

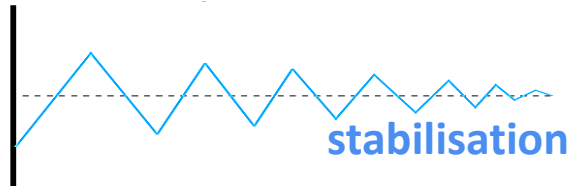
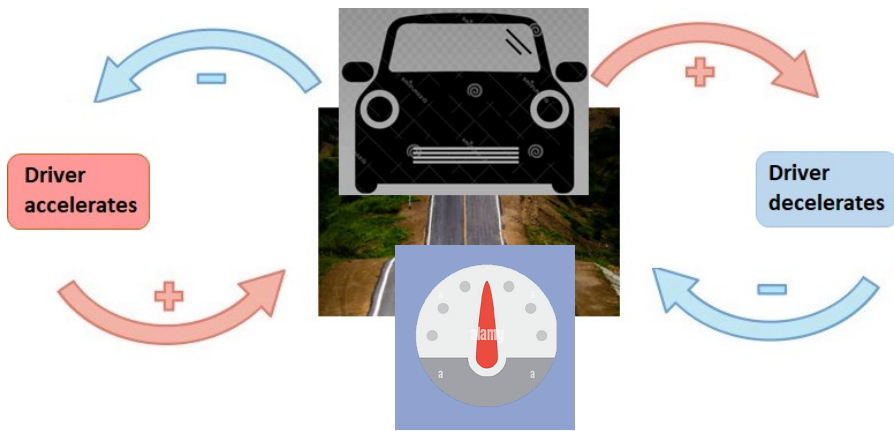
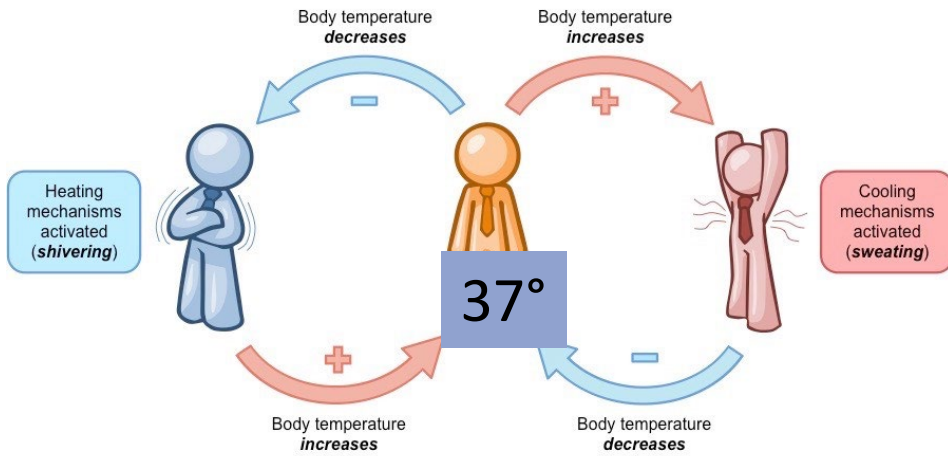
LA REACTION NEGATIVE

A Ionescu

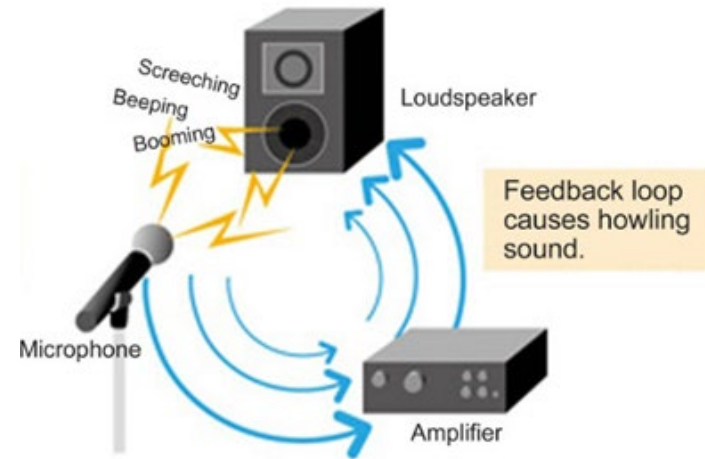
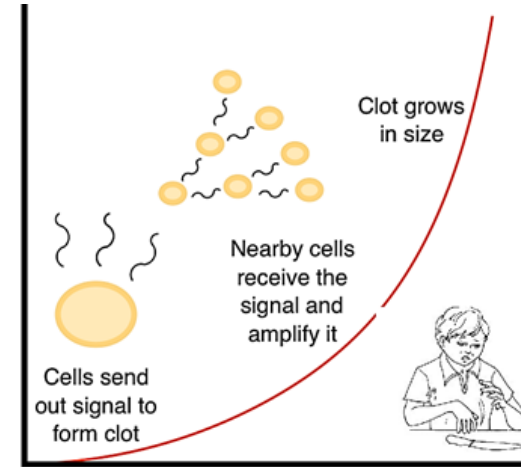
EPFL

Le concept de 'réaction' ou 'feedback'

Négative



Positive



Circuits avec réaction négative et positive

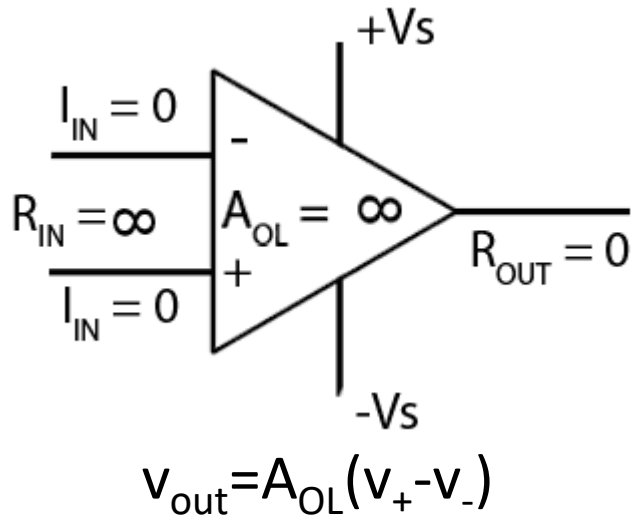
Type	Rétroaction négative	Rétroaction positive
But	Stabilisation, linéarisation, précision	Oscillation, bistabilité, hystérésis
Effet sur le gain	Réduit le gain global mais améliore le contrôle	Augmente le gain effectif (peut entraîner l'instabilité)
Effet sur la distorsion / le bruit	Réduit la distorsion et le bruit	Peut augmenter la distorsion / le bruit
Stabilité	Améliore la stabilité	Peut provoquer l'instabilité si non contrôlée
Exemples typiques	<ul style="list-style-type: none"> • Amplificateurs à AO (inverseur / non-inverseur) • Régulateurs de tension (linéaires & à découpage) • Filtres actifs (passe-bas, passe-haut) • Amplificateurs audio (faible distorsion) • Circuits contrôle automatique de gain) 	<ul style="list-style-type: none"> • Oscillateurs (RC, LC, Wien, quartz) • Trigger de Schmitt (hystérésis) • Bascules
Applications	Mesure de précision, conditionnement du signal, systèmes de contrôle	Génération de signaux, mémoire numérique, rejet du bruit par hystérésis

Contenu du chapitre

1. INTRODUCTION, DÉFINITION, RELATIONS DE BASE
2. PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES
3. LES 4 CONFIGURATIONS FONDAMENTALES
4. LA RÉACTION NÉGATIVE IDÉALE
5. LA RÉACTION NÉGATIVE NON-IDÉALE OU RÉELLE
6. EXEMPLE D'ANALYSE D'UN CAS CONCRET
7. STABILITE DES AMPLIS EN REACTION NEGATIVE

1. LA REACTION NEGATIVE: INTRODUCTION

Limitation de l'ampli op sans réaction dit en boucle ouverte ou open loop (OL)



Ideal vs. Practical ampli op

	Z _{IN}	I _{IN}	A _V	Z _{OUT}
The Ideal Op-Amp	Infinity.	Zero.	Infinity	0Ω
741	2MΩ	80nA	316 to 200,000 (50dB to 106dB)	typically less than 100Ω to more than 1KΩ
TLC271	1TΩ	60pA	5,000 to 46,000 (74dB to 93dB) min.	typically less than 100Ω to more than 1KΩ
LMC660	>1TΩ	0.002pA	40,000 to 990,000 (92dB to 126dB)	typically less than 100Ω to more than 1KΩ

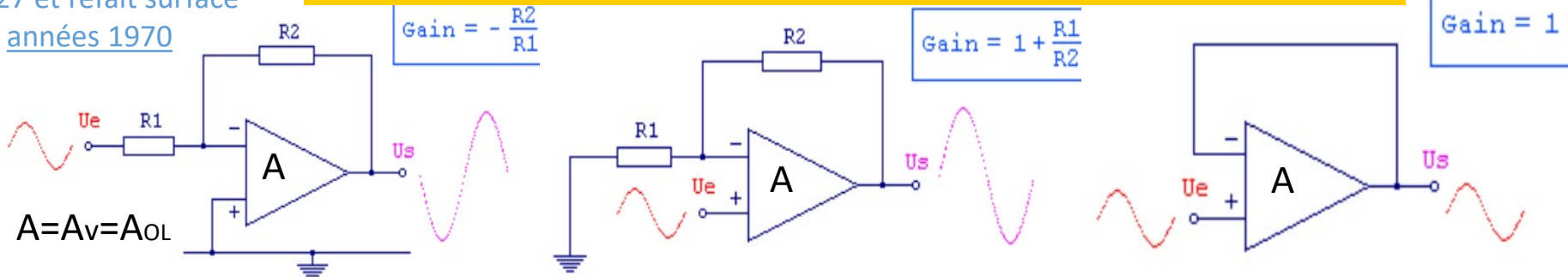
Av (A_{OL}) trop grand et trop variable:
 -> l'amplification du bruit et des variations indésirables à l'entrée
 -> difficile de contrôler le design d'un système qui inclut des ampli op avec autant de variation



Utilité seulement avec réaction négative: dans ce cas un gain AOL grand augmente les performances en boucle fermée

Le principe de la réaction négative a été découvert par [Harold Stephen Black](#) le 2 août 1927 et refait surface dans les [années 1970](#)

L'ampli op avec réaction négative dit en boucle fermée closed loop



Comment justifier que dans expression du Gain en boucle fermée n'intervient plus le gain de l'ampli A en boucle ouverte !!!

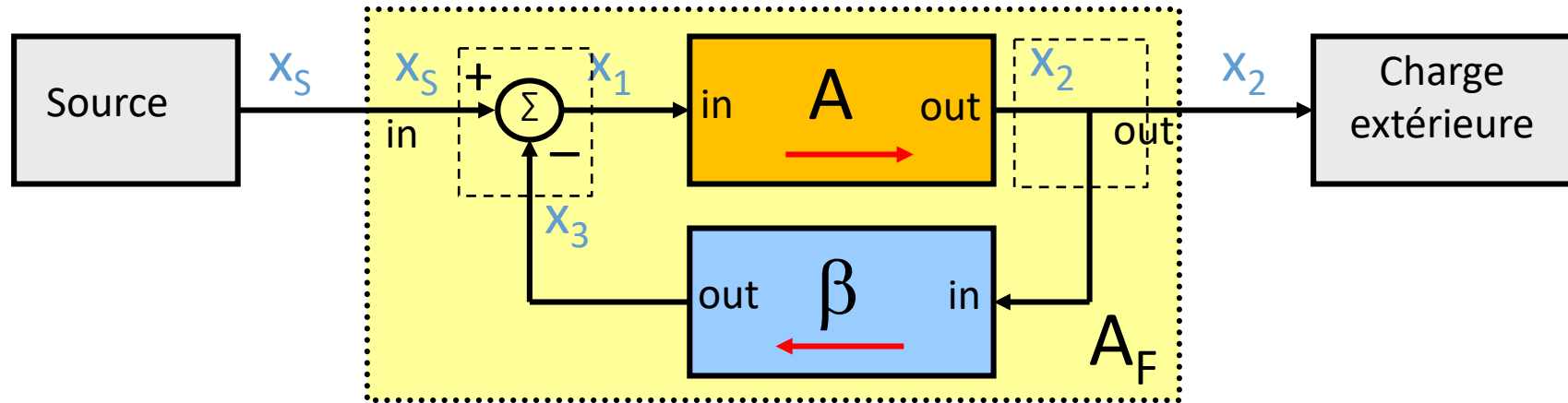
1. LA REACTION NEGATIVE: INTRODUCTION

Propriétés de l'ampli op avec réaction négative

- Stabilisation (désensibilisation) du gain aux variations des caractéristiques des composants de l'ampli (due to température, tolérance de fabrication)
- Linéarisation de la caractéristique de transfert (réduction du taux de distorsion)
- Réduction du bruit électronique (signaux électriques parasites)
- Extension de la bande passante
- Contrôle de la valeur des impédances d'entrée et sortie

1. LA REACTION NEGATIVE: INTRODUCTION

CONFIGURATION GENERALE, L'ampli en boucle fermée A_F



Les composants de base:

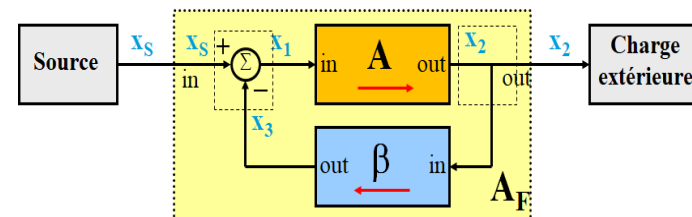
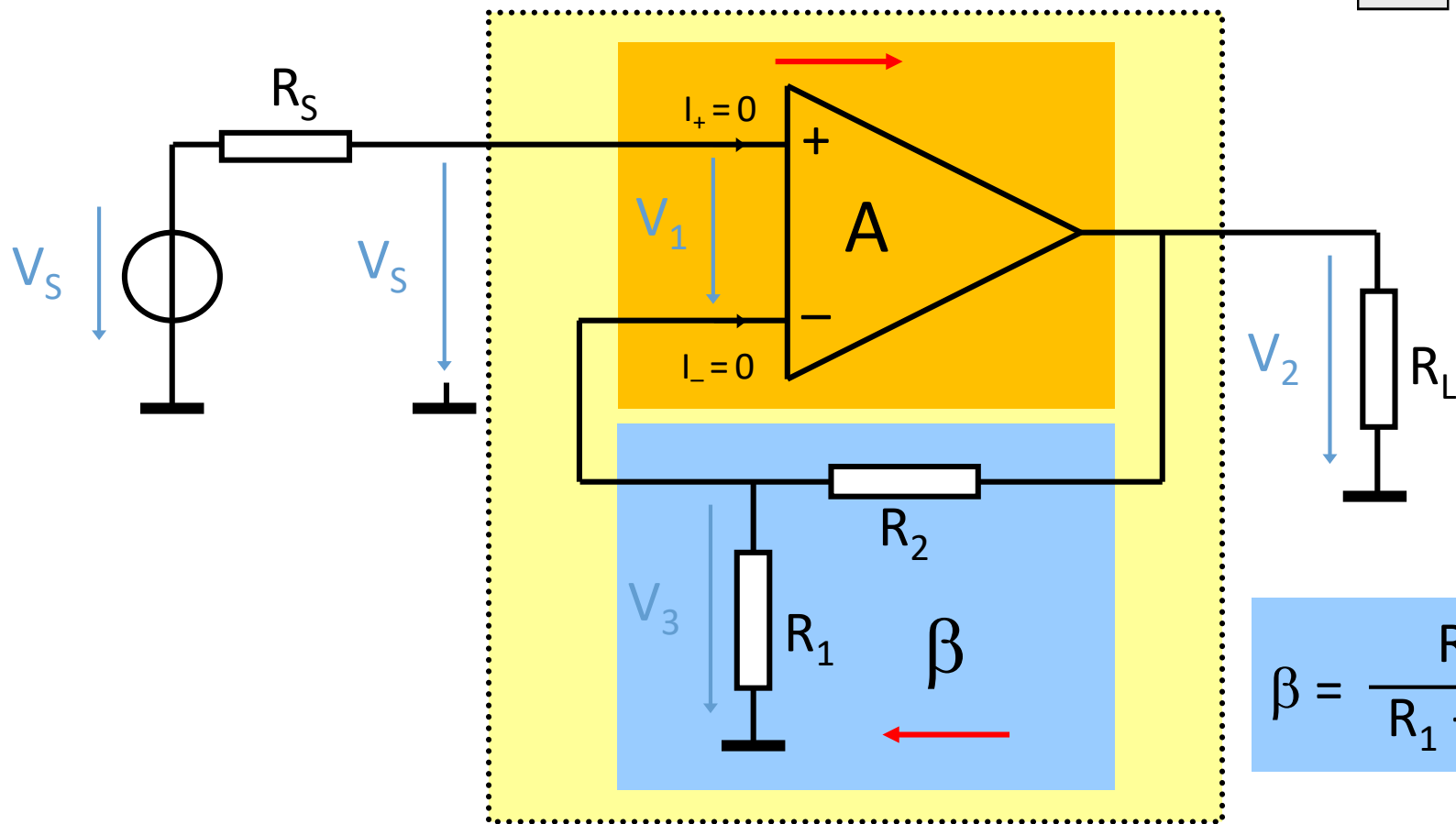
- L'amplificateur dont le gain vaut A en 'boucle ouverte'
- Le circuit de réaction caractérisé par le gain β (atténuation)
- 'Mesure' à la sortie
- 'Soustraction' à l'entrée

Notes sur les signaux

- x_i représentent soit des tensions, soit des courants
- x_s , x_1 et x_3 sont de même nature, alors que x_2 peut être de nature différente:
→ il y a donc 4 combinaisons possibles à considérer

