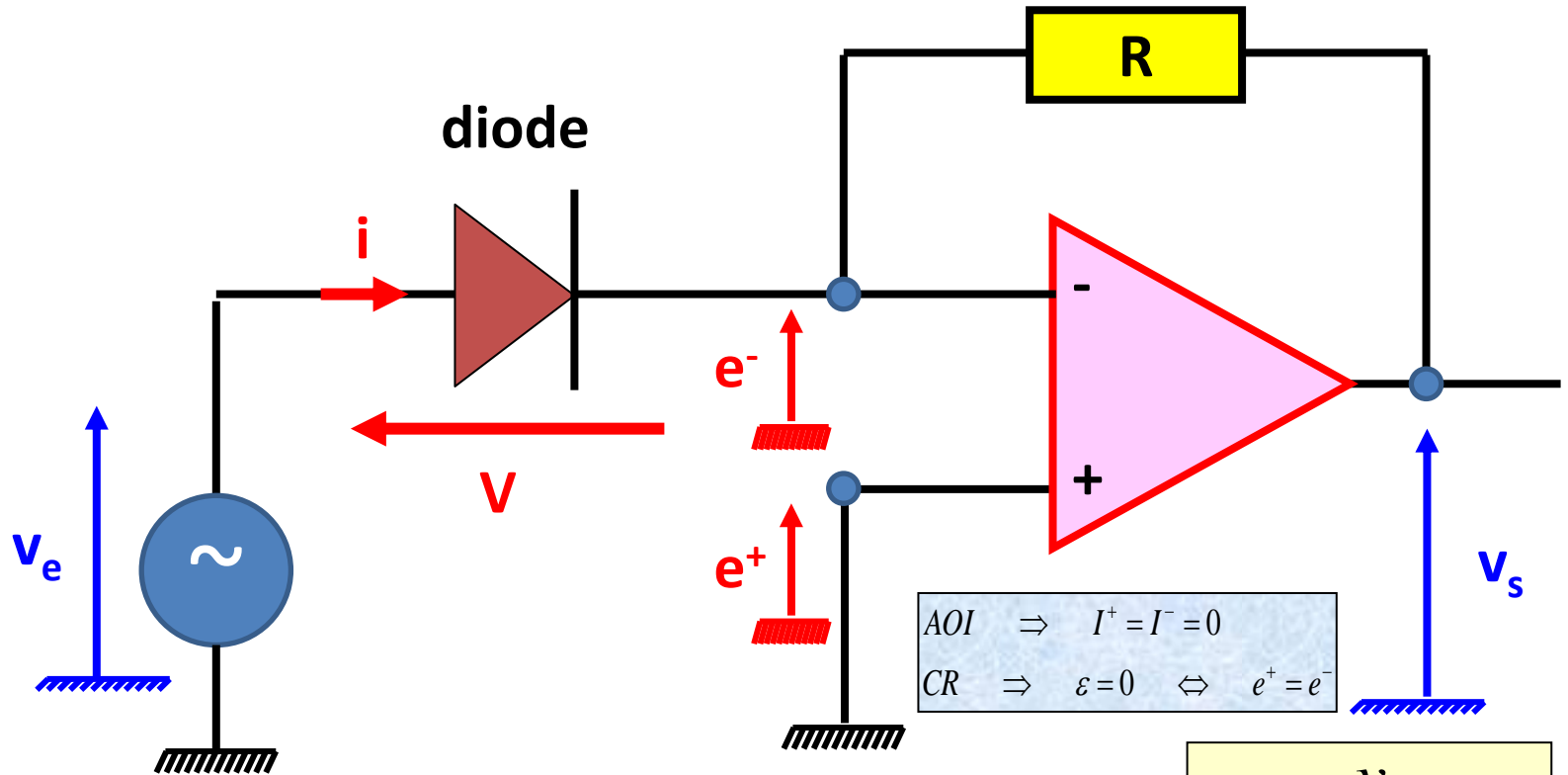
→ I_0 correspond au courant de saturation de la diode D (ou courant inverse), de qq nA.

$$\text{En direct : si } I_d \approx I_0 \cdot e^{\frac{V_d}{u_T}} \quad \text{alors} \quad V_d \approx u_T \cdot \ln \left(\frac{I_d}{I_0} \right)$$

11° Montage logarithmique



12° Montage anti-logarithmique (ou exponentiel)



AOI $\Rightarrow I^+ = I^- = 0$
 CR $\Rightarrow \varepsilon = 0 \Leftrightarrow e^+ = e^-$

$$v_s = -R \cdot I_s \exp\left(\frac{v_e}{u_T}\right)$$

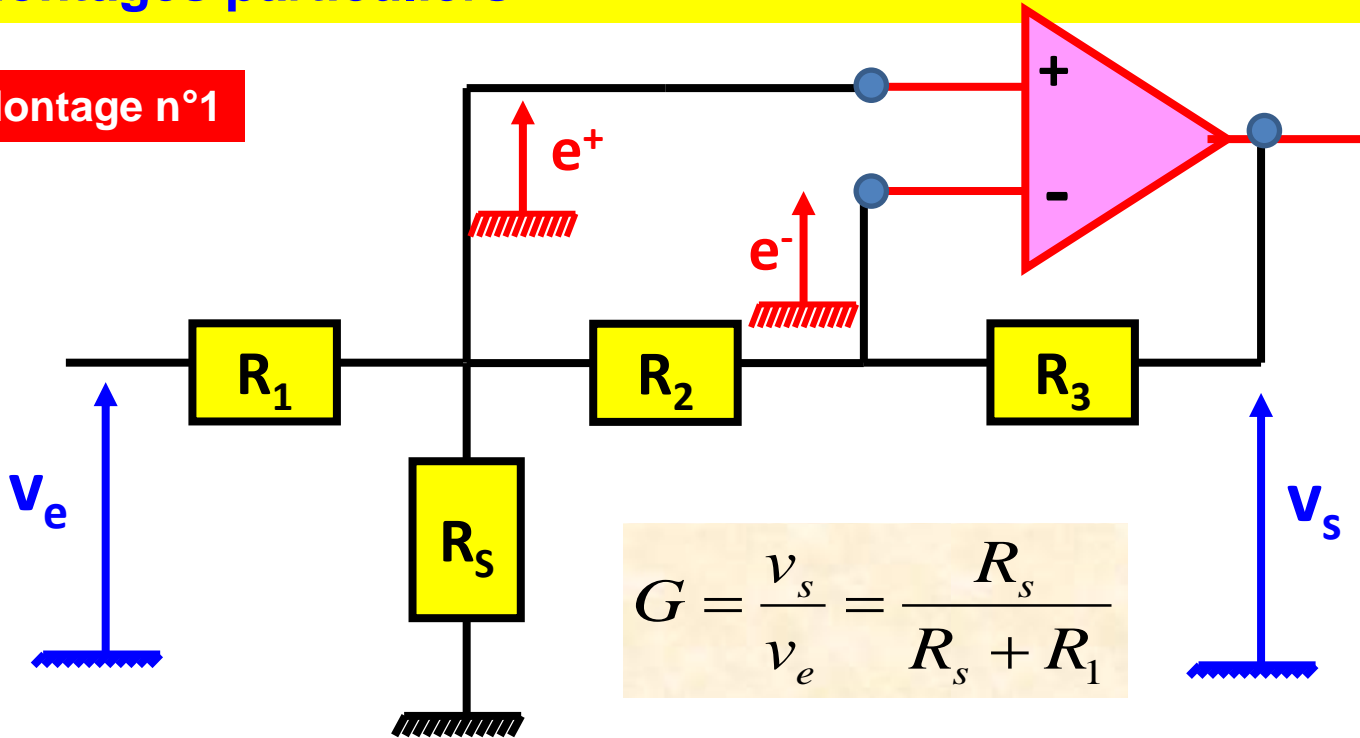
$$Z_E = \frac{v_e}{i_e} = r_d$$

$$Z_S = 0$$

r_d résistance dynamique de la diode

2°) Montages particuliers

Montage n°1



$$G = \frac{v_s}{v_e} = \frac{R_s}{R_s + R_1}$$

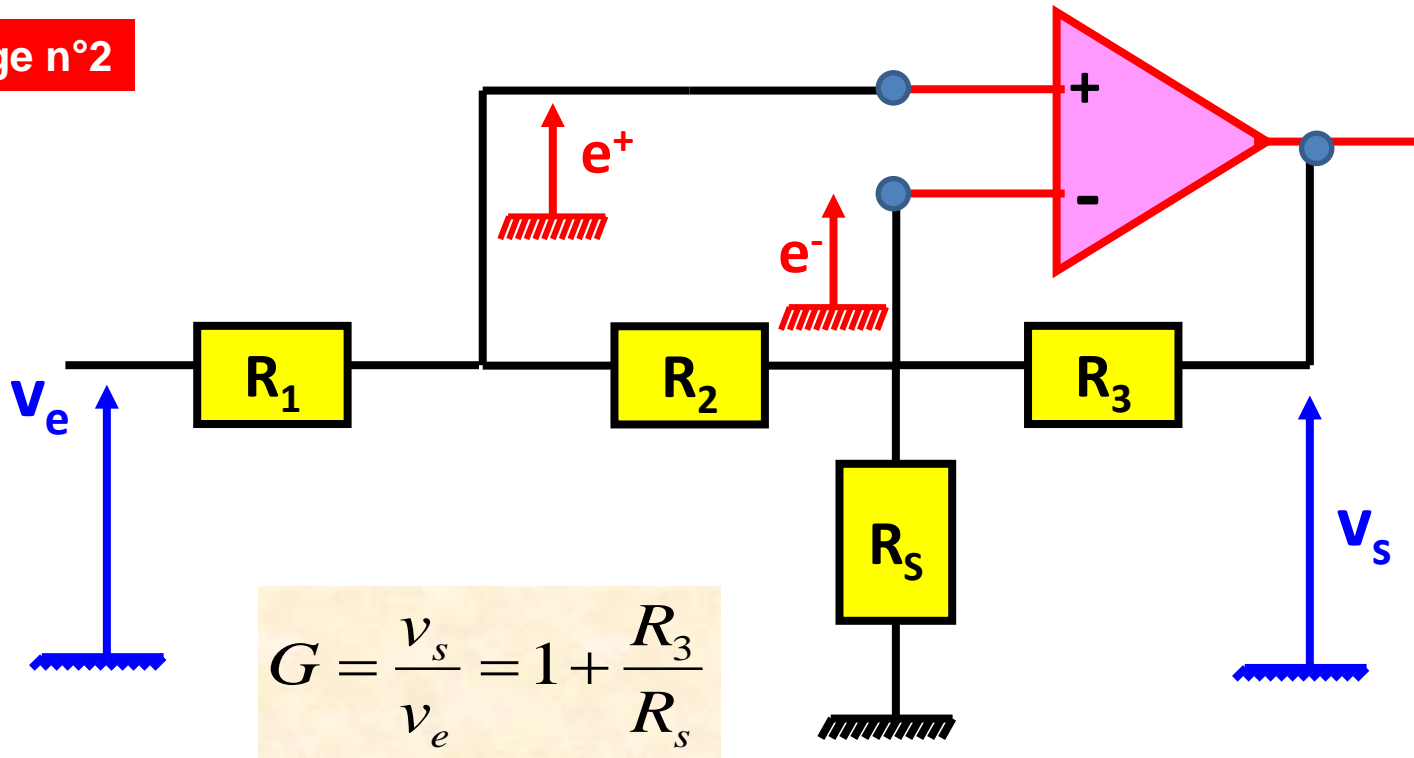
$G < 1 \Leftrightarrow v_s < v_e \Rightarrow$ Atténuateur

$G = 1 \Leftrightarrow v_s = v_e \Rightarrow$ Suiveur ($R_s \rightarrow \infty$ ou $R_1 \rightarrow 0$)

Pratique : $R_s \geq 1 M\Omega$ $R_1 \leq 50 \Omega$

$$Z_E = \frac{v_e}{i_e} = R_1 + R_s \quad Z_S = 0$$

Montage n°2



$$G = \frac{v_s}{v_e} = 1 + \frac{R_3}{R_s}$$

$G > 1 \Leftrightarrow v_s > v_e \Rightarrow$ Amplificateur non inverseur

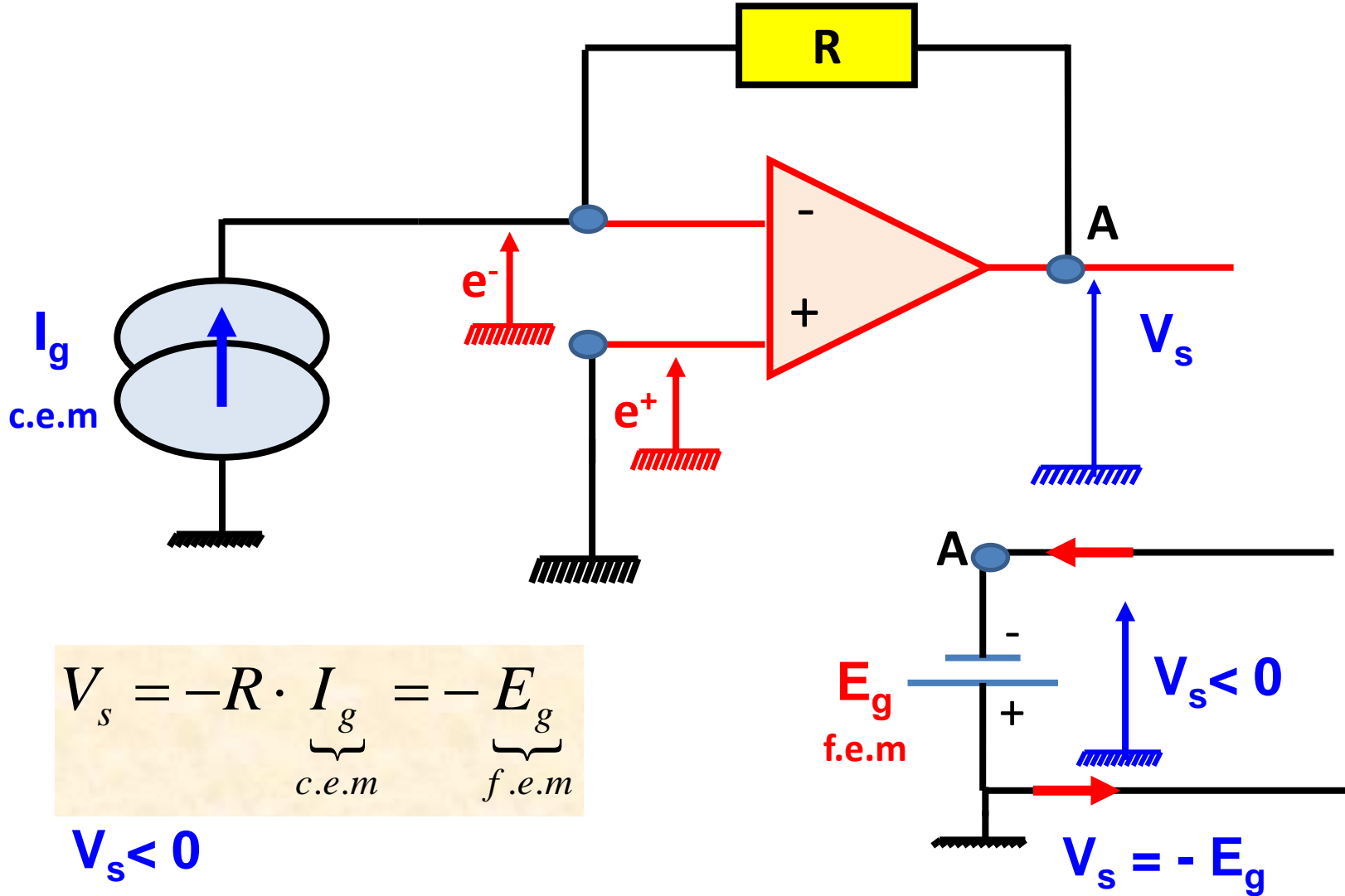
$G = 1 \Leftrightarrow v_s = v_e \Rightarrow$ suiveur $\Rightarrow (R_s \rightarrow \infty \text{ ou } R_3 \rightarrow 0)$