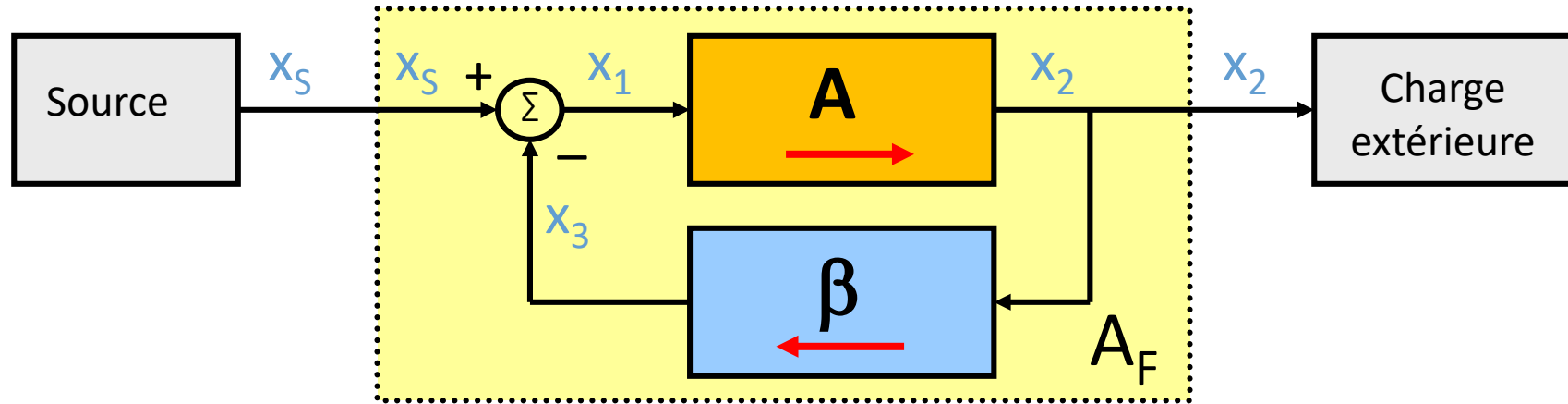
1. LA REACTION NEGATIVE: INTRODUCTION

EXEMPLE DE CIRCUIT AVEC RÉACTION NÉGATIVE:
L'AMPLI NON-INVERSEUR A AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL



1. LA REACTION NEGATIVE: INTRODUCTION

CONFIGURATION GENERALE, ANALYSE 1/2

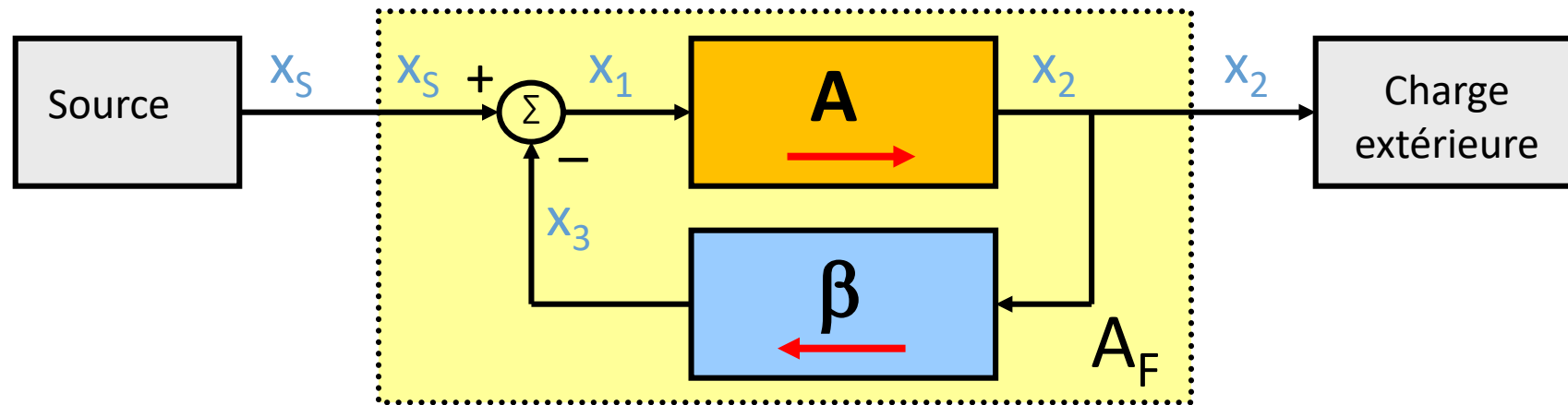


Hypothèses de travail: (justification ultérieure)

- Ampli de gain A unidirectionnel
- Quadripôle de réaction β unidirectionnel
- La source d'entrée, la charge de sortie et le quadripôle de réaction β n'influencent pas le gain A de l'ampli

1. LA REACTION NEGATIVE: INTRODUCTION

CONFIGURATION GENERALE, ANALYSE 2/2



$$\left. \begin{aligned} x_2 &= A \cdot x_1 \\ x_3 &= \beta \cdot x_2 \\ x_1 &= x_s - x_3 \end{aligned} \right\}$$

$$A_F = \frac{x_2}{x_s} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} = \frac{A}{T}$$

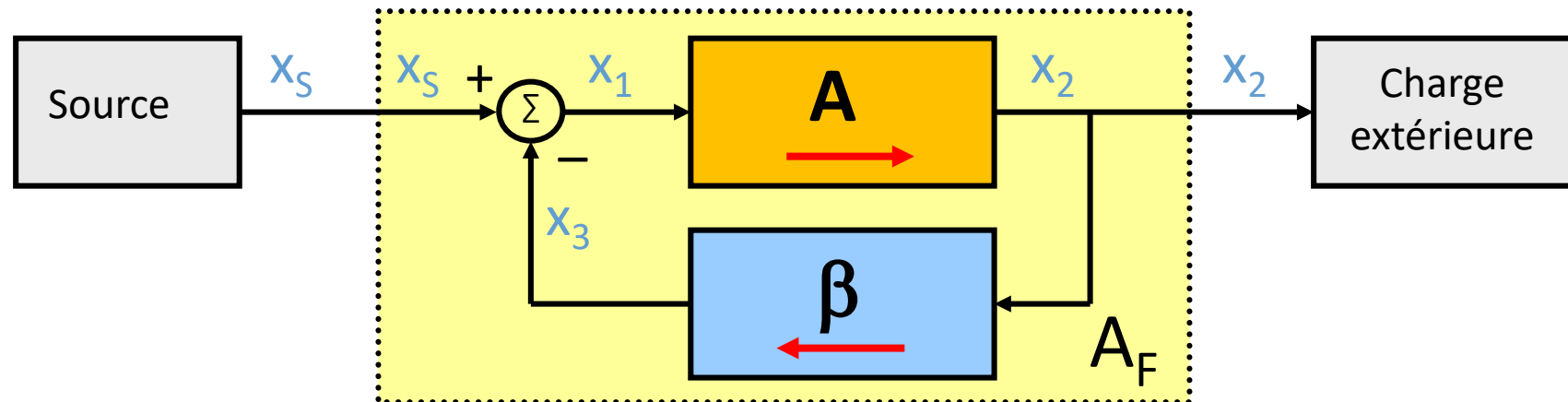
Taux de réaction: $T = 1 + A \cdot \beta$

Gain de boucle: $A \cdot \beta$

2. LA REACTION NEGATIVE: PROPRIETES GENERALES

EFFETS DE LA CONTRE-REACTION

□ PRECISION DU GAIN A_F (DESENSIBILISATION)



$$A_F = \frac{A}{1 + A \cdot \beta}$$
$$\frac{dA_F}{dA} = \frac{1}{(1 + A \cdot \beta)^2}$$



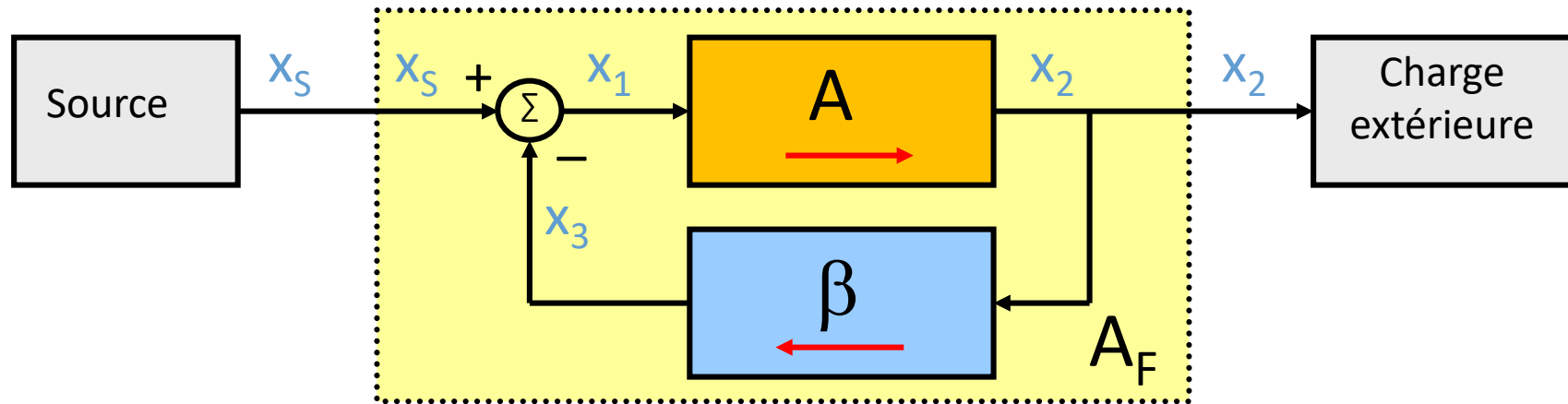
$$\frac{dA_F}{A_F} = \frac{1}{1 + A \cdot \beta} \cdot \frac{dA}{A}$$

Exemple AO réel : $A=1000$, $\beta=0.1$, $\frac{dA}{A}=20\% \Rightarrow \frac{dA_F}{A_F} = \frac{1}{1+0.1 \cdot 1000} * 20\% = 0.2\%$

2. LA REACTION NEGATIVE: PROPRIETES GENERALES

EFFETS DE LA CONTRE-REACTION

□ REDUCTION DU GAIN (et STABILISATION)



"Gain" en boucle fermée:

$$A_F = \frac{x_2}{x_s} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} = \frac{1}{\beta} \left(\frac{1}{\frac{1}{A \cdot \beta} + 1} \right)$$

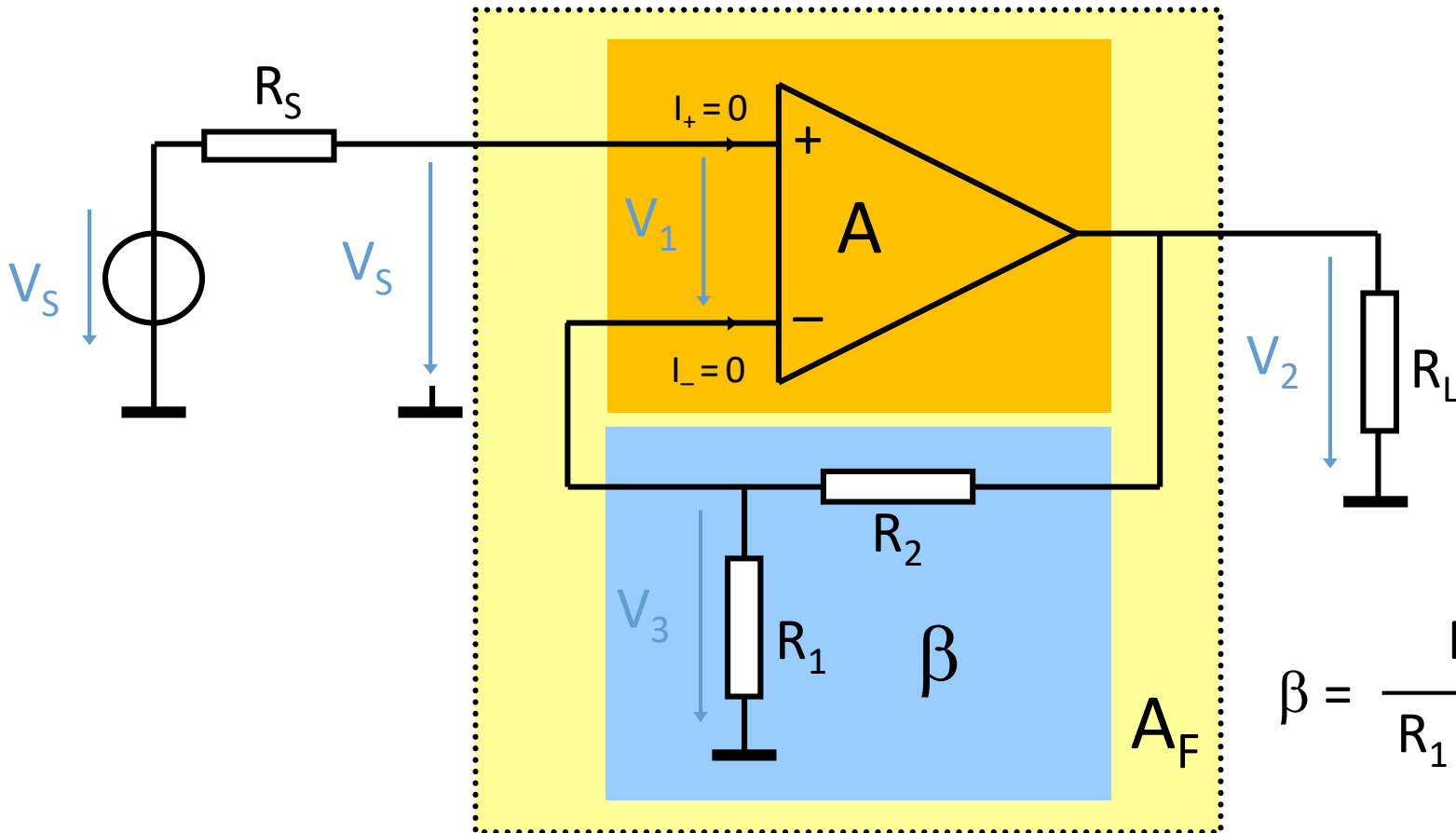
Avec un gain de boucle élevé: $A \cdot \beta \gg 1 \rightarrow A_F = \frac{1}{\beta}$

Permet une très bonne précision

2. LA REACTION NEGATIVE: PROPRIETES GENERALES

EFFETS DE LA CONTRE-REACTION

□ EFFETS SUR LE GAIN, EXEMPLE DU MONTAGE NON-INVERSEUR



Théorie AO idéal: $A = \infty$

Golden Rules:

- 1) $I_+ = I_- = 0$: Cette règle s'applique indépendamment de la présence ou non de réaction négative
- 2) $V_+ = V_-$: Cette règle ne s'applique que **lorsqu'il y a une rétroaction négative**

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$A_F = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Exemple AO 741 réel : $A_{\min} = 20000$ $A_{\text{typ}} = 200000$

$R_2 = 10 \cdot R_1$ \Rightarrow $A_{F,\min} = 10.994$ $A_{F,\text{typ}} = 10.999$ $A_{F,\text{théorique}} = 11$

2. LA REACTION NEGATIVE: PROPRIETES GENERALES

EFFETS DE LA CONTRE-REACTION

□ AUGMENTATION DE LA BANDE PASSANTE (1/2)

Cas général :

$$\underline{A}_F(j\omega) = \frac{\underline{A}(j\omega)}{1 + \underline{A}(j\omega) \cdot \underline{\beta}(j\omega)}$$

Dans le cas où :

$$\underline{A}(j\omega) = \frac{A_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}}$$

et

$\beta = \text{constante réelle}$

On obtient :

$$\underline{A}_F(j\omega) = \frac{A_{F0}}{1 + \frac{j\omega}{\omega_{F0}}}$$

avec

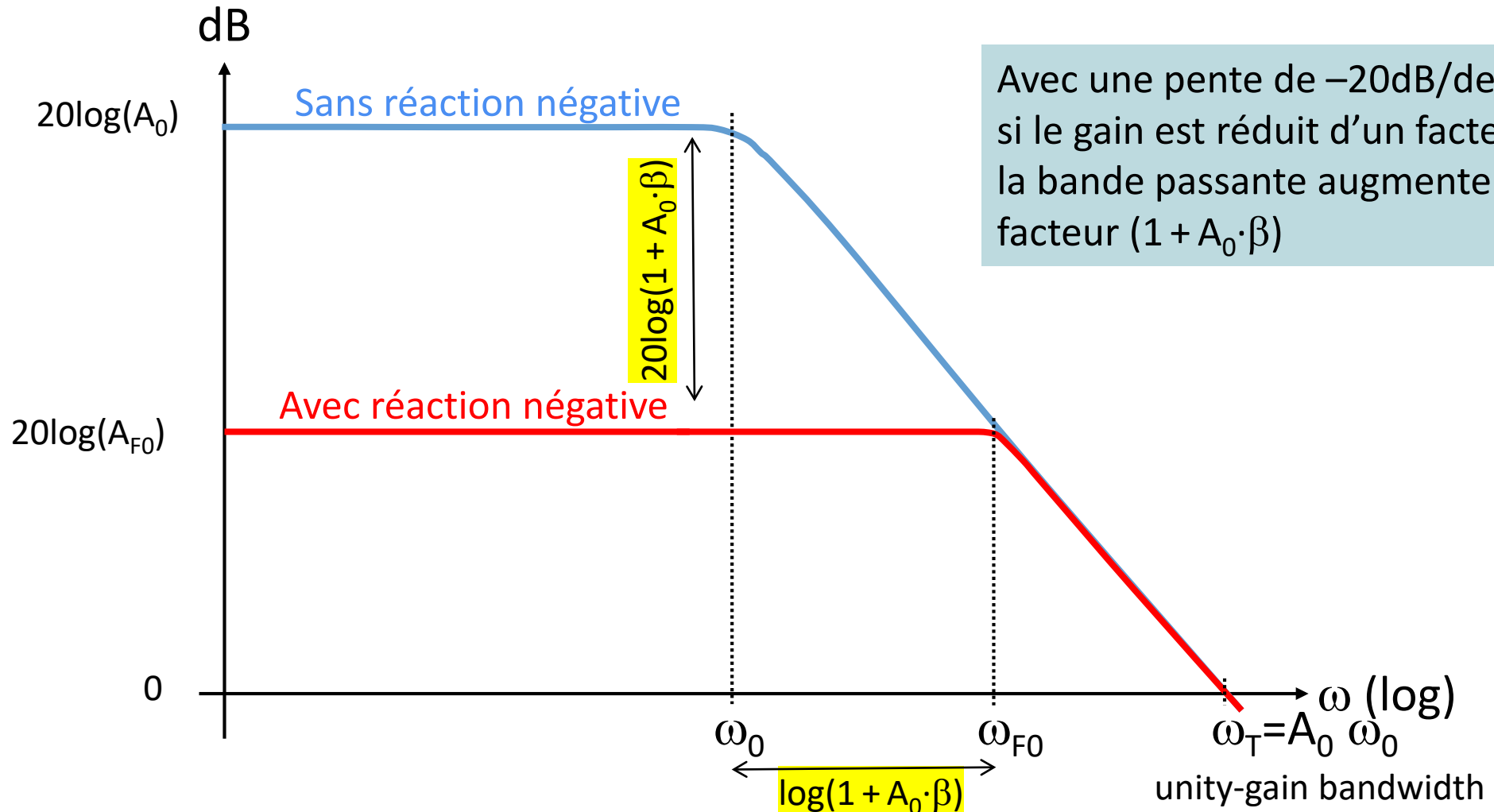
$$A_{F0} = \frac{A_0}{1 + A_0 \cdot \beta}$$