$$Z_E = \frac{v_e}{i_e} = \infty \quad Z_S = 0$$

Pratique : $R_s \geq 1 \text{ M}\Omega$ $R_3 \leq 50 \Omega$

Montage n°3

Source de tension simple



$$V_s = -R \cdot \underbrace{I_g}_{c.e.m} = - \underbrace{E_g}_{f.e.m}$$

$$V_s < 0$$

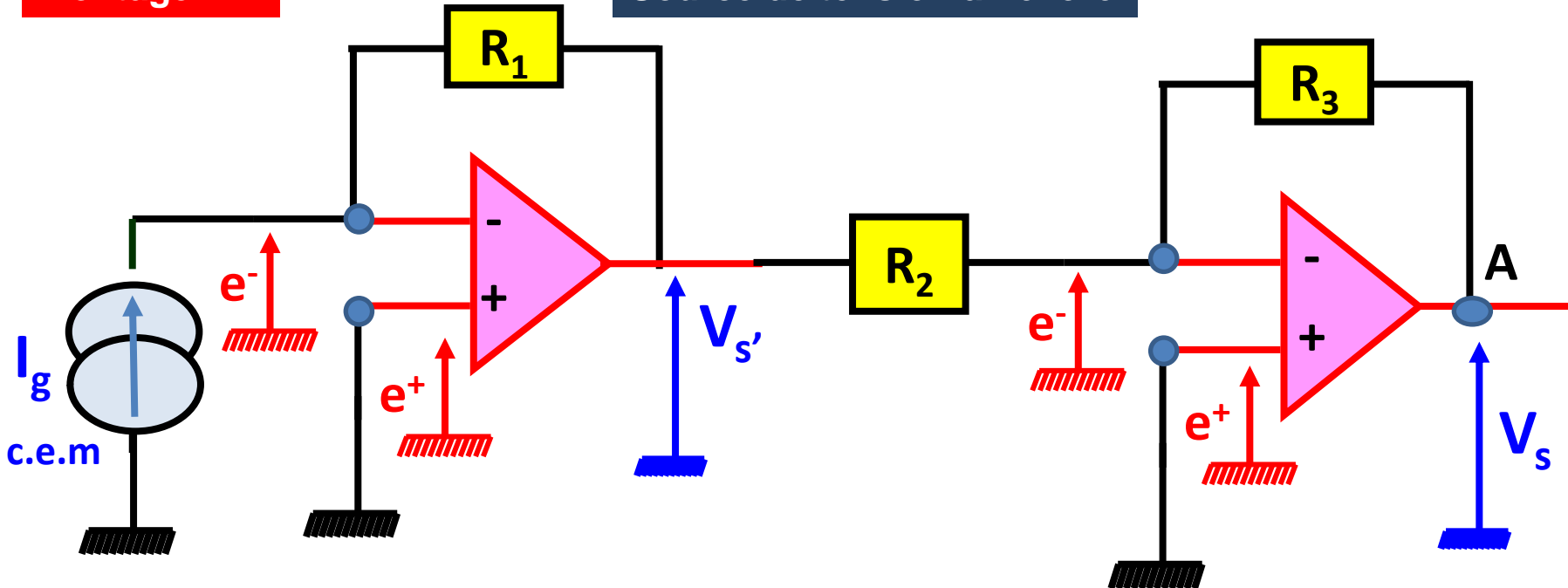
E_g
f.e.m

$$V_s < 0$$

$$V_s = -E_g$$

Montage n°4

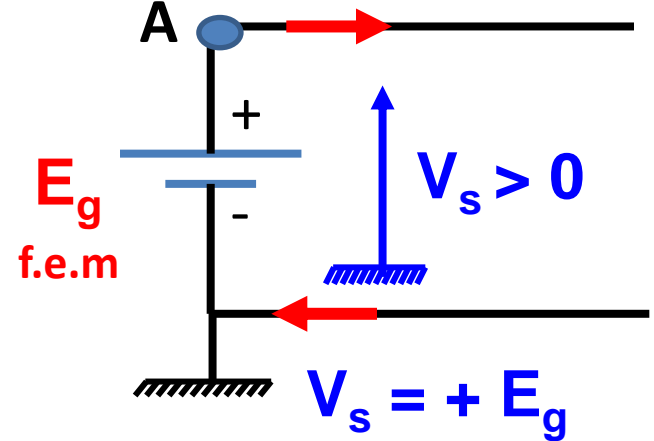
Source de tension amélioré



$$V_s = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2} \cdot I_g = R \cdot \underbrace{I_g}_{c.e.m} = \underbrace{E_g}_{f.e.m}$$

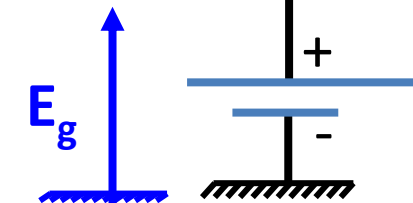
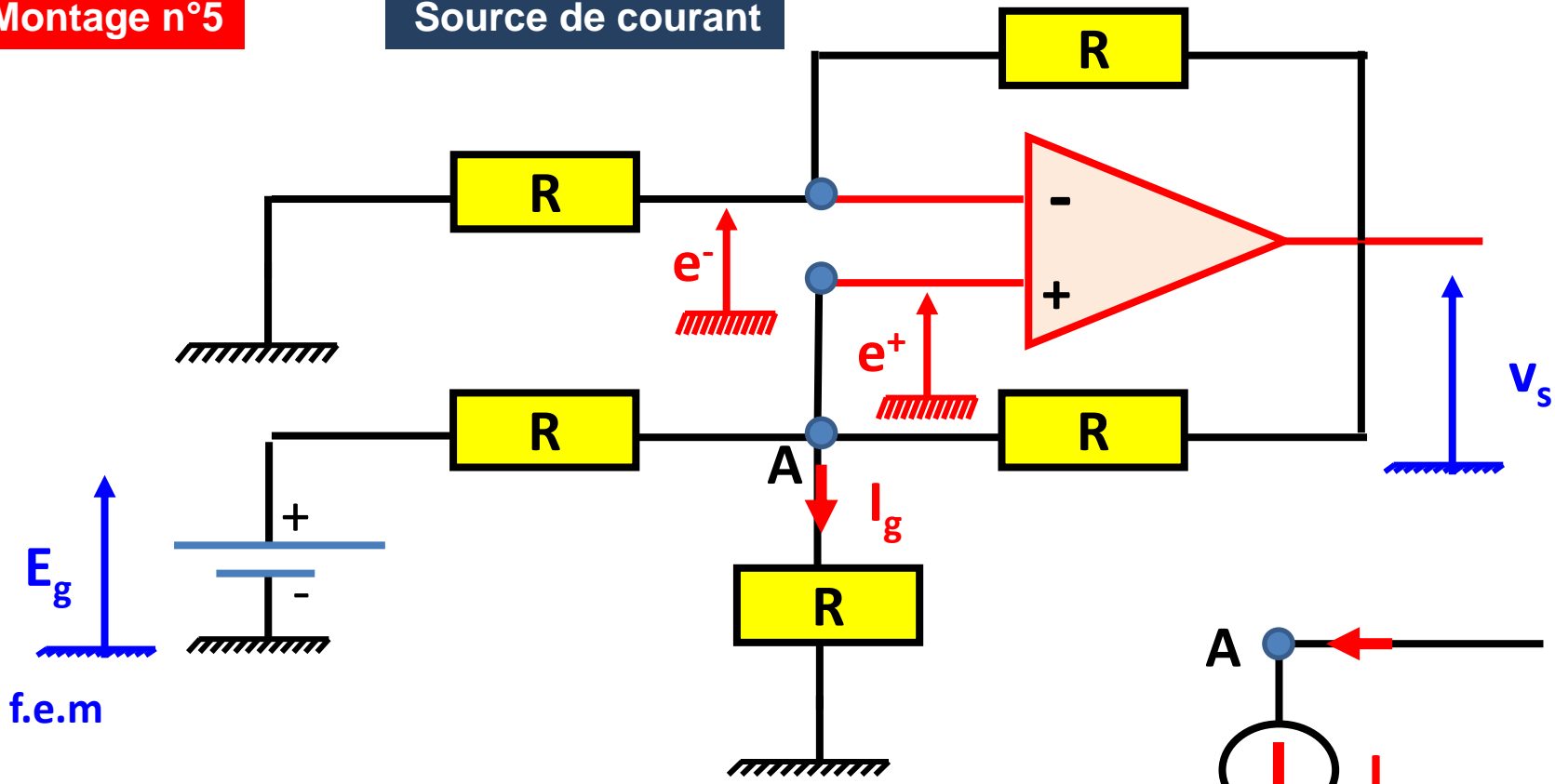
$V_s > 0$