$$\omega_{F0} = \omega_0 \cdot (1 + A_0 \cdot \beta)$$

2. LA REACTION NEGATIVE: PROPRIETES GENERALES

EFFETS DE LA CONTRE-REACTION

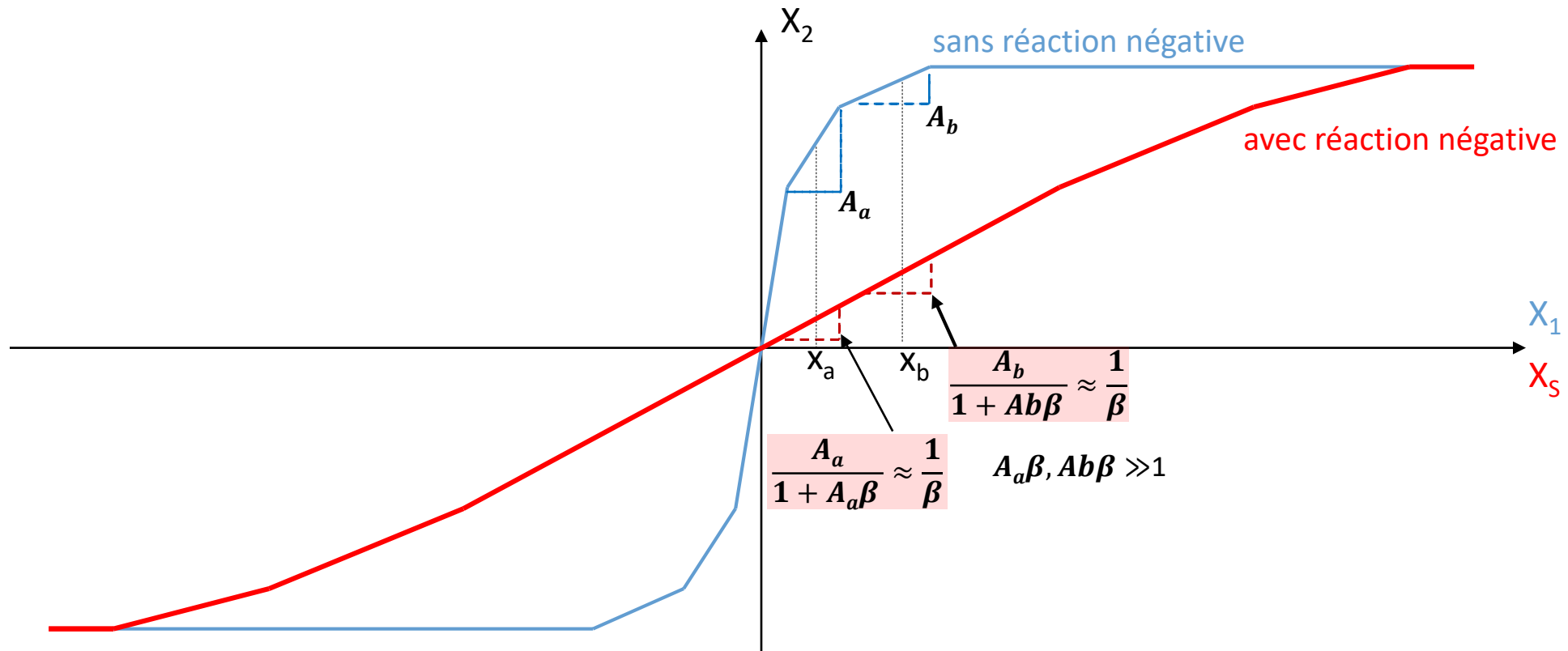
□ AUGMENTATION DE LA BANDE PASSANTE (1/2)



2. LA REACTION NEGATIVE: PROPRIETES GENERALES

EFFETS DE LA CONTRE-REACTION

□ LINEARISATION ET REDUCTION DES DISTORSIONS HARMONIQUES



Quiz: Montrez que pour un signal sinus de pulsation ω_f , l'amplitude de chaque harmonique de rang n produite par la non-linéarité de A est réduite d'un facteur $|1 + \underline{A}(jn\omega_f) \cdot \underline{\beta}(jn\omega_f)|$

2. LA REACTION NEGATIVE: PROPRIETES GENERALES

EFFETS DE LA CONTRE-REACTION

□ REDUCTION DU BRUIT PROPRE DE L'AMPLI A

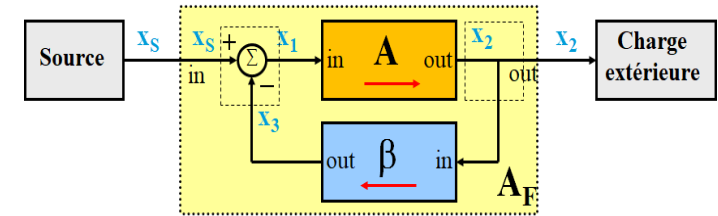
- Le bruit généré par le montage en boucle fermée est réduit d'un facteur $(1 + A \cdot \beta)$ par rapport au bruit généré par l'ampli A en boucle ouverte (β étant supposé non-bruyant).
- Le bruit équivalent d'entrée de A est multiplié par le gain en boucle fermée A_F (comme $A_F \ll A \rightarrow$ moins d'amplification du bruit)

Quiz: Modélisez les source de bruit sur la configuration d'une boucle à réaction négative et démontrez les affirmations ci-dessus.

2. LA REACTION NEGATIVE: PROPRIETES GENERALES

EFFETS DE LA CONTRE-REACTION

□ EFFET SUR LES IMPEDANCES D'ENTREE ET DE SORTIE



On va démontrer que:

- Une connexion parallèle à un accès (entrée ou sortie) divise l'impédance de cet accès par un facteur $(1 + A \cdot \beta)$
- Une connexion série à un accès multiplie l'impédance de cet accès par un facteur $(1 + A \cdot \beta)$

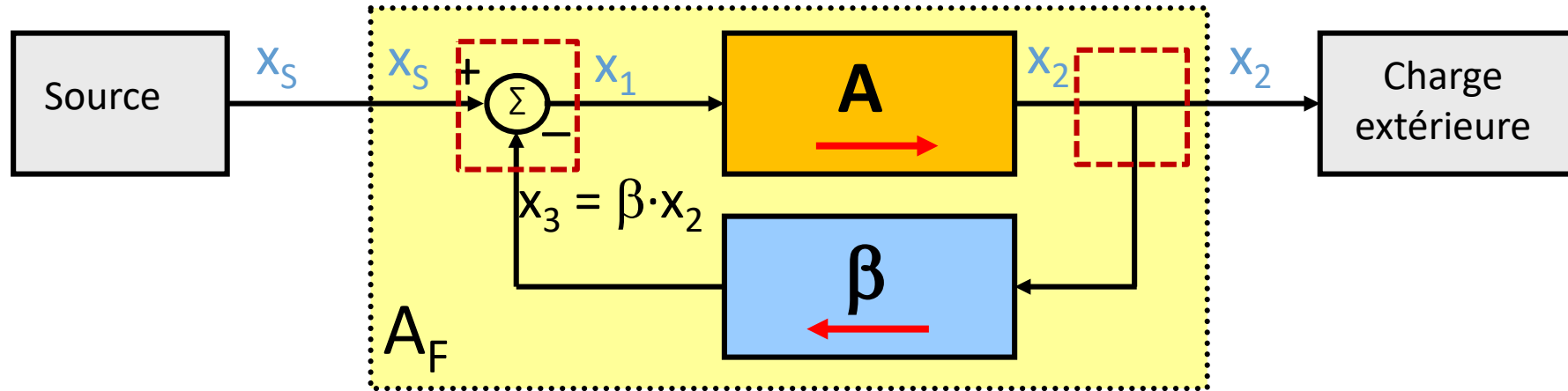
Rappel des hypothèses de travail (conditions de réaction négative idéale):

1. Ampli de gain A unidirectionnel
2. Quadripôle de réaction β unidirectionnel
3. La source d'entrée, la charge de sortie et le quadripôle de réaction β n'influencent pas le gain A de l'ampli

Dans le cas où la condition 3) n'est pas respectée, on reviendra au cas idéal en intégrant les éléments non-idéaux dans le quadripôle A

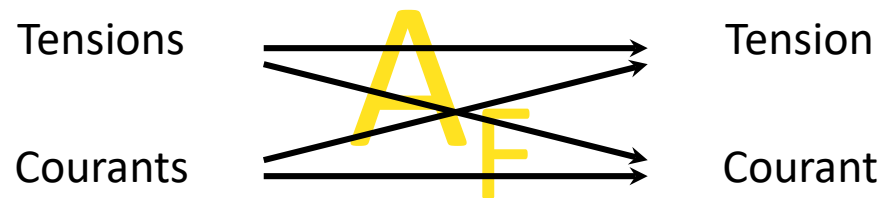
3. LA REACTION NEGATIVE: LES 4 CONFIGURATIONS

CAS GENERAL



Soustraction
 $x_1 = x_s - x_3$

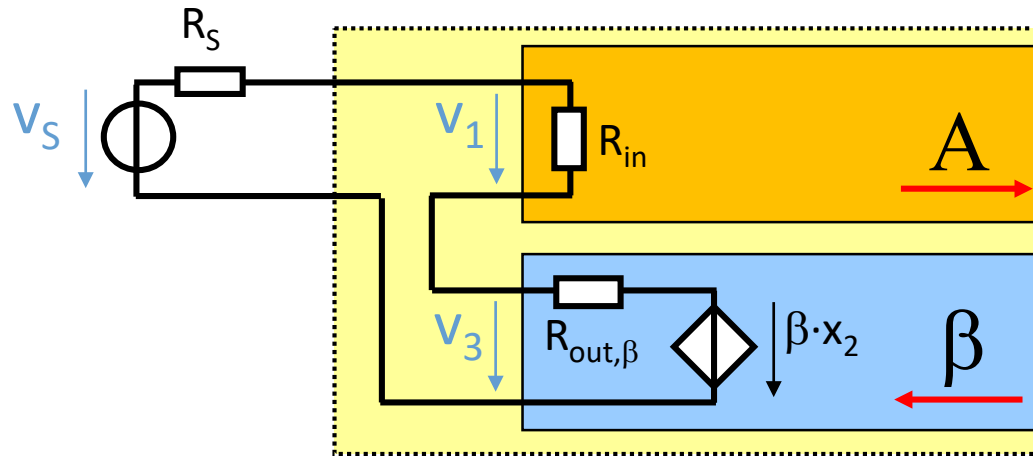
Mesure
 x_2



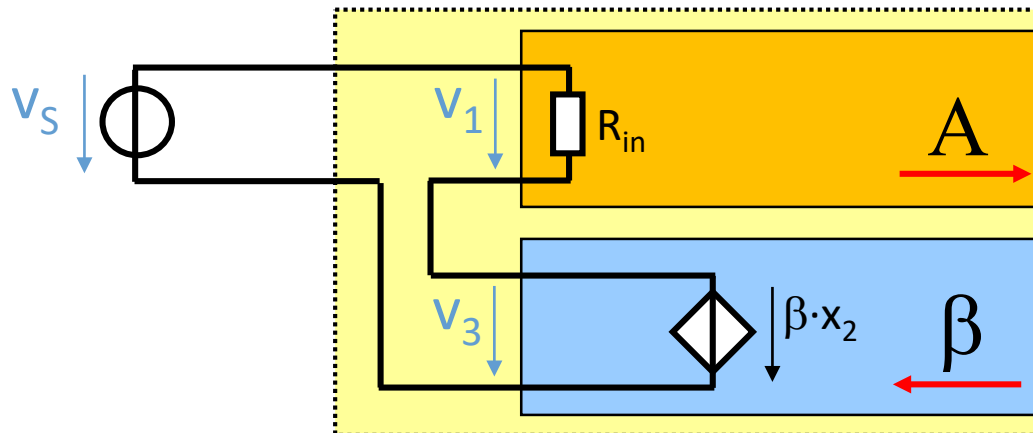
4 combinaisons
4 configurations de base

3. LA REACTION NEGATIVE: LES 4 CONFIGURATIONS

ENTRÉE: SOUSTRACTION DE TENSIONS \Leftrightarrow CONNEXION SÉRIE



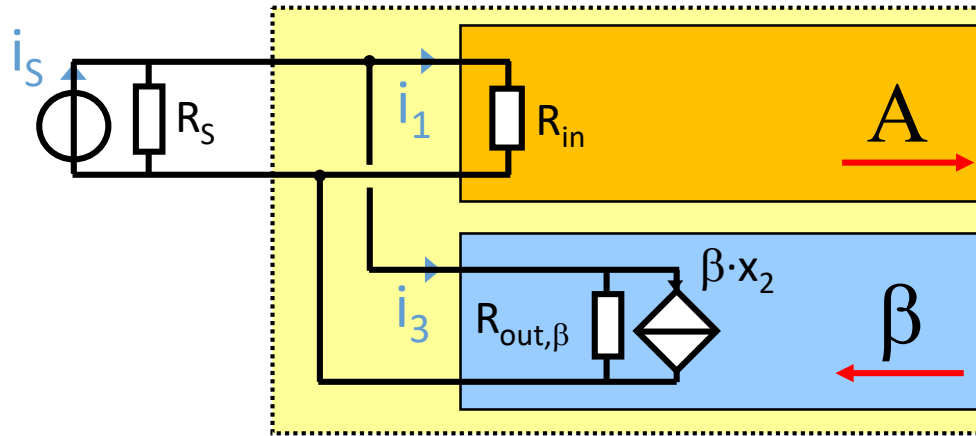
Conditions pour une soustraction correcte des tensions :
 $v_1 = v_s - \beta \cdot x_2$ pour tout R_{in} seulement si $R_{out,\beta} = 0$ et $R_s = 0$



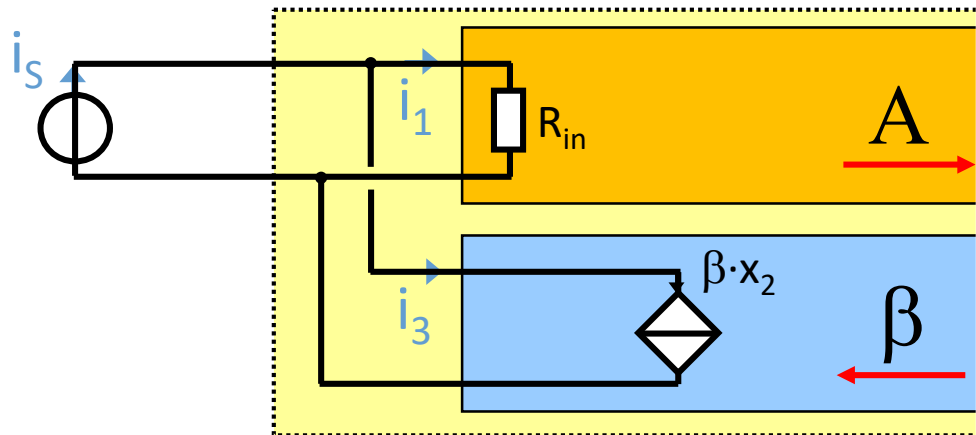
**Réaction
négative
idéale**

3. LA REACTION NEGATIVE: LES 4 CONFIGURATIONS

ENTRÉE: SOUSTRACTION DE COURANTS \Leftrightarrow CONNEXION PARALLÈLE



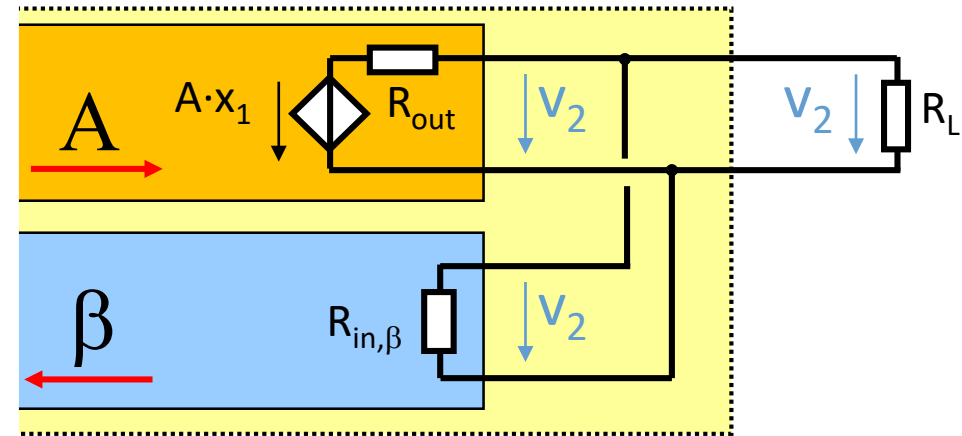
Conditions pour une soustraction correcte des courants :
 $i_1 = i_s - \beta \cdot x_2$ pour tout R_{in} seulement si $R_{out,\beta} = \infty$ et $R_s = \infty$



**Réaction
négative
idéale**

3. LA REACTION NEGATIVE: LES 4 CONFIGURATIONS

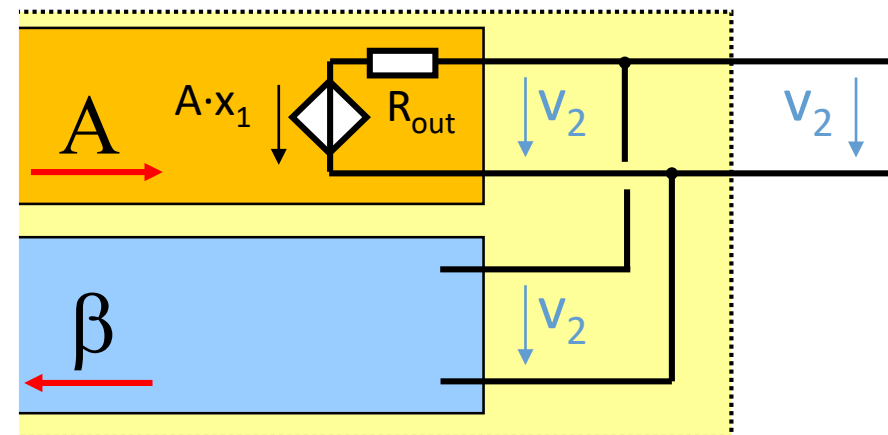
SORTIE: MESURE DE LA TENSION \Leftrightarrow CONNEXION PARALLÈLE



Conditions pour que ni le quadripôle β ni la charge R_L n'influencent le gain A :