avec : $R = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$



Montage n°5

Source de courant



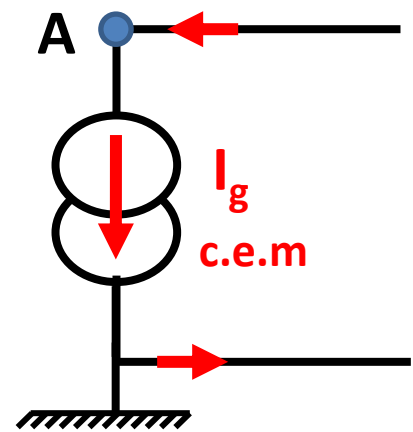
f.e.m

$$V_s = 2 \cdot E_g$$

Doubleur de tension

$$I_g = \frac{\overbrace{E_g}^{f.e.m}}{R}$$

c.e.m





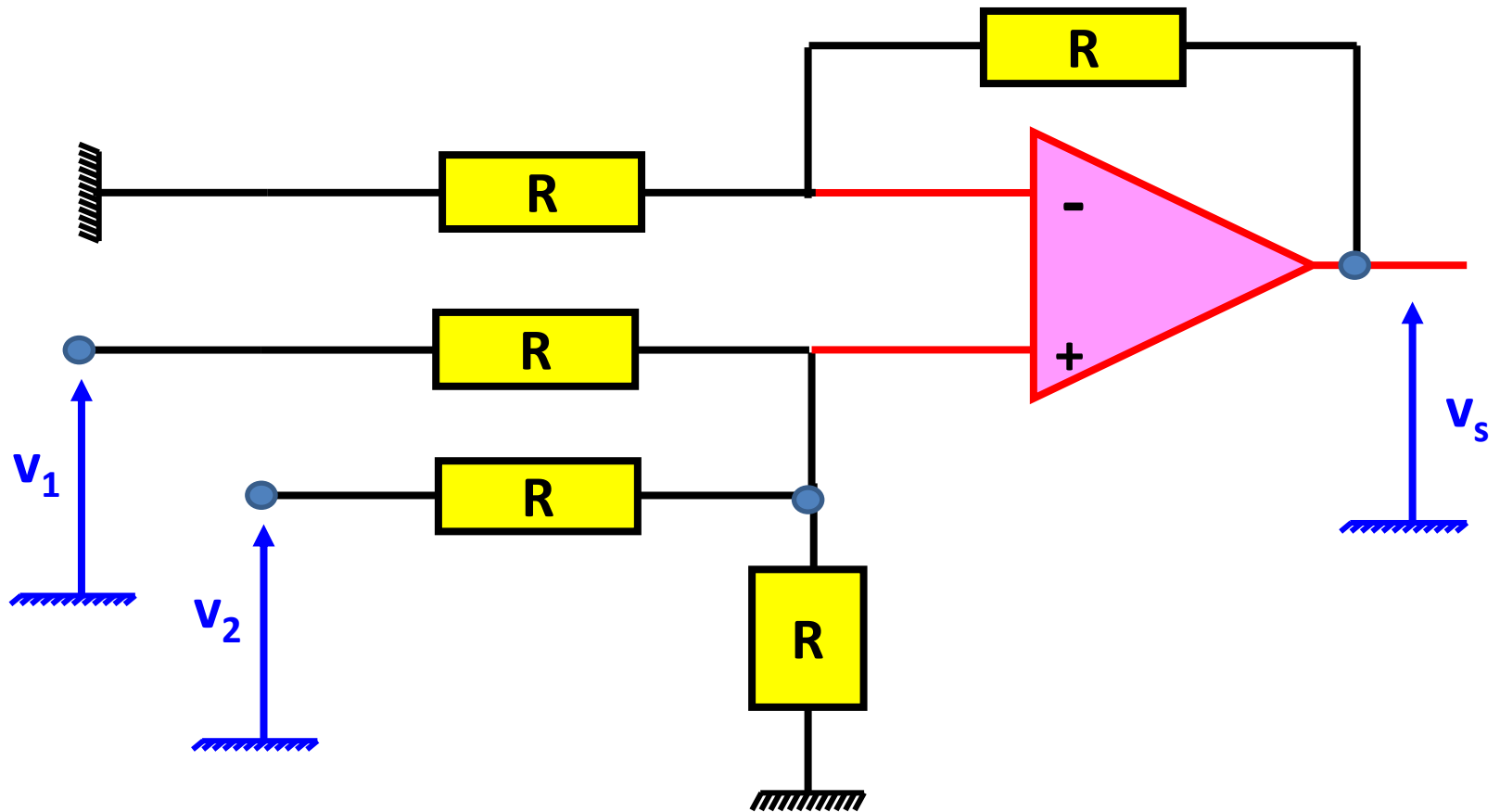
Travaux dirigés n°1

Montages à régime linéaire indépendants de la fréquence

Exercice n°1

L'amplificateur opérationnel est supposé parfait.

- 1°) Exprimer v_s en fonction de v_1 et v_2 .
- 2°) Exprimer l'impédance d'entrée sur chaque entrée.

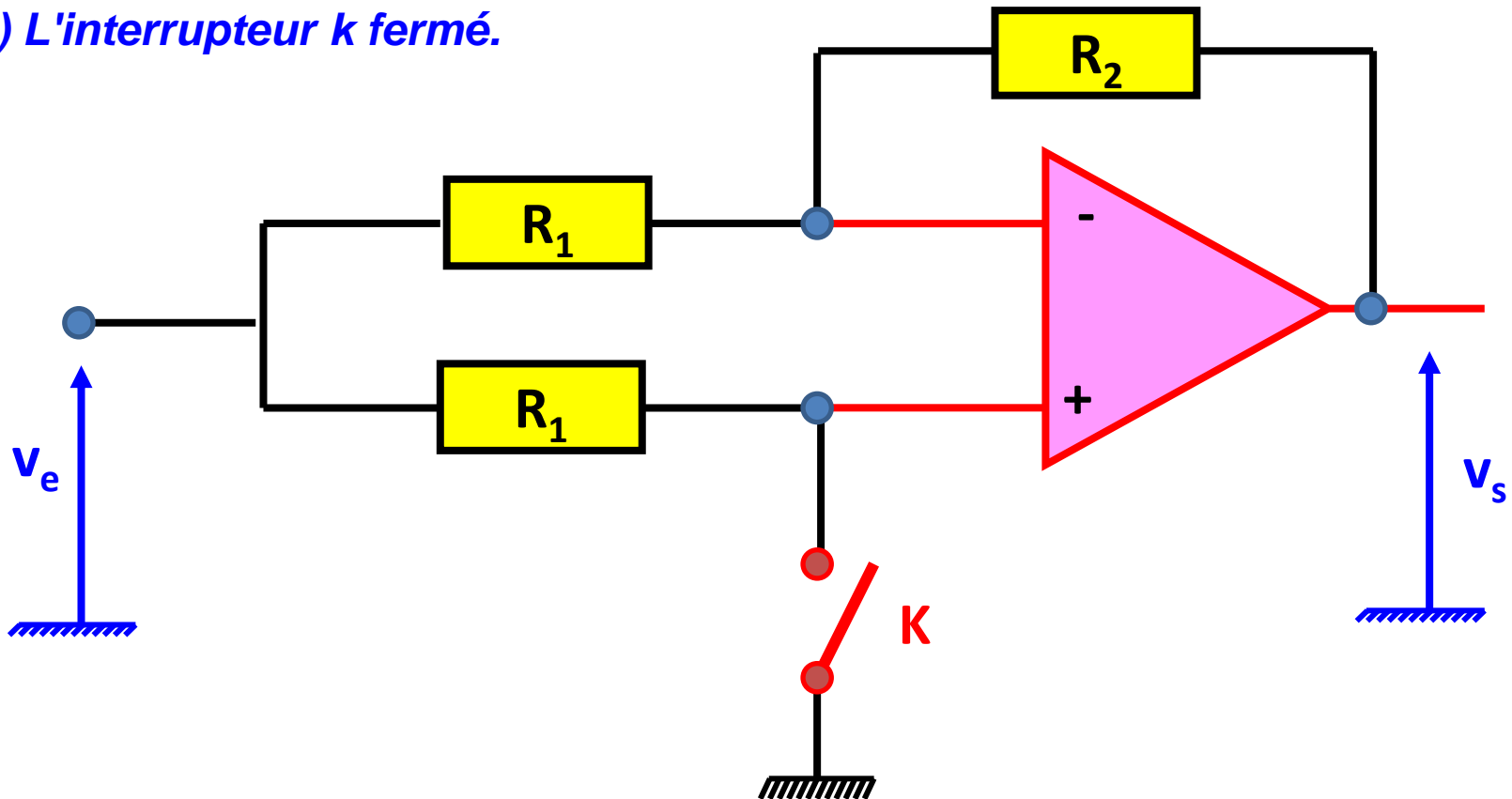


Exercice n°2

L'amplificateur opérationnel est supposé parfait.