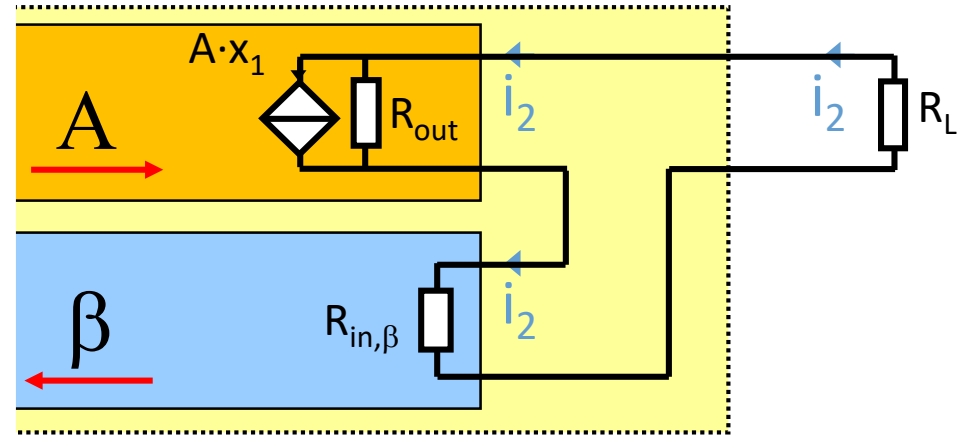
$$v_2 = A \cdot x_1 \quad \text{pour tout } R_{out} \quad \text{seulement si } R_{in,\beta} = \infty \quad \text{et } R_L = \infty$$

**Réaction
négative
idéale**



3. LA REACTION NEGATIVE: LES 4 CONFIGURATIONS

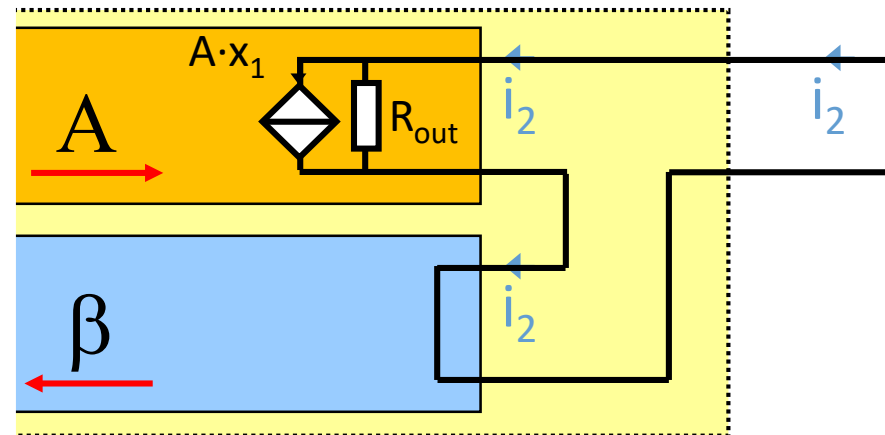
SORTIE: MESURE DE COURANT \Leftrightarrow CONNEXION SÉRIE



Conditions pour que ni le quadripôle β ni la charge R_L n'influencent le gain A :

$$i_2 = A \cdot x_1 \quad \text{pour tout } R_{out} \quad \text{seulement si } R_{in,\beta} = 0 \quad \text{et} \quad R_L = 0$$

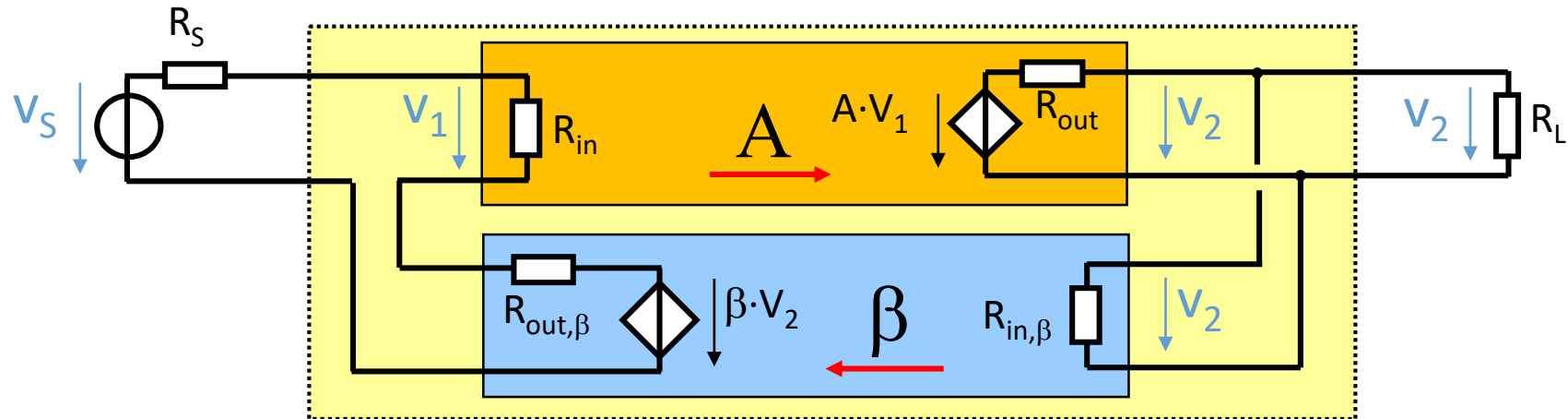
**Réaction
négative
idéale**



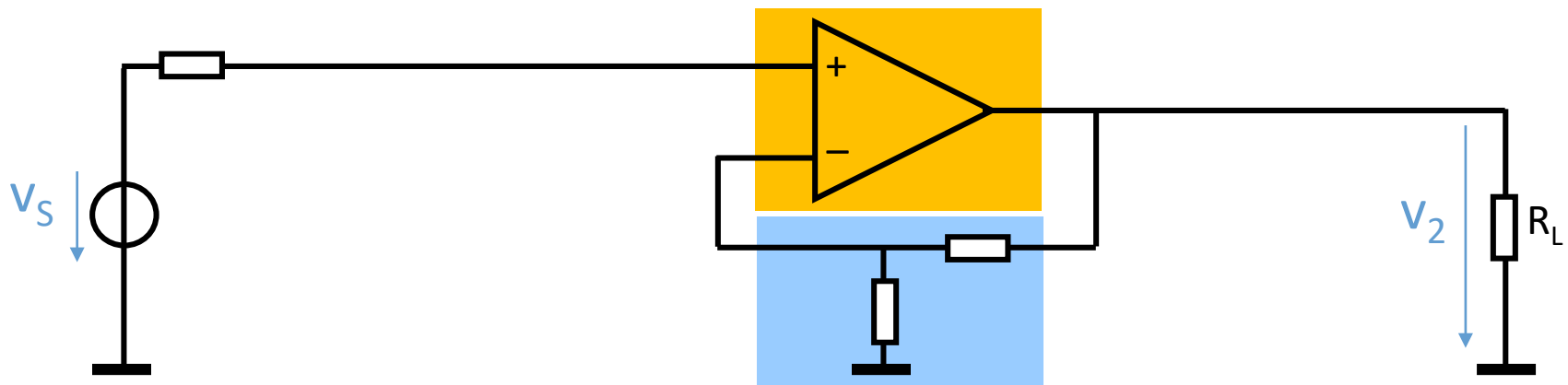
3. LA REACTION NEGATIVE: LES 4 CONFIGURATIONS

RESUME: LES 4 CONFIGURATIONS FONDAMENTALES (1/4)

□ CONFIGURATION SERIE-PARALLELE, AMPLI DE TENSION



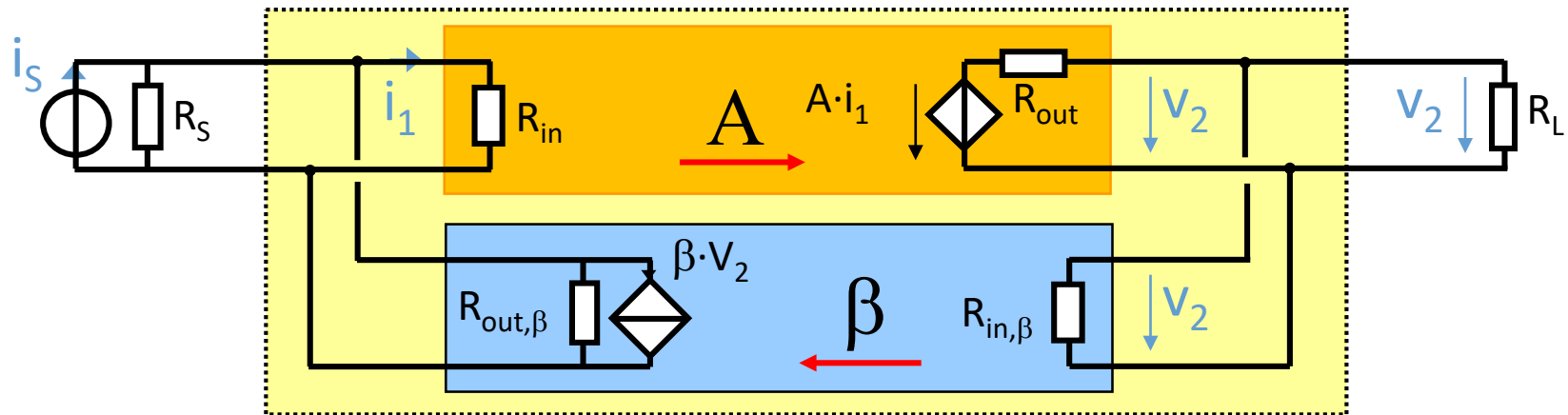
Exemple:



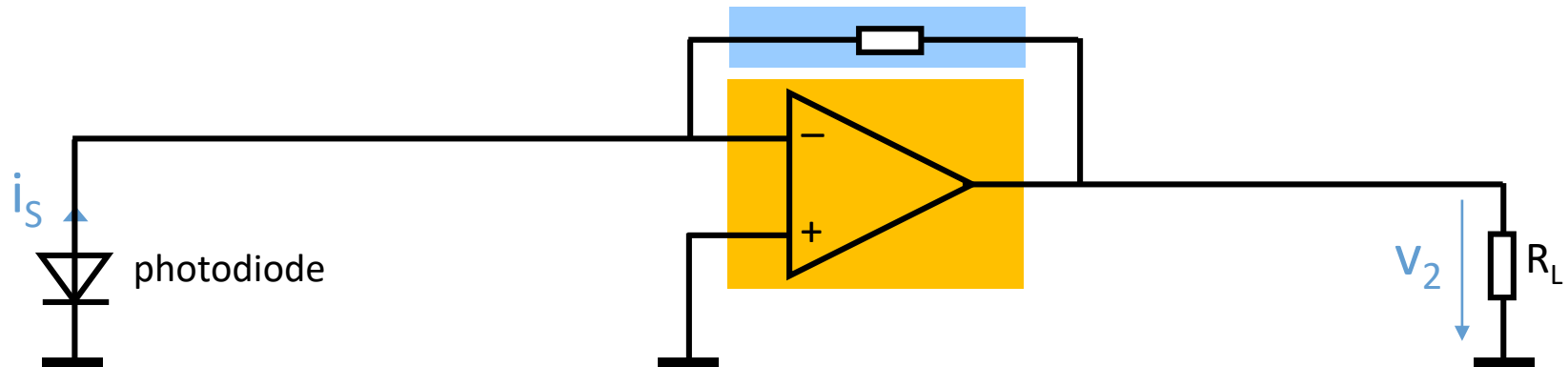
3. LA REACTION NEGATIVE: LES 4 CONFIGURATIONS

RESUME: LES 4 CONFIGURATIONS FONDAMENTALES (2/4)

□ CONFIGURATION PARALLELE-PARALLELE, AMPLI A TRANSRESISTANCE



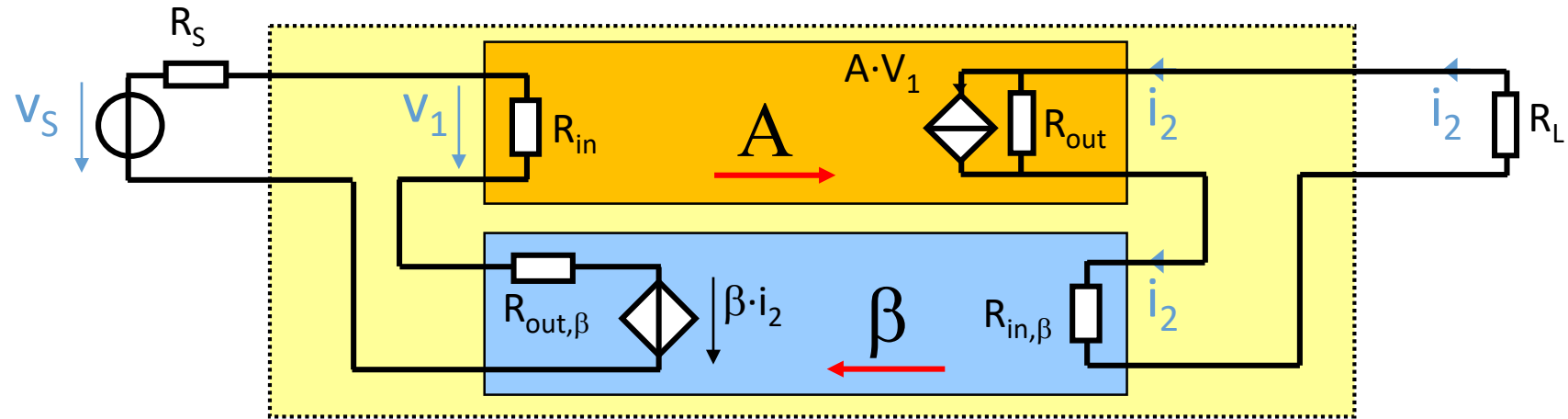
Exemple:



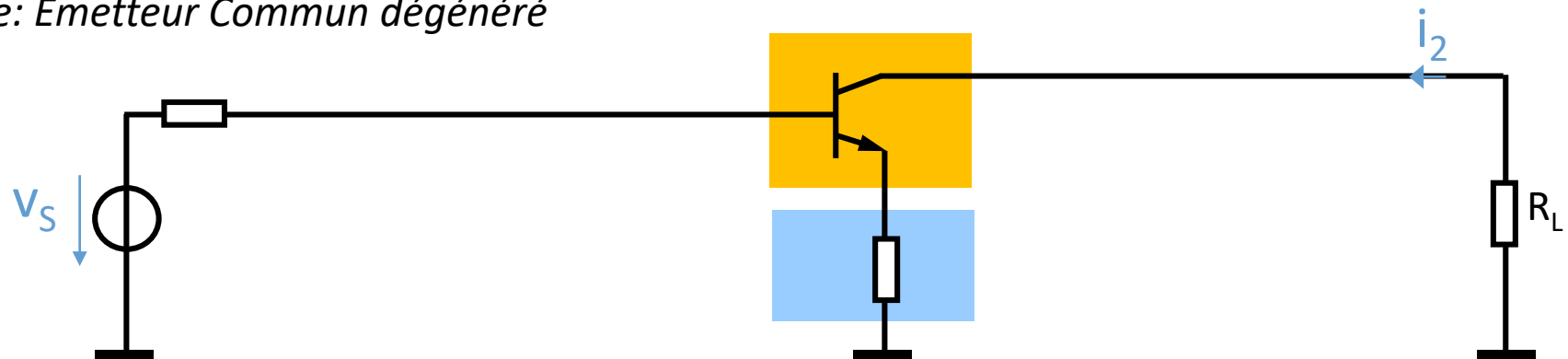
3. LA REACTION NEGATIVE: LES 4 CONFIGURATIONS

RESUME: LES 4 CONFIGURATIONS FONDAMENTALES (3/4)

□ CONFIGURATION SERIE-SERIE, AMPLI A TRANSCONDUCTANCE



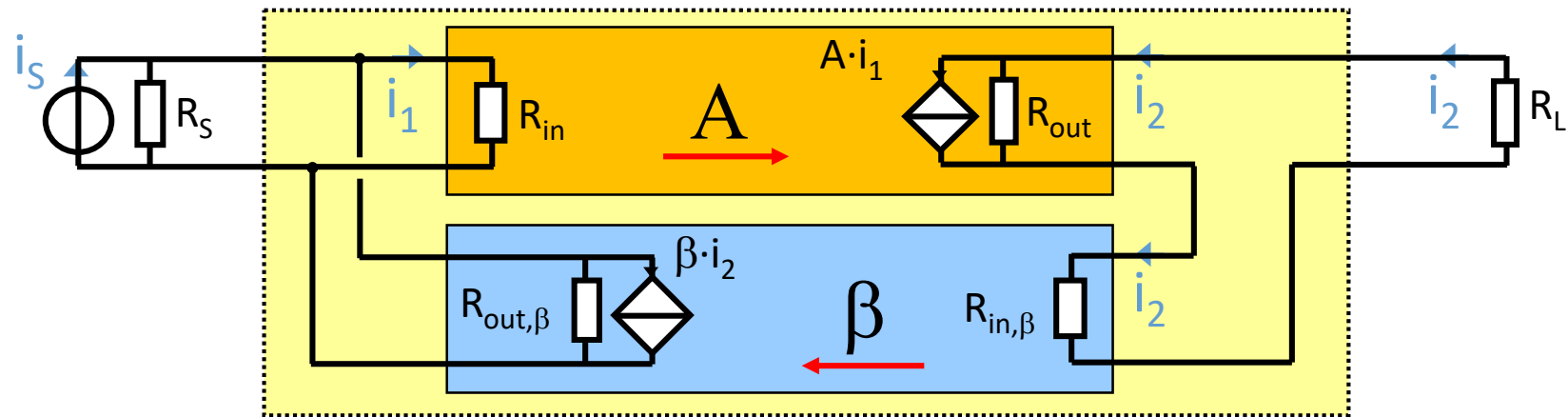
Exemple: Emetteur Commun dégenéré



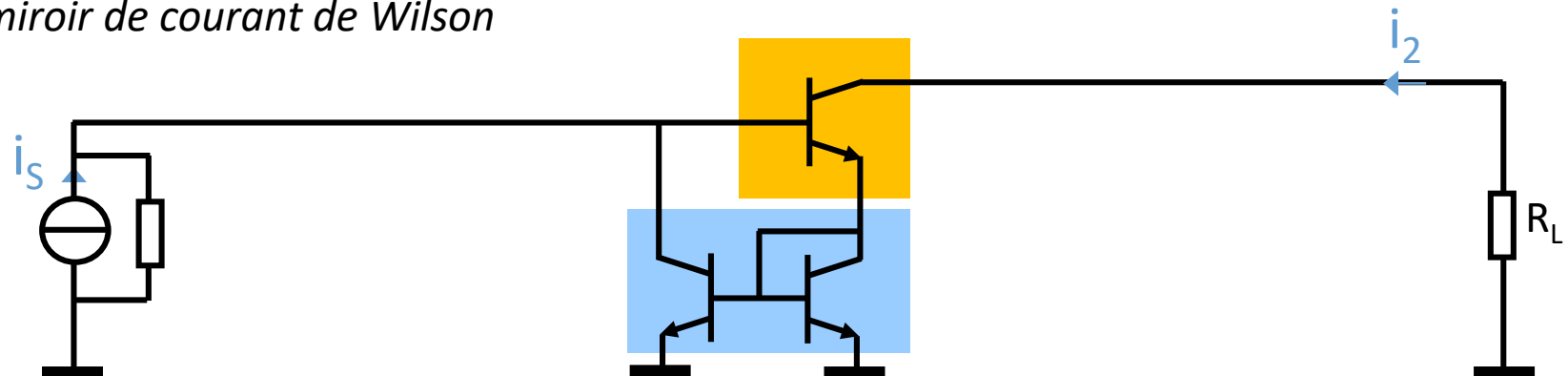
3. LA REACTION NEGATIVE: LES 4 CONFIGURATIONS