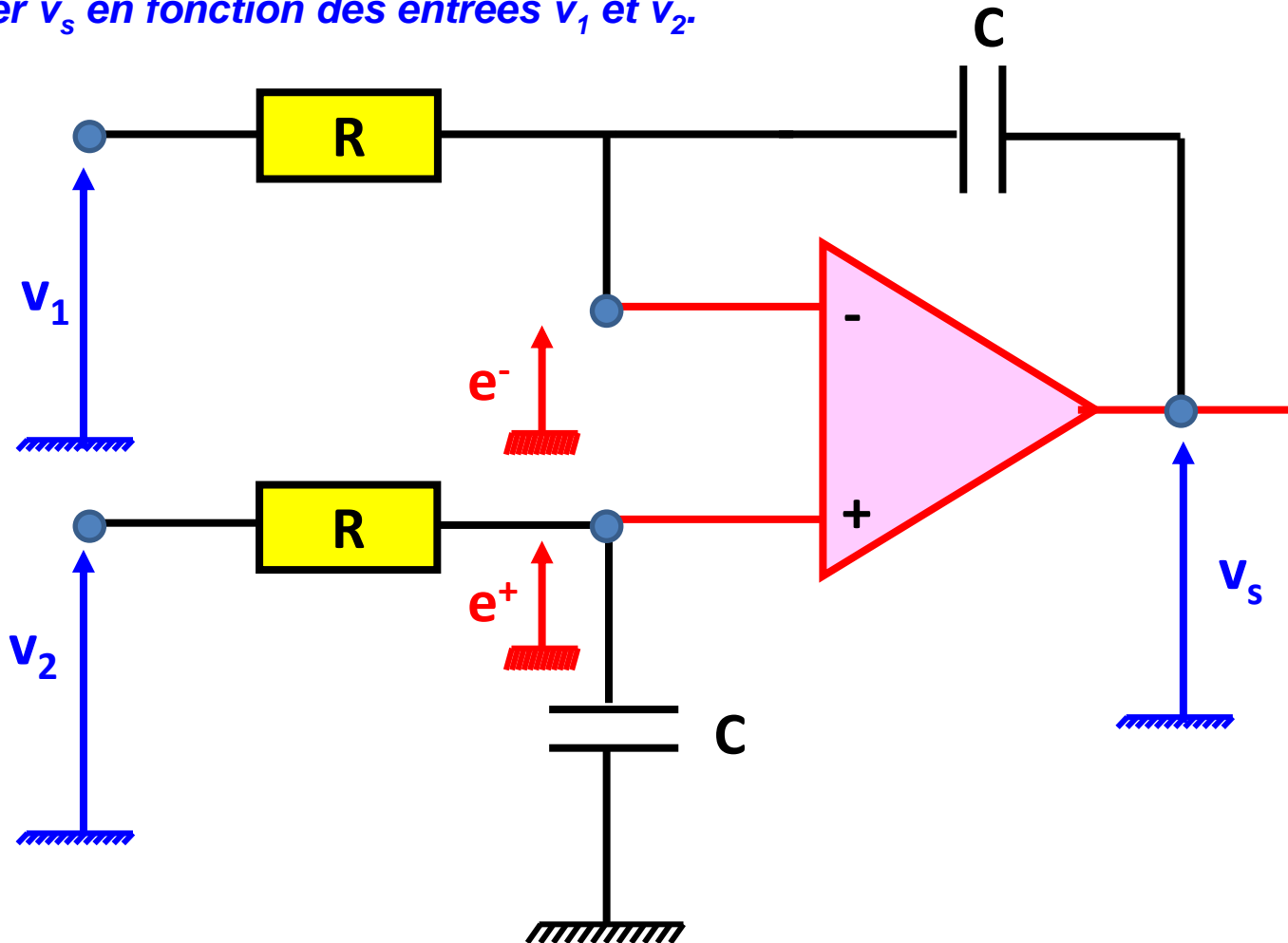
Exprimer v_s en fonction de v_e et déterminer l'impédance d'entrée dans les deux cas suivants :

- 1°) L'interrupteur k ouvert.
- 2°) L'interrupteur k fermé.



Exercice n°3

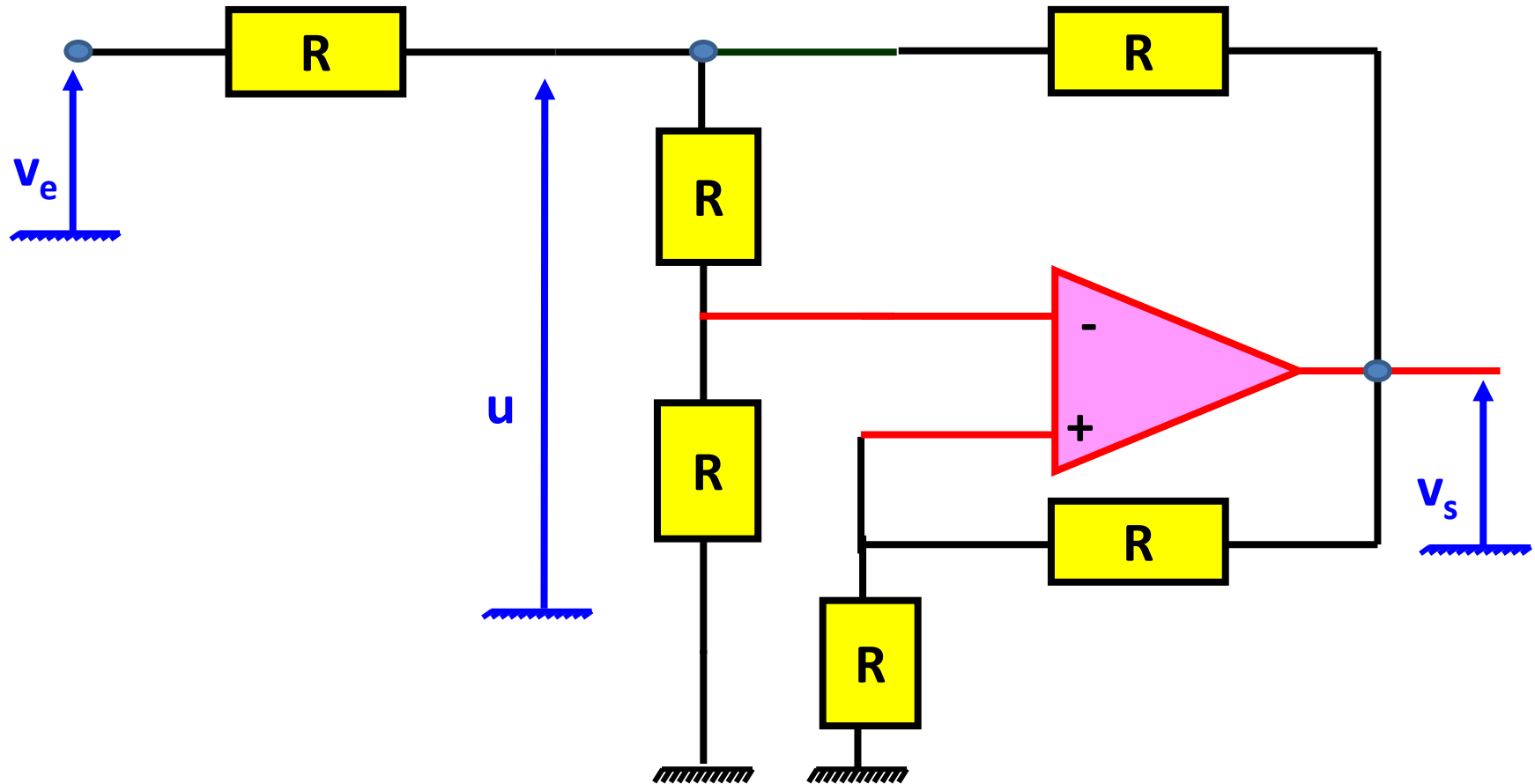
L'amplificateur opérationnel est supposé parfait.
Exprimer v_s en fonction des entrées v_1 et v_2 .