RESUME: LES 4 CONFIGURATIONS FONDAMENTALES (4/4)

□ CONFIGURATION PARALLELE-SERIE, AMPLI DE COURANT



Exemple: miroir de courant de Wilson

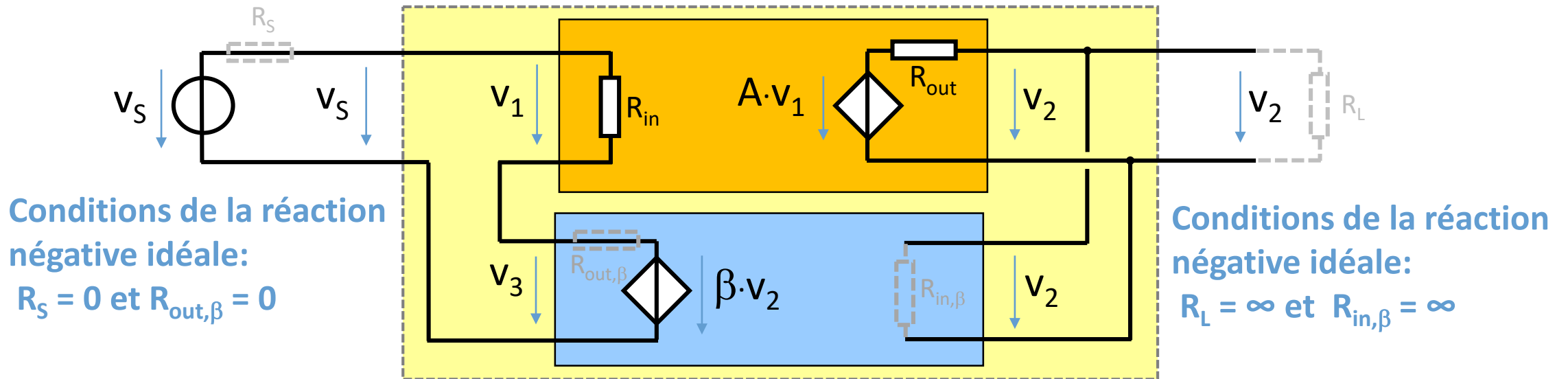


4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

REACTON SERIE-PARALLELE (1/4)

AMPLI DE TENSION



Grâce à l'impédance de sortie nulle de β et à la résistance de source nulle, on a:

$$v_1 = v_S - \beta \cdot v_2$$

Grâce à l'impédance d'entrée infinie de β et à la charge R_L infinie, on a:

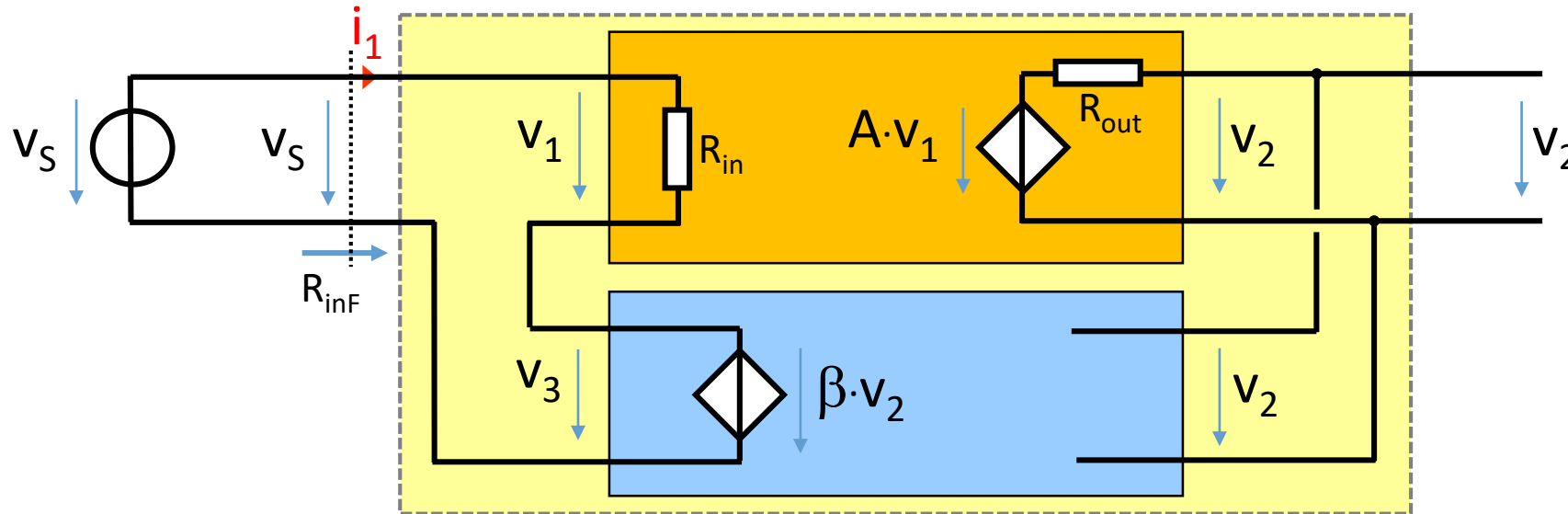
$$v_2 = A \cdot v_1$$

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

□ REACTION SERIE-PARALLELE (2/4)

AMPLI DE TENSION



$$A = \frac{v_2}{v_1}$$

$$\beta = \frac{v_3}{v_2}$$

Gain en tension :

$$A_F = \frac{v_2}{v_S} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} \xrightarrow{A \cdot \beta \gg 1} \frac{1}{\beta}$$

Résistance d'entrée :

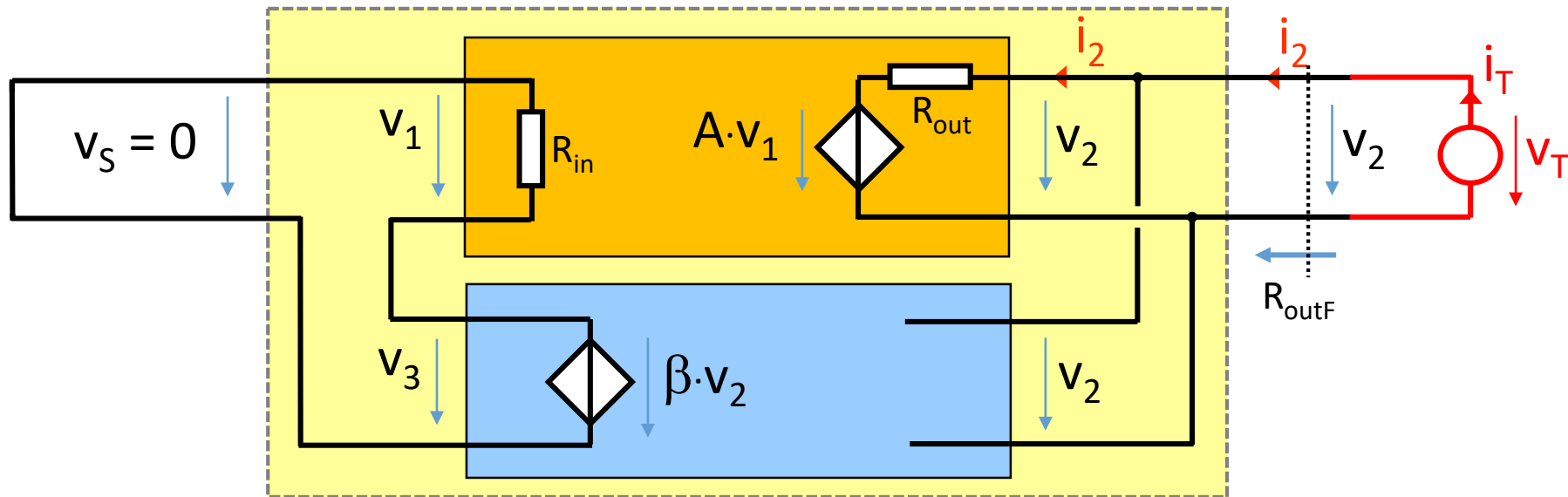
$$R_{inF} = \frac{v_S}{i_1} = \frac{v_1 + v_3}{i_1} = \frac{v_1 \cdot (1 + A \cdot \beta)}{i_1} = R_{in} \cdot (1 + A \cdot \beta)$$

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

REACTION SERIE-PARALLELE (3/4)

AMPLI DE TENSION



Résistance de sortie : On annule la source v_s
 On connecte une source auxiliaire à la sortie

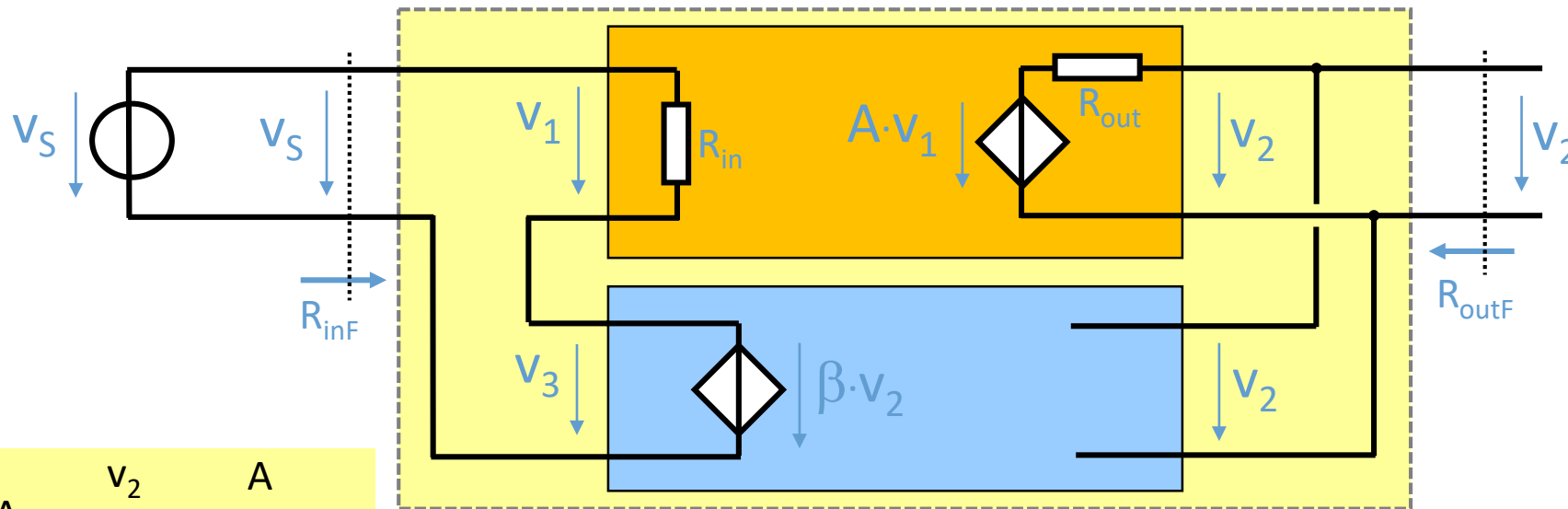
$$R_{outF} = \frac{v_T}{i_T} = \frac{v_2}{i_2} = \frac{v_2}{\frac{v_2 - A \cdot v_1}{R_{out}}} = \frac{v_2}{\frac{v_2 - A \cdot (-v_3)}{R_{out}}} = \frac{v_2}{\frac{v_2 - A \cdot (-\beta \cdot v_2)}{R_{out}}} = \frac{v_2}{\frac{v_2 \cdot (1 + A \cdot \beta)}{R_{out}}} = \frac{R_{out}}{(1 + A \cdot \beta)}$$

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

❑ REACTION SERIE-PARALLELE (4/4)

AMPLI DE TENSION



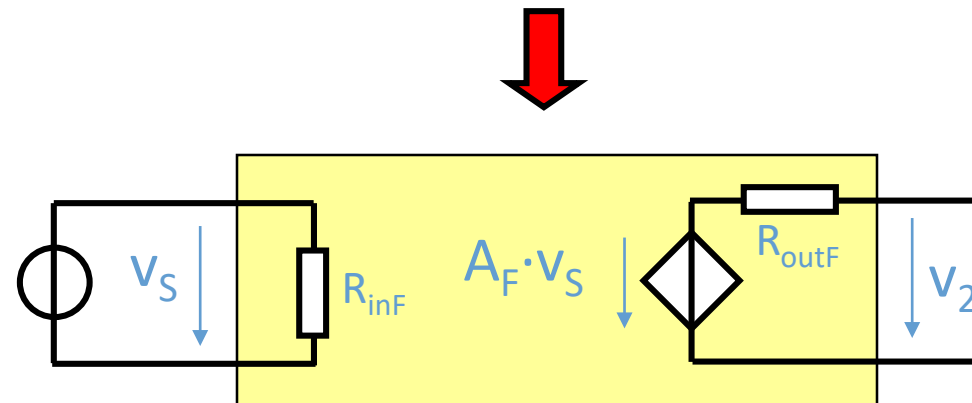
$$A = \frac{v_2}{v_1}$$

$$\beta = \frac{v_3}{v_2}$$

$$A_F = \frac{v_2}{v_s} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta}$$

$$R_{inF} = R_{in} \cdot (1 + A \cdot \beta)$$

$$R_{outF} = \frac{R_{out}}{1 + A \cdot \beta}$$



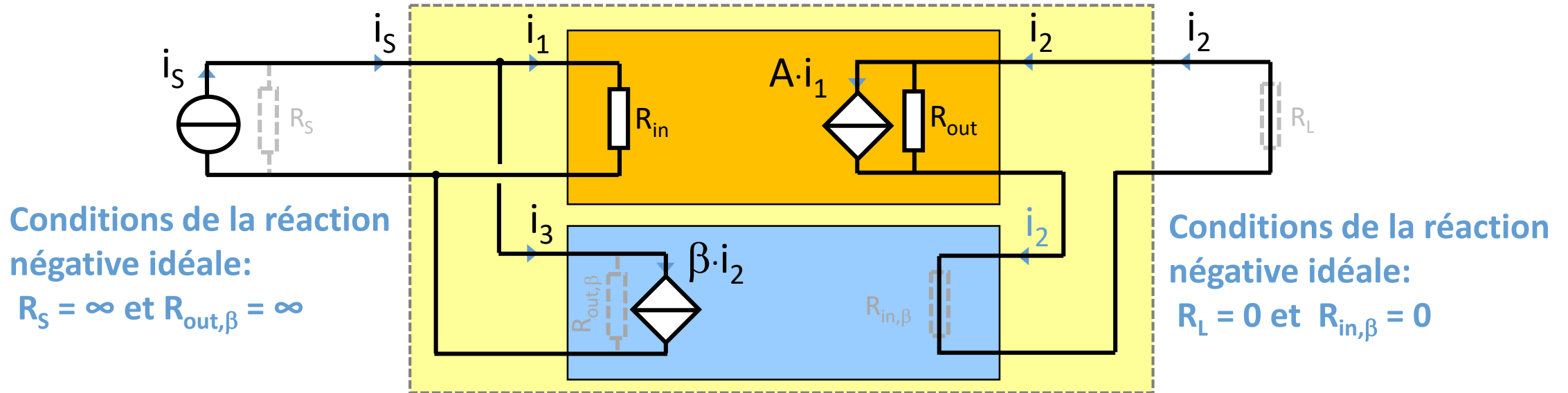
Un ampli de tension aux performances moyennes devient un ampli de tension quasi-idéal grâce à la réaction négative Série-Parallèle

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

□ REACTION PARALLELE-SERIE (1/4)

AMPLI DE COURANT



Grâce à l'impédance de sortie infinie de β et à la résistance de source infinie, on a:

$$i_1 = i_s - \beta \cdot i_2$$

Grâce à l'impédance d'entrée nulle de β et à la charge R_L nulle, on a:

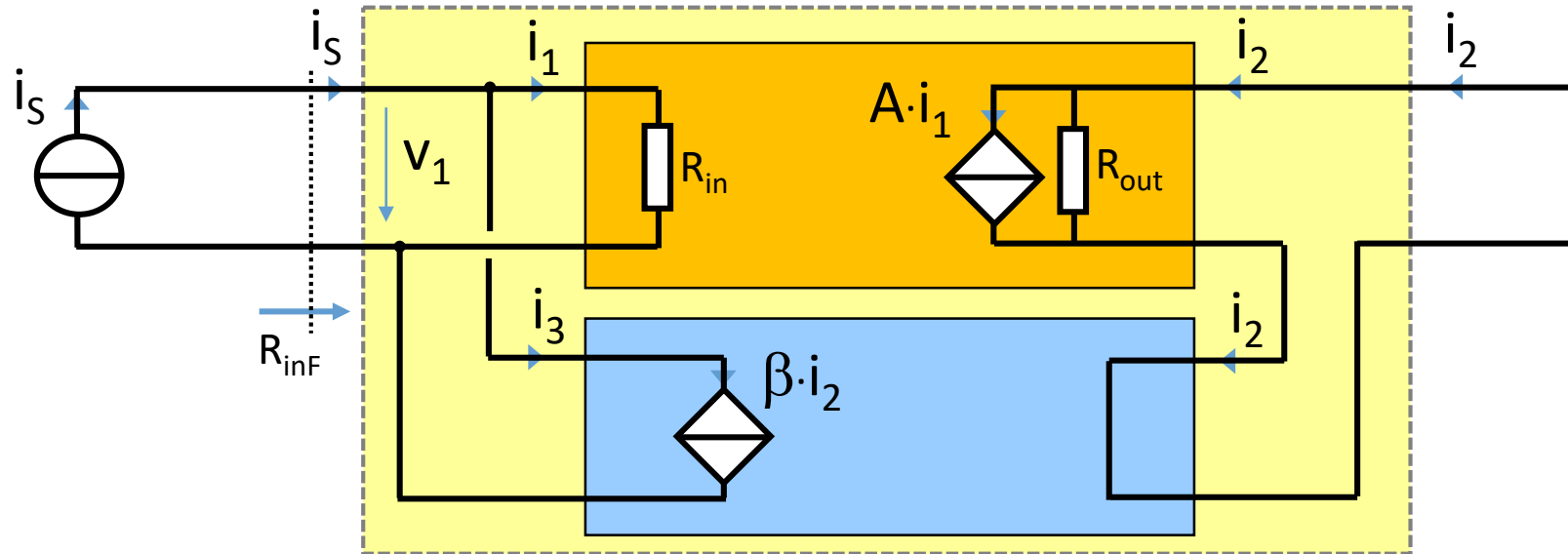
$$i_2 = A \cdot i_1$$

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

REACTION PARALLELE-SERIE (2/4)