Exercice n°4

L'amplificateur opérationnel est supposé parfait.

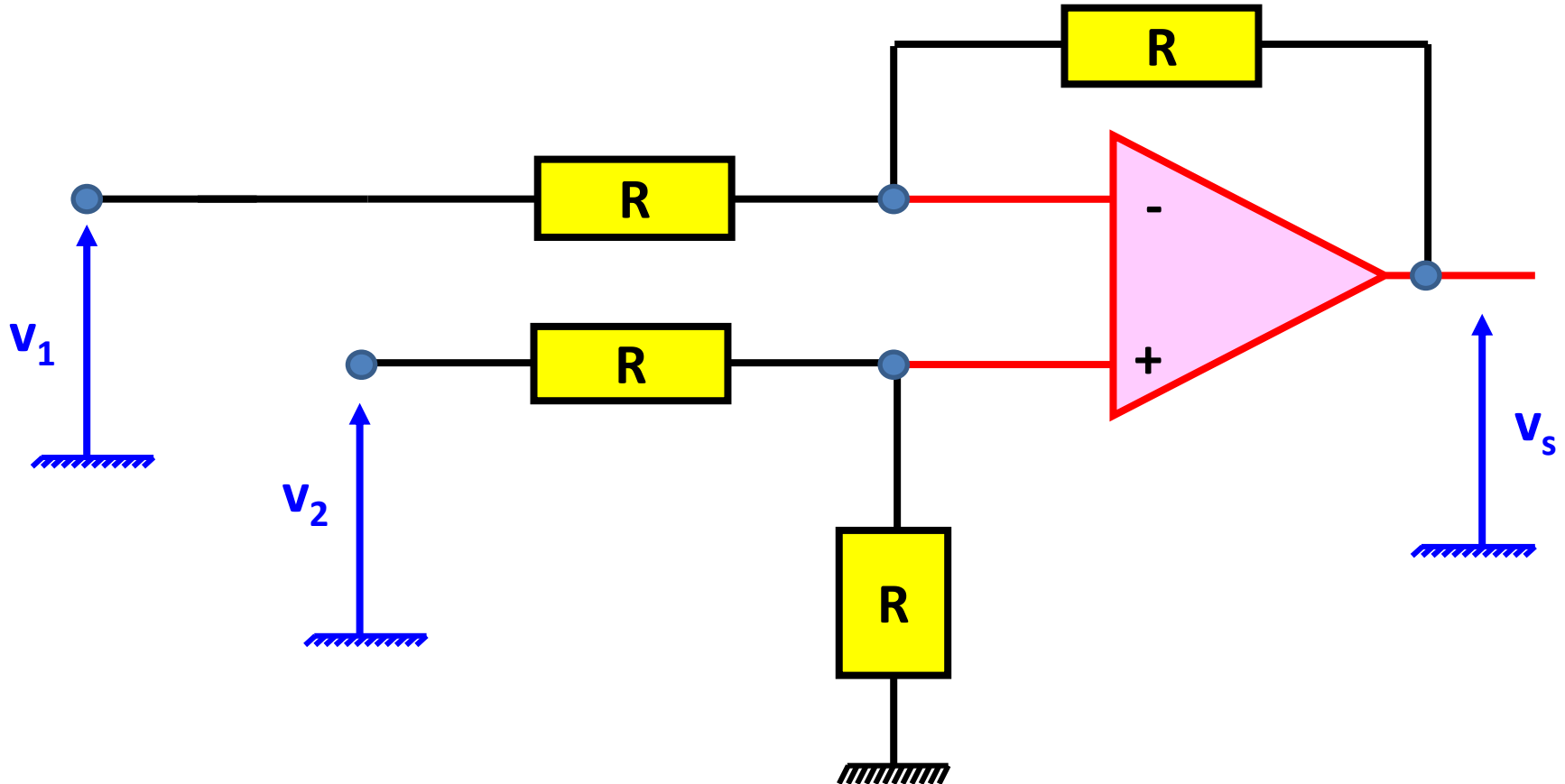
- 1°) Calculer la tension u en fonction de v_e et v_s .
- 2°) En déduire l'expression de v_s en fonction de v_e .



Exercice n°5

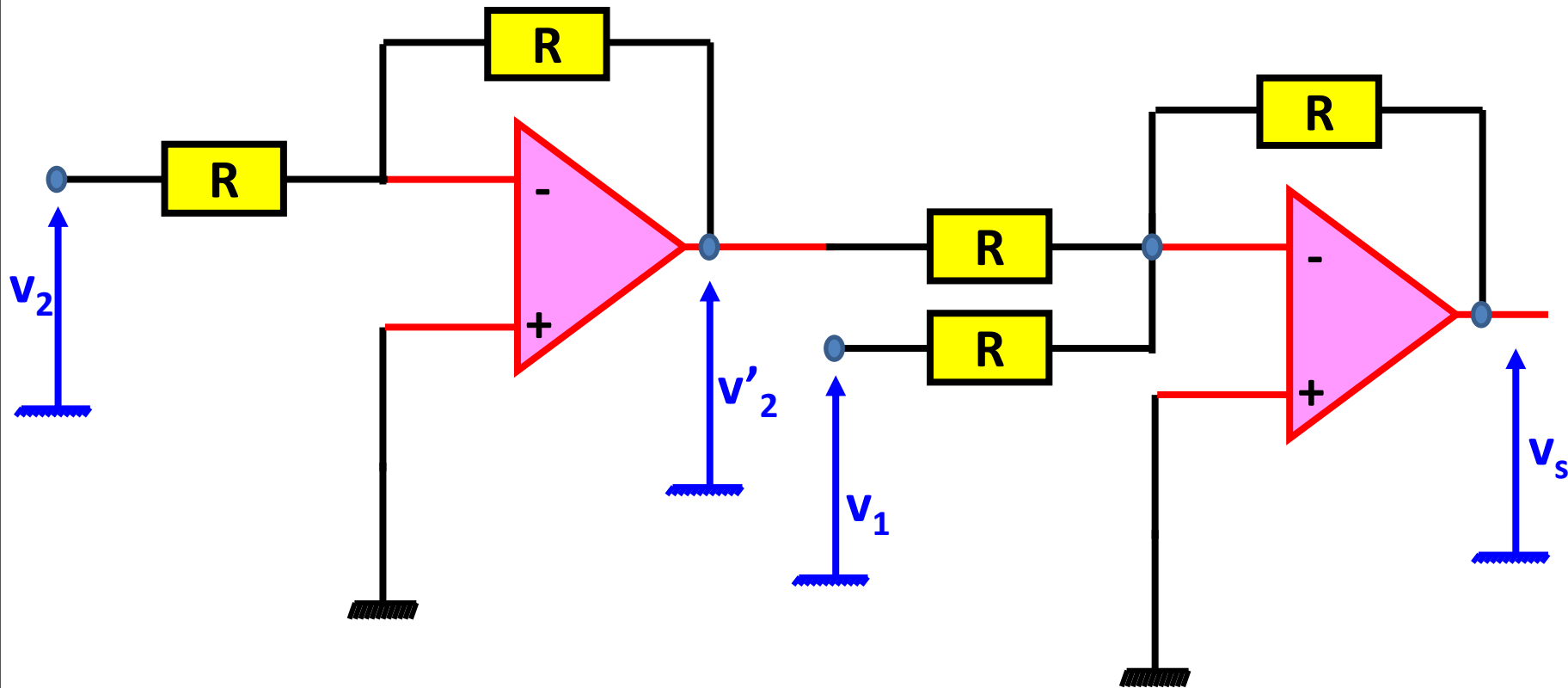
L'amplificateur opérationnel est supposé parfait.

- 1°) Exprimer v_s en fonction de v_1 et v_2 pour le montage de la figure ci-dessous.
- 2°) Exprimer les impédances d'entrées du même montage.



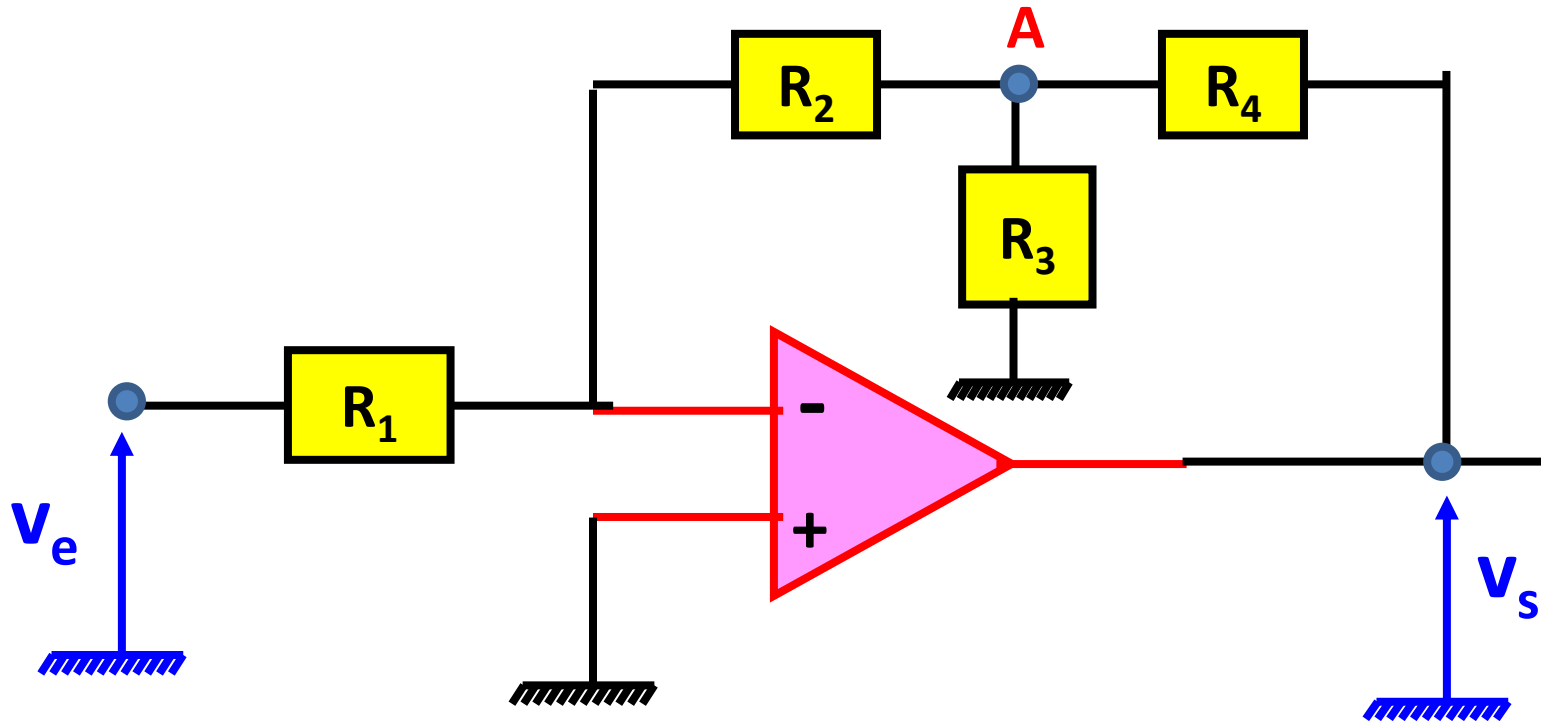
Exercice n°6

Donner l'expression de v_s en fonction de v_1 et v_2 pour le montage de la figure ci-dessous.



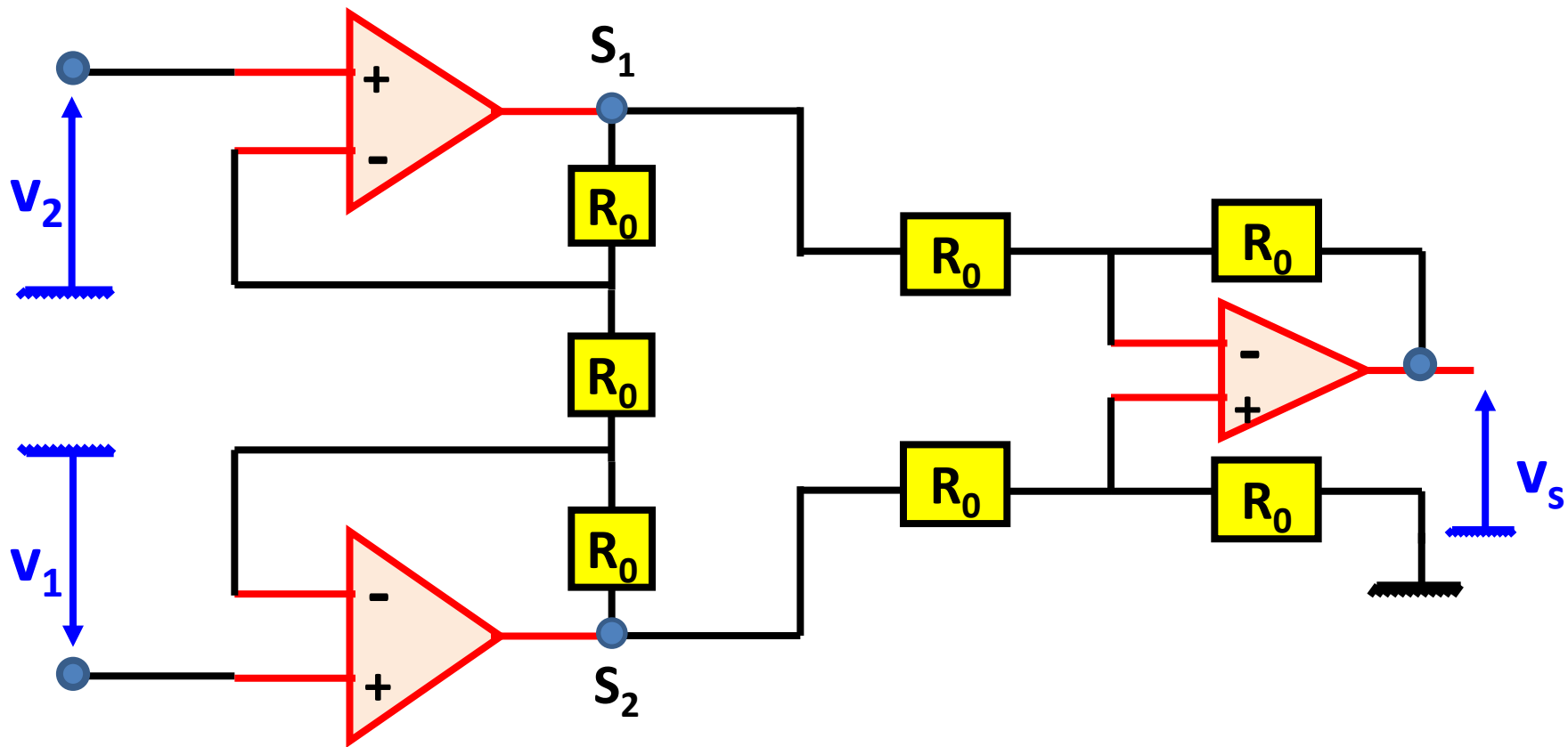
Exercice n°7

Calculer V_s en fonction de V_e . Exprimer le gain en tension si $R_3 \ll R_2$ et si $R_3 \ll R_4$.
 Quel est l'intérêt de ce montage ? (Examiner la valeur de l'impédance d'entrée.)
 AN : $R_3 = R_4 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ et $R_2 = 200 \text{ k}\Omega$.