AMPLI DE COURANT



$$A = \frac{i_2}{i_1}$$

$$\beta = \frac{i_3}{i_2}$$

Gain en courant :

$$A_F = \frac{i_2}{i_s} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} \xrightarrow{A \cdot \beta \gg 1} \frac{1}{\beta}$$

Résistance d'entrée :

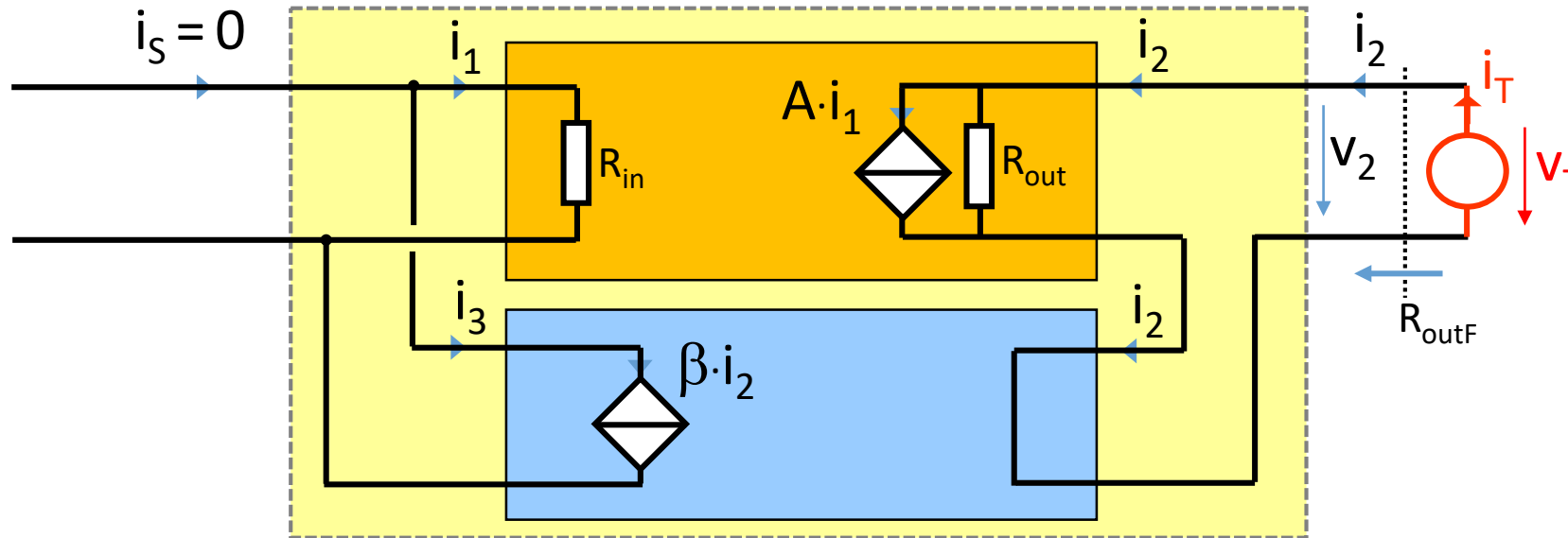
$$R_{inF} = \frac{v_1}{i_s} = \frac{v_1}{i_1 + i_3} = \frac{v_1}{i_1 + A \cdot \beta \cdot i_1} = \frac{v_1}{i_1 \cdot (1 + A \cdot \beta)} = \frac{R_{in}}{1 + A \cdot \beta}$$

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

□ REACTION PARALLELE-SERIE (3/4)

AMPLI DE COURANT



Résistance de sortie : On annule la source i_s
On connecte une source auxiliaire à la sortie

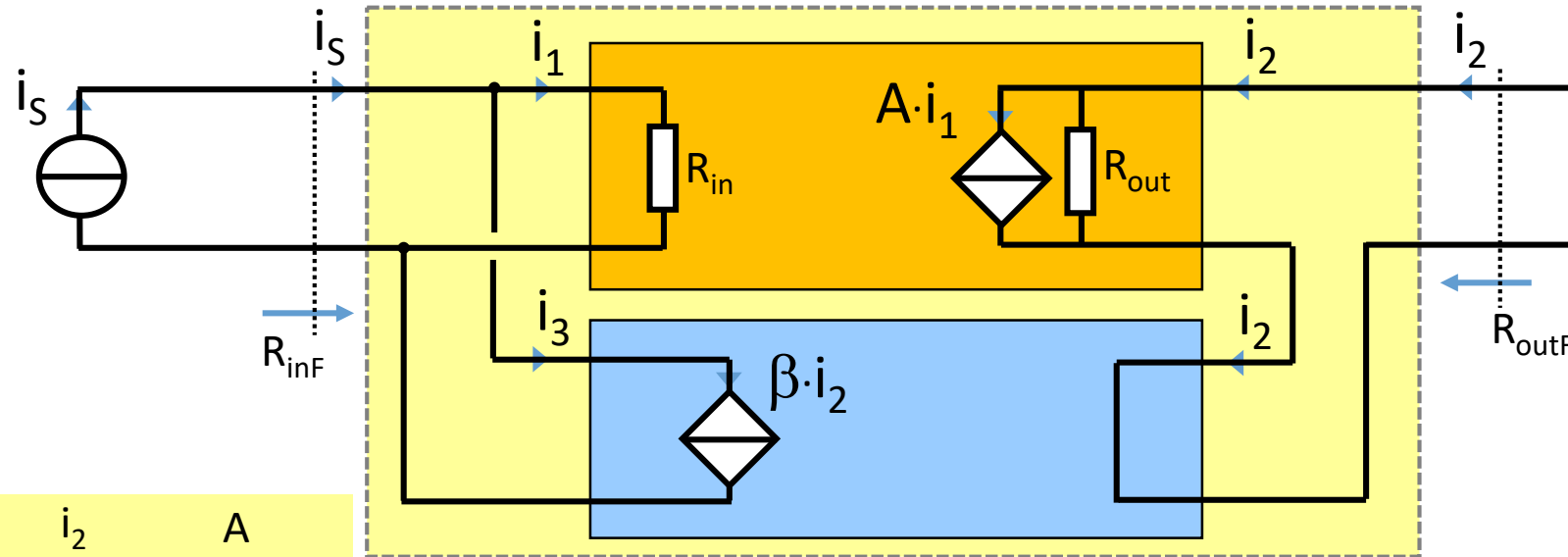
$$R_{outF} = \frac{v_2}{i_2} = \frac{R_{out} \cdot (i_2 - A \cdot i_1)}{i_2} = \frac{R_{out} \cdot (i_2 - A \cdot (-i_3))}{i_2} = \frac{R_{out} \cdot (i_2 + A \cdot \beta \cdot i_2)}{i_2} = R_{out} \cdot (1 + A \cdot \beta)$$

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

REACTION PARALLELE-SERIE (4/4)

AMPLI DE COURANT



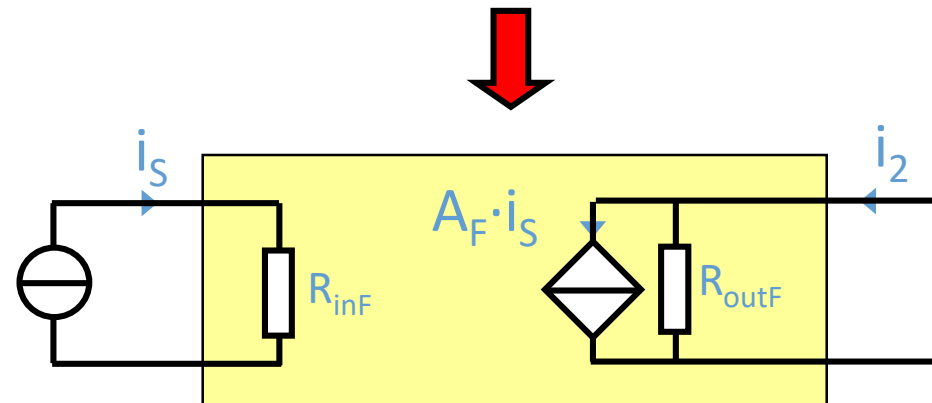
$$A = \frac{i_2}{i_1}$$

$$\beta = \frac{i_3}{i_2}$$

$$A_F = \frac{i_2}{i_s} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta}$$

$$R_{inF} = \frac{R_{in}}{1 + A \cdot \beta}$$

$$R_{outF} = R_{out} \cdot (1 + A \cdot \beta)$$



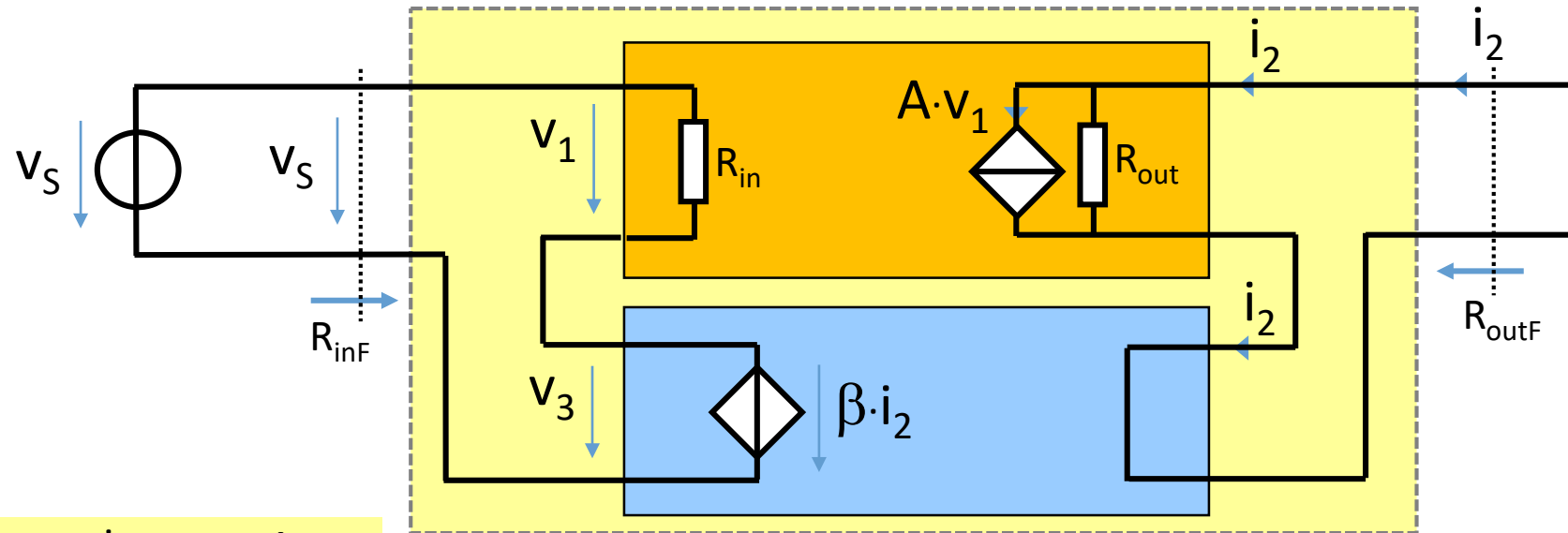
Un ampli de courant aux performances moyennes devient un ampli de courant quasi-idéal grâce à la réaction négative Parallèle-Série

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

REACTION SERIE-SERIE

AMPLI A TRANSCONDUCTANCE



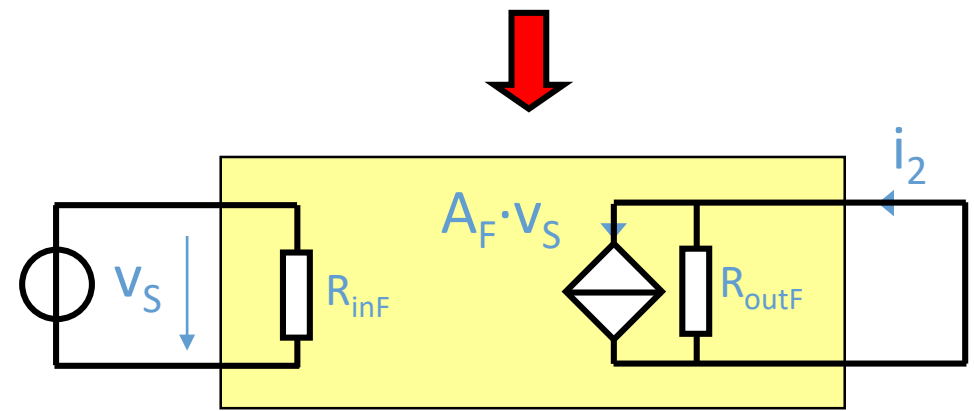
$$A = \frac{i_2}{v_1}$$

$$\beta = \frac{v_3}{i_2}$$

$$A_F = \frac{i_2}{v_s} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta}$$

$$R_{inF} = R_{in} \cdot (1 + A \cdot \beta)$$

$$R_{outF} = R_{out} \cdot (1 + A \cdot \beta)$$



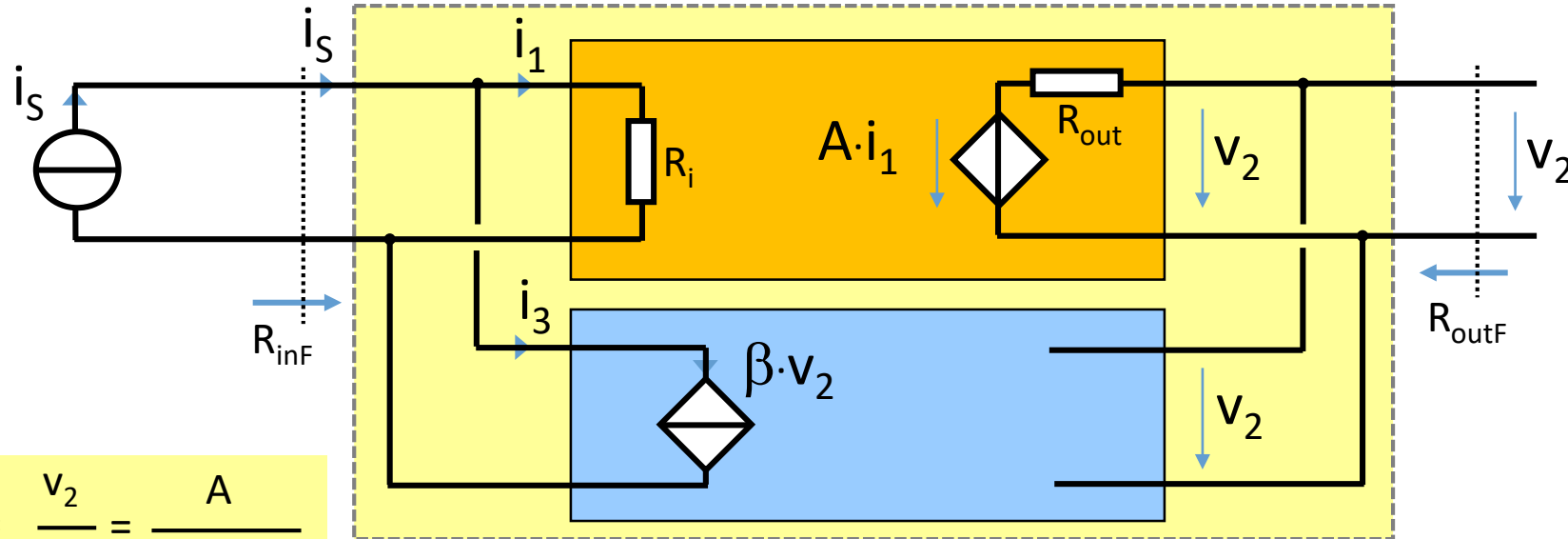
Un convertisseur V-I aux performances moyennes devient un ampli à transconductance quasi-idéal grâce à la réaction négative Série - Série

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

REACTION PARALLELE-PARALLELE

AMPLI A TRANSRESISTANCE



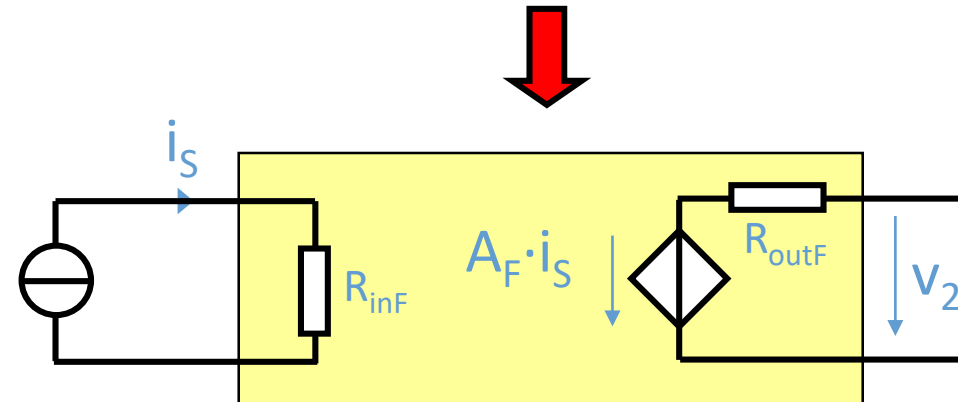
$$A = \frac{v_2}{i_1}$$

$$\beta = \frac{i_3}{v_2}$$

$$A_F = \frac{v_2}{i_s} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta}$$

$$R_{inF} = \frac{R_{in}}{1 + A \cdot \beta}$$

$$R_{outF} = \frac{R_{out}}{1 + A \cdot \beta}$$



Un convertisseur I-V aux performances moyennes devient un ampli à transrésistance quasi-idéal grâce à la réaction négative Parallèle-Parallèle

4. LA REACTION NEGATIVE IDEALE

PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE

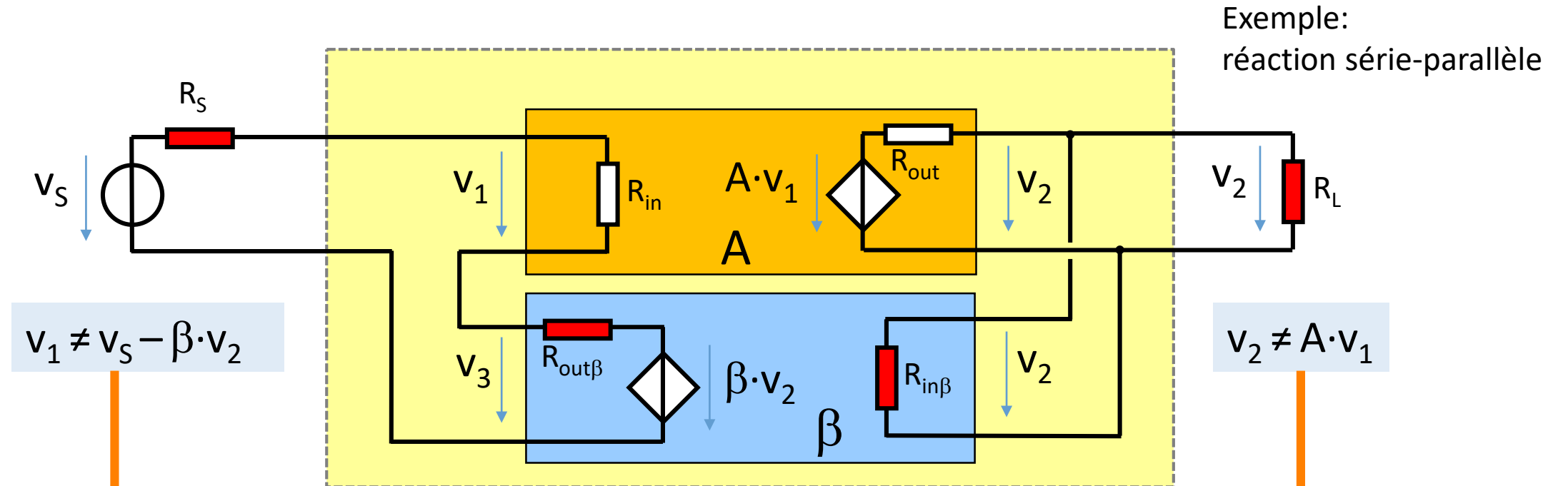
□ RESUME DES PERFORMANCES

- Le facteur $(1 + A \cdot \beta)$, appelé "*taux de réaction*", est le paramètre fondamental de la réaction négative
- Le "gain" est divisé par un facteur $(1 + A \cdot \beta)$ et stabilisé à une valeur contrôlée qui tend vers $1/\beta$ lorsque $A \cdot \beta \gg 1$
- Le taux de distorsion est réduit d'un facteur $(1 + A \cdot \beta)$ *sous certaines conditions*
- La bande passante est élargie d'un facteur $(1 + A \cdot \beta)$ *pour une réponse à -20 dB/déc*
- Un ampli imparfait devient un ampli quasi-idéal du point de vue des impédances d'entrée et de sortie :
 - Une connexion parallèle à un accès divise l'impédance de cet accès par un facteur $(1 + A \cdot \beta)$
 - Une connexion série à un accès multiplie l'impédance de cet accès par un facteur $(1 + A \cdot \beta)$

5. LA REACTION NEGATIVE **NON-IDEALE, OU REELLE**

METHODE D'ANALYSE

□ EFFETS DES IMPEDANCES DE SOURCE, DE CHARGE ET DES ACCES DU QUADRIPOLE DE REACTION



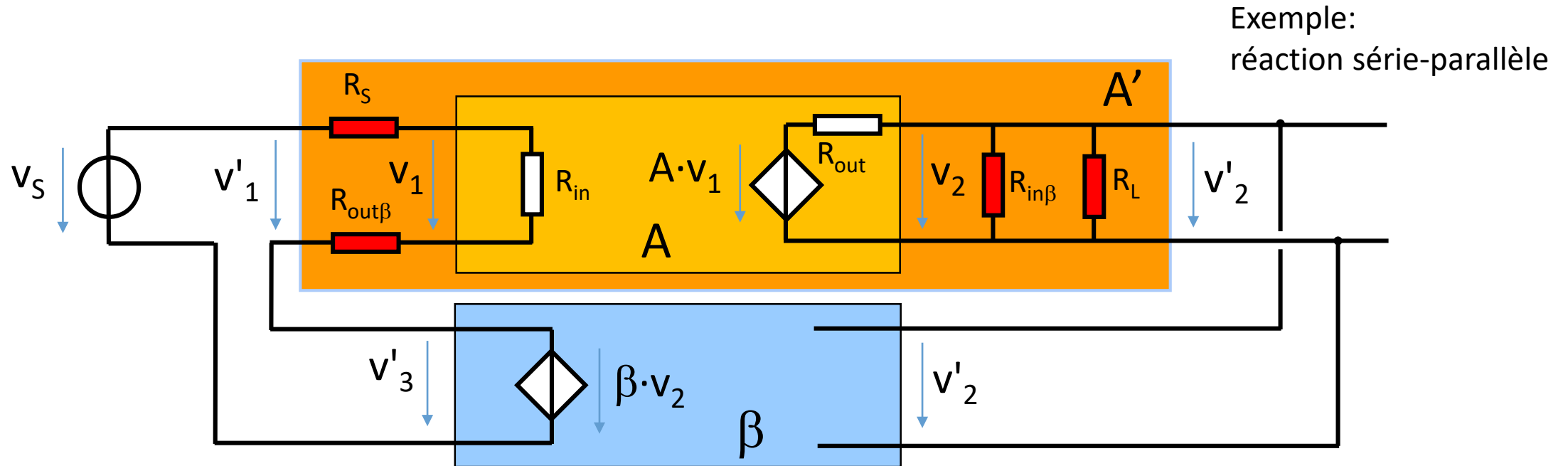
Les impédances de source et de charge, ainsi que celles aux accès du quadripôle β n'ont plus la valeur idéale (0 ou ∞ selon le cas).

La présence de ces éléments fait que les relations de la réaction négative idéale ne sont plus vérifiées !

5. LA REACTION NEGATIVE NON-IDEALE, OU REELLE

METHODE D'ANALYSE

1. CREATION D'UN QUADRIPOLE MODIFIE A' INCLUANT LES IMPEDANCES NON IDEALES



- On définit un nouveau quadripôle A' qui inclut les impédances de la source, de la charge ainsi que celles d'entrée et de sortie du quadripôle de réaction.
- Les caractéristiques de A' sont : Gain A'

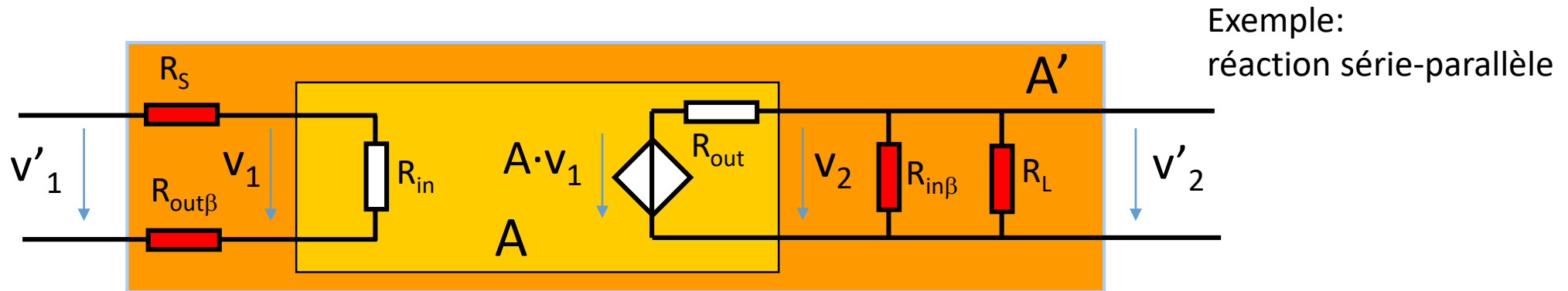
Impédance d'entrée R'_{in}

Impédance de sortie R'_{out}

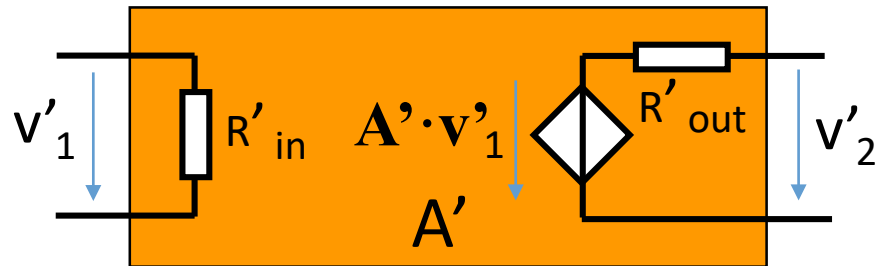
5. LA REACTION NEGATIVE **NON-IDEALE, OU REELLE**

METHODE D'ANALYSE

2. CALCUL DES PARAMETRES EN BOUCLE OUVERTE DU QUADRIPOLE MODIFIE A'



$$R'_{in} = R_{in} + R_S + R_{out\beta}$$



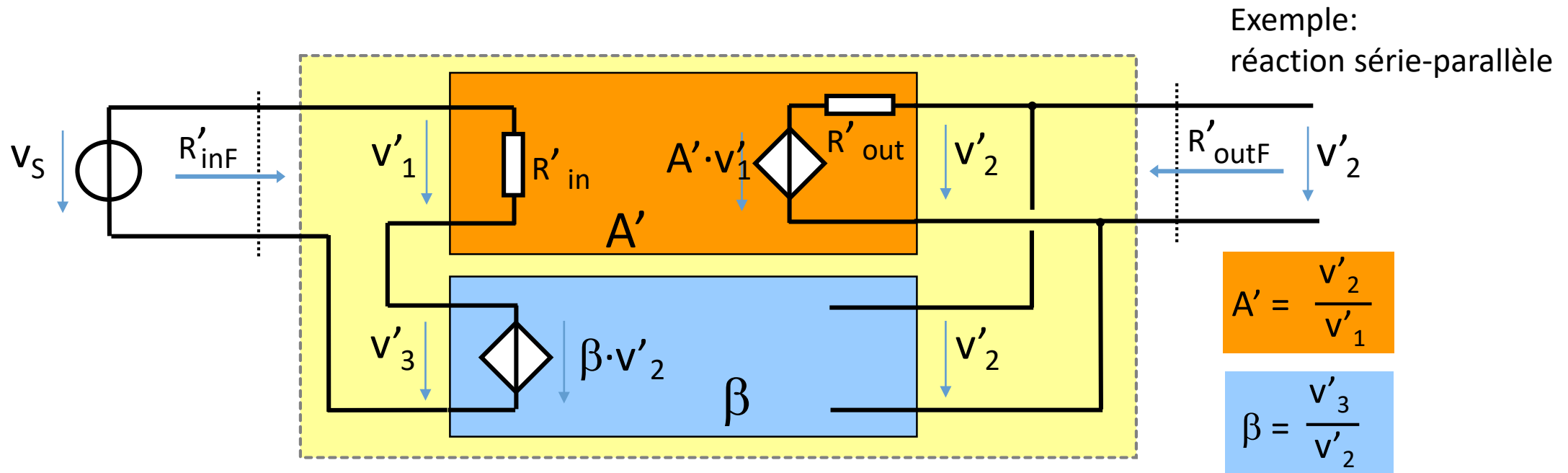
$$R'_{out} = R_{out} // R_L // R_{in\beta}$$

$$A' = \frac{v'_2}{v'_1} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S + R_{out\beta}} \cdot A \cdot \frac{R_L // R_{in\beta}}{R_{out} + (R_L // R_{in\beta})}$$

5. LA REACTION NEGATIVE **NON-IDEALE, OU REELLE**

METHODE D'ANALYSE

3. CALCUL DES PARAMETRES EN BOUCLE FERMEE DU QUADRIPOLE MODIFIE **A'** EN REACTION IDEALE



$$R'_{inF} = R'_{in} \cdot (1 + A' \cdot \beta)$$

$$A'_F = \frac{A'}{1 + A' \cdot \beta}$$

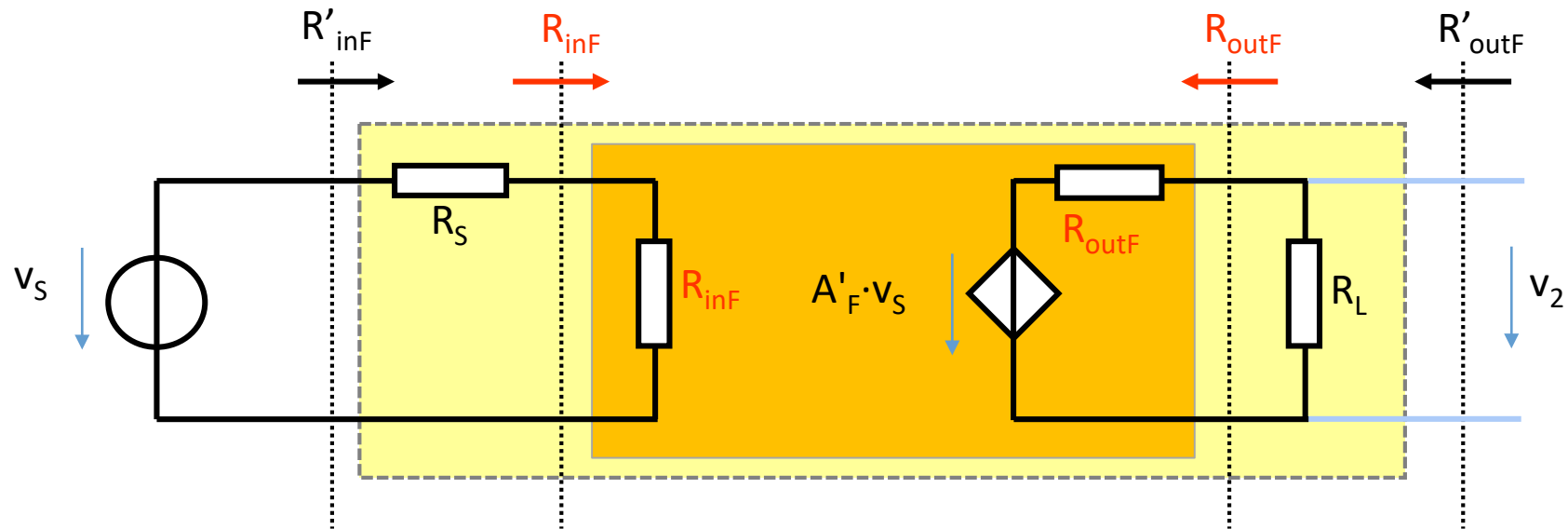
$$R'_{outF} = \frac{R'_{out}}{1 + A' \cdot \beta}$$

5. LA REACTION NEGATIVE **NON-IDEALE, OU REELLE**

METHODE D'ANALYSE

4. EXTRACTION DES IMPEDANCES DE SOURCE ET DE CHARGE DU QUADRIPOLE EN BOUCLE FERMEE

Exemple:
réaction série-parallèle



$$R'_{inF} - R_S = R_{inF}$$

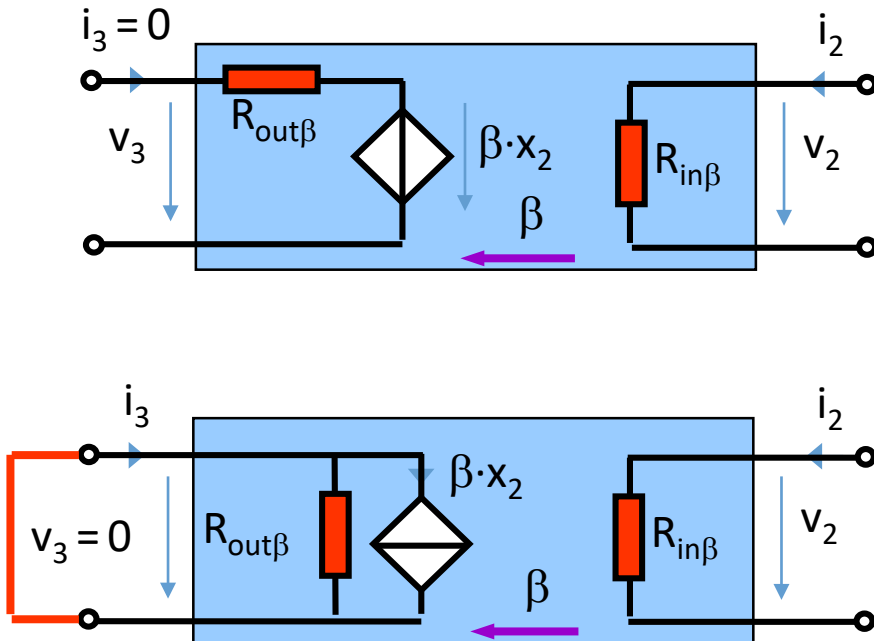
$$\frac{1}{R_{outF}} = \frac{1}{R'_{outF}} - \frac{1}{R_L}$$

5. LA REACTION NEGATIVE **NON-IDEALE, OU REELLE**

METHODE D'ANALYSE

❑ MÉTHODE PRATIQUE POUR DÉTERMINER LE PARAMETRE β DU QUADRIPOLE DE REACTION

Dans le cas de la réaction négative, on considère le quadripôle de réaction unidirectionnel, il n'y a que deux configurations, chacune correspondant à deux définitions possibles de β , selon que la source est contrôlée par v_2 ou i_2 .