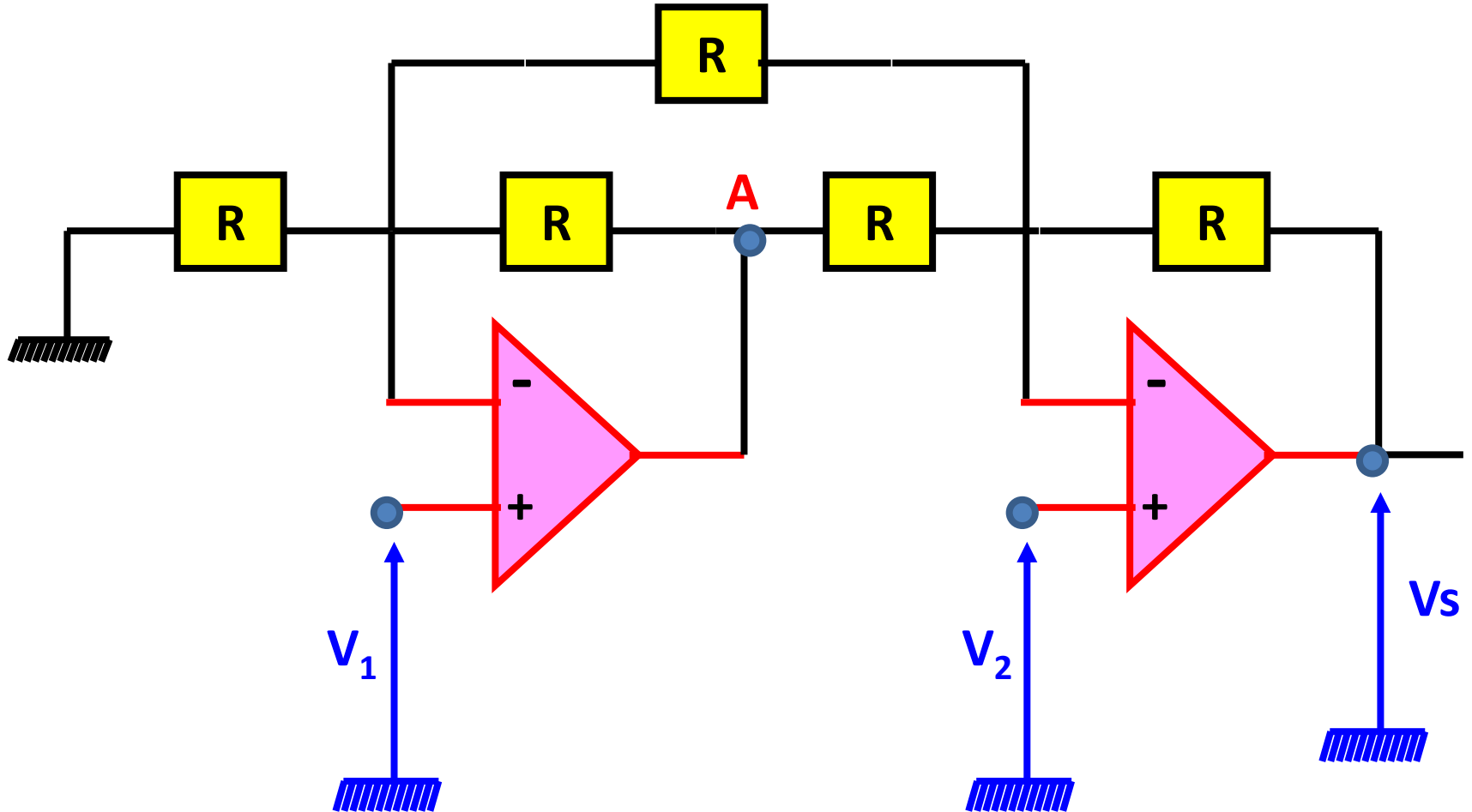
Exercice n°8

Donner l'expression de v_s en fonction de v_1 et v_2 pour le montage de la figure ci-dessous.



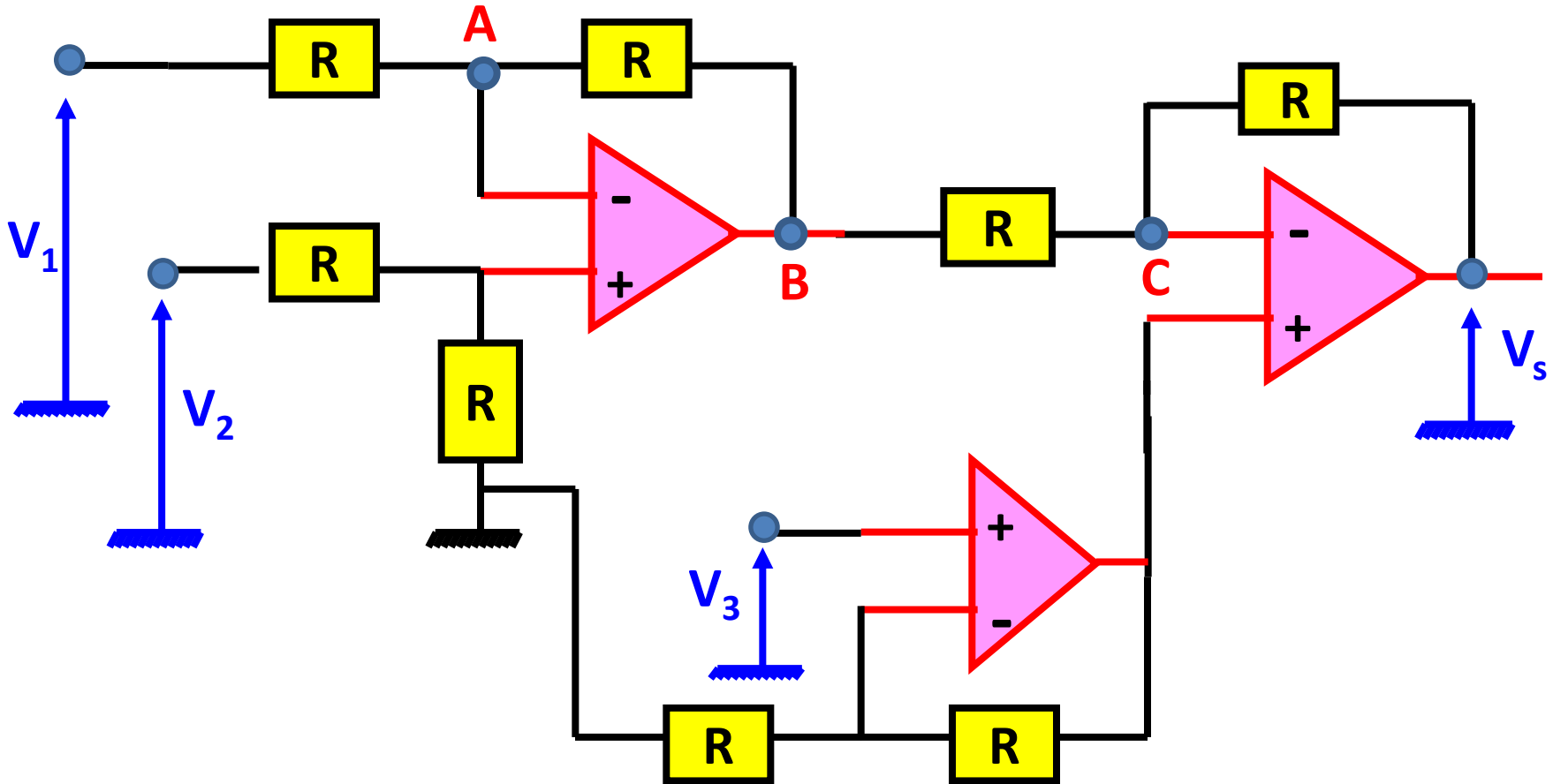
Exercice n°9

Montrer que ce montage constitue un amplificateur différentiel.



Exercice n°10

Exprimer la sortie en fonction des entrées.



Exercice n°11

Calculer V_s en fonction de V_1 et V_2 . Quel est l'intérêt du montage ?