Dans le cas d'une connexion série à l'entrée de A_F , la tension $\beta \cdot x_2$ se mesure directement à la sortie de β lorsque celle-ci est en circuit ouvert :

$$\beta = \frac{v_3}{v_2} \Big|_{i_3=0} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{v_3}{i_2} \Big|_{i_3=0}$$

Dans le cas d'une connexion parallèle à l'entrée de A_F , le courant $\beta \cdot x_2$ se mesure directement à la sortie de β lorsque celle-ci est en court-circuit :

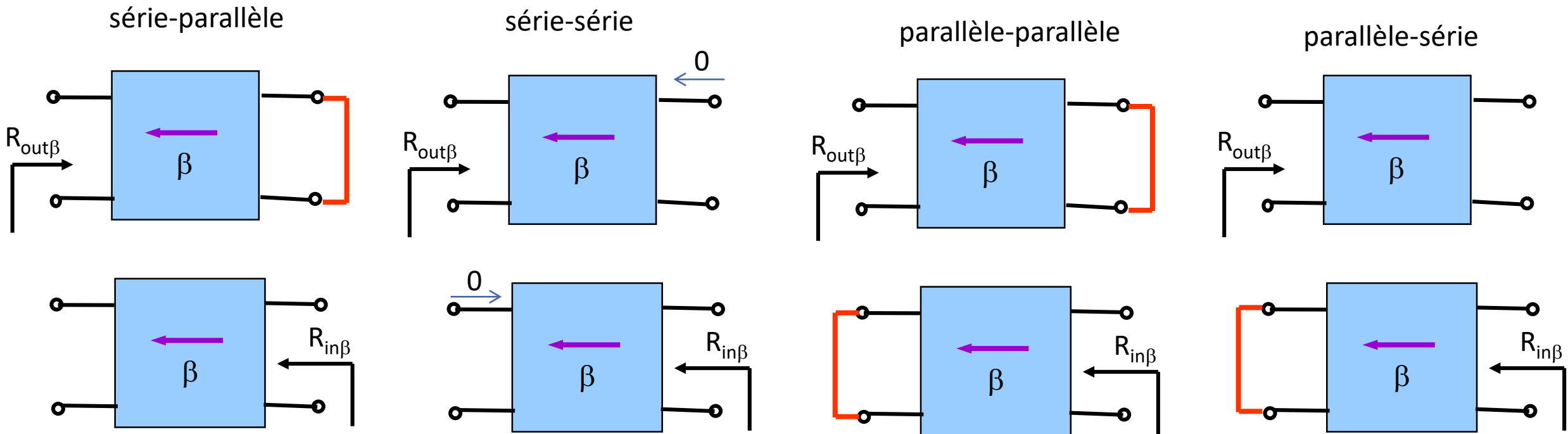
$$\beta = \frac{i_3}{v_2} \Big|_{v_3=0} \quad \text{ou} \quad \beta = \frac{i_3}{i_2} \Big|_{v_3=0}$$

5. LA REACTION NEGATIVE NON-IDEALE, OU REELLE

METHODE D'ANALYSE

❑ MÉTHODE PRATIQUE POUR DÉTERMINER LES RESISTANCES $R_{out\beta}$, $R_{in\beta}$ DU QUADRIPÔLE DE REACTION

On peut déterminer l'effet de chargement de la boucle de réaction sur l'ampli A en examinant son port approprié tandis que l'autre port est soit en circuit ouvert, soit court-circuité afin de supprimer la réaction.
Règle simple : si la connexion est en parallèle, court-circuitez-la ; si elle est en série, ouvrez-la.



5. LA REACTION NEGATIVE **NON-IDEALE, OU REELLE**

METHODE D'ANALYSE

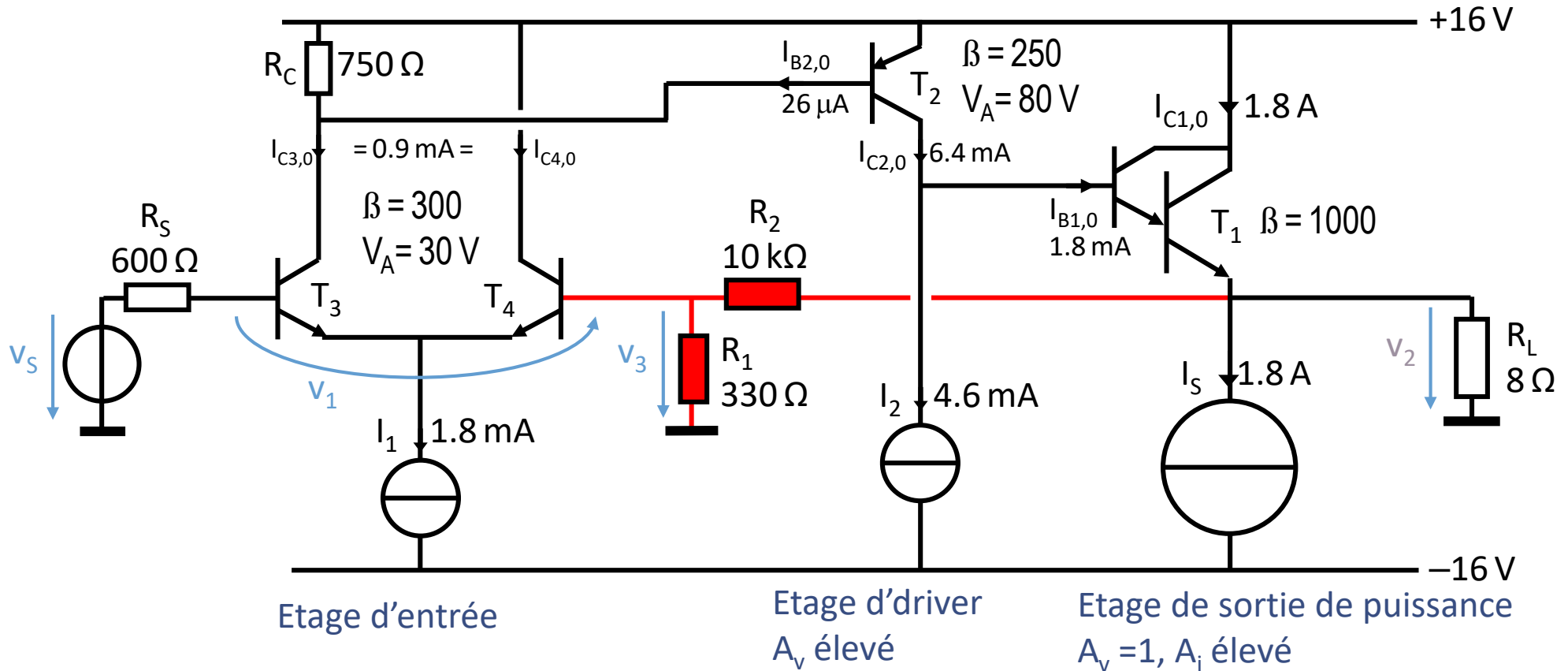
□ RESUME

- Déterminer le type de réaction négative
- Rechercher les éléments parasites externes à associer au quadripôle actif A et dessin du quadripôle modifié A'
- Calcul des paramètres A' , R'_{in} et R'_{out} du quadripôle modifié A' en boucle ouverte
- Calcul de β , $R_{in\beta}$, $R_{out\beta}$
- Calcul du taux de réaction $(1 + A' \cdot \beta)$ et des paramètres A'_F , R'_{inF} et R'_{outF} du quadripôle modifié A' en boucle fermée
- Calcul des valeurs corrigées R_{inF} et R_{outF} en extrayant R_S et R_L

6. EXEMPLE D'ANALYSE D'UN CAS CONCRET

AMPLI BF DE PUISSANCE CLASSE A, REACTION SERIE PARALLELE (1/5)

SCHEMA SIMPLIFIE

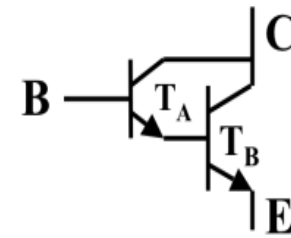


Classe A:

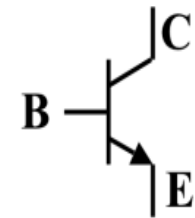
- L'élément actif conducteur durant la totalité d'une alternance d'in signal de sortie sinus
- Point de repos au milieu de la zone active

Un **transistor Darlington** est utilisé dans un étage de sortie d'un ampli audio pour augmenter significativement le gain en courant. **Le transistor Darlington est en fait une configuration de deux transistors bipolaires (BJT) connectés en cascade, ce qui entraîne un gain global en courant beaucoup plus élevé que celui d'un transistor unique.**

Le rôle principal d'un transistor Darlington dans l'étage de sortie d'un ampli audio est d'amplifier le courant provenant de l'étage précédent avant de le fournir à la charge (par exemple, un haut-parleur). Dans un ampli audio, le courant de sortie est crucial pour alimenter efficacement des charges telles que des haut-parleurs, et un transistor Darlington aide à surmonter les limitations de courant inhérentes aux transistors individuels.



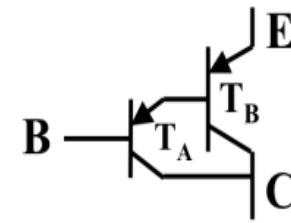
≡



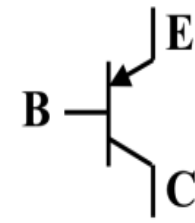
$$V_{BE} = 2 \cdot U_j$$

$$g_m = I_{C0} / 2 \cdot U_T$$

$$\beta = \beta_A \cdot \beta_B$$



≡



$$V_{EB} = 2 \cdot U_j$$

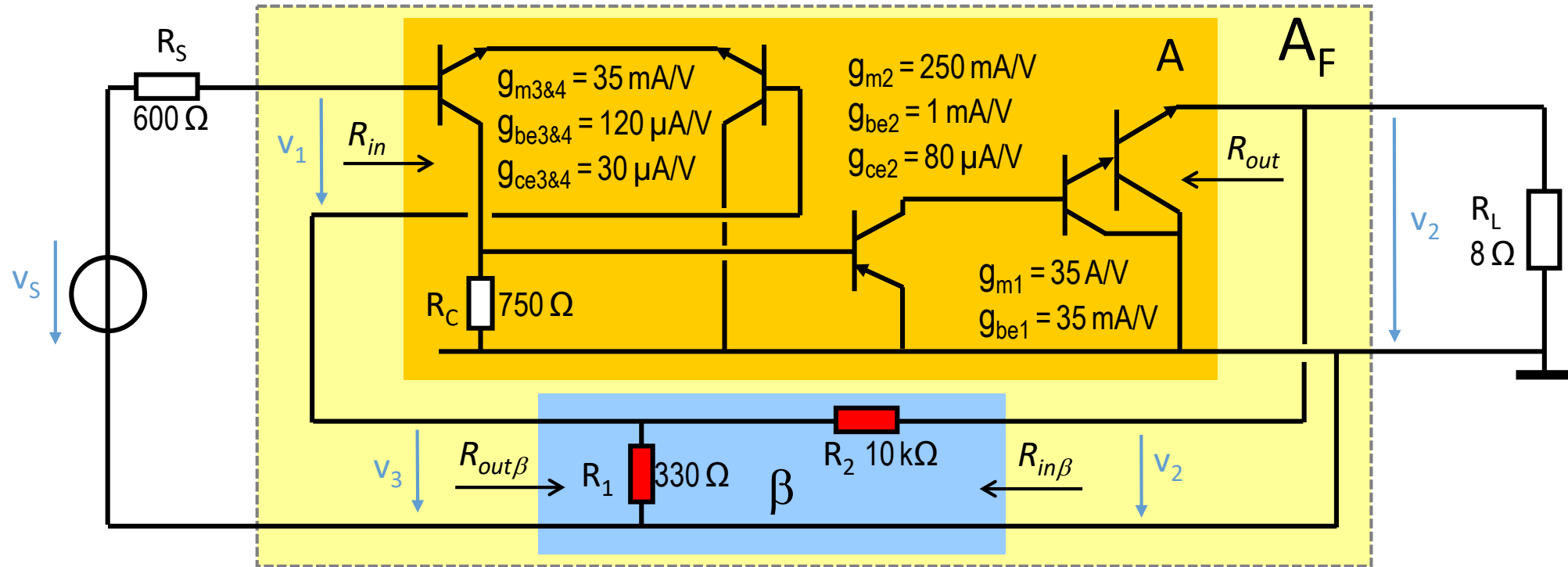
$$g_m = I_{C0} / 2 \cdot U_T$$

$$\beta = \beta_A \cdot \beta_B$$

6. EXEMPLE D'ANALYSE D'UN CAS CONCRET

AMPLI BF DE PUISSANCE CLASSE A, REACTION SERIE PARALLELE (2/5)

SCHEMA "PETITS SIGNAUX", QUADRIPOLES A ET β



Réaction série-parallèle

Signaux utiles: Entrée = tension
Sortie = tension

Dimension de A :

$$A = v_2 / v_1$$

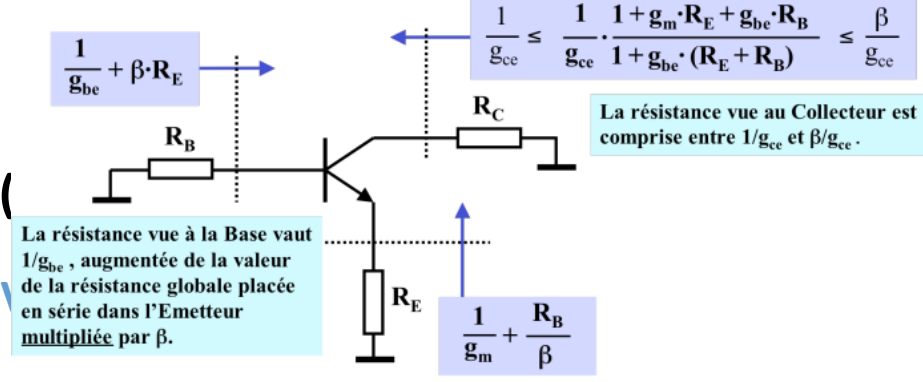
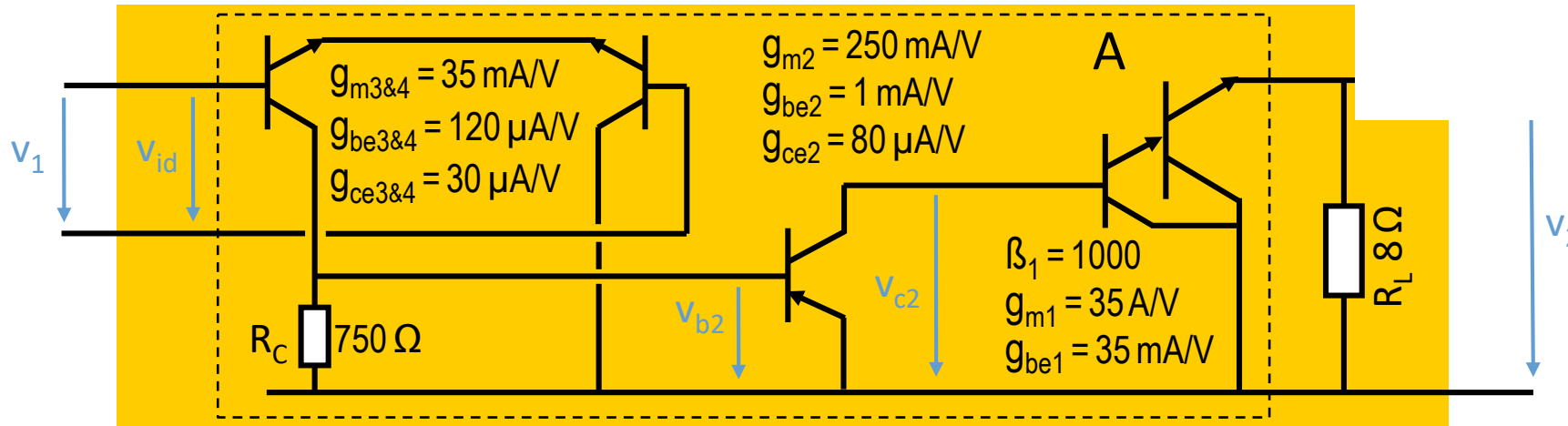
Dimension de β :

$$\beta = v_3 / v_2$$

6. EXEMPLE D'ANALYSE D'UN CAS CONCRET

AMPLI BF DE PUISSANCE CLASSE A, REACTION SERIE PARALLELE

PARAMETRES DU QUADRIPOLE A' (R_L incluse) EN BOUCLE OUVERTE



La résistance vue à la Base vaut $1/g_{be}$, augmentée de la valeur de la résistance globale placée en série dans l'Emetteur multipliée par β .

La résistance vue au Collecteur est comprise entre $1/g_{ce}$ et β/g_{ce} .

La résistance vue à l'Emetteur vaut $1/g_m$, augmentée de la valeur de la résistance globale placée en série dans la Base divisée par β .

$$R'_{in} = R_{in} = R_{id} = \frac{2}{g_{be3\&4}} \approx 16 \text{ k}\Omega$$

$$R'_{out} = R_L \parallel \left(\frac{1}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{ce2} \cdot \beta_1} \right) \approx 5 \Omega$$

$$A' = \frac{v_{b2}}{v_1} \cdot \frac{v_{c2}}{v_{b2}} \cdot \frac{v_2}{v_{c2}} = \frac{1}{2} g_{m3} \left(\frac{1}{g_{ce3}} \parallel R_C \parallel \frac{1}{g_{be2}} \right) \cdot g_{m2} \left(\frac{1}{g_{ce2}} \parallel \left(\frac{1}{g_{be1}} + \beta_1 R_L \right) \right) \cdot 1 \approx 9000$$

$$A_{v,EC} = \frac{v_C}{v_B} = \frac{-g_m R_C}{1 + g_{ce} R_C} = -g_m \left(R_C // \frac{1}{g_{ce}} \right)$$

$$A_{v,BC} = \frac{v_C}{v_E} = \frac{g_m R_C}{1 + g_{ce} R_C} = g_m \left(R_C // \frac{1}{g_{ce}} \right)$$

$$A_{v,CC} = \frac{v_E}{v_B} = \frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} \quad \text{tendant vers l'unité lorsque } R_E > 1/g_m$$

$$A_d = \frac{v_{od}}{v_{id}} = g_m \left(R_C \right)$$

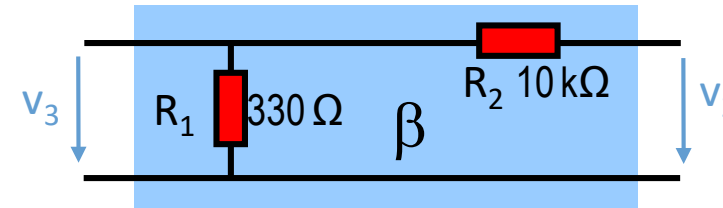
Include tout ce qui voit dans collector (output)

6. EXEMPLE D'ANALYSE D'UN CAS CONCRET

AMPLI BF DE PUISSANCE CLASSE A, REACTION SERIE PARALLELE (4/5)

□ PARAMETRES DU QUADRIPOLE A_F EN BOUCLE FERMEE

$$\beta = \frac{v_3}{v_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0.0319 \text{ V/V}$$



$$T = 1 + A' \cdot \beta \approx 1 + 9000 \cdot 0.0319 \approx 270$$

$$A_F = \frac{v_2}{v_s} = \frac{A'}{1 + A' \cdot \beta} = \frac{1}{1/A' + \beta} = \frac{1}{0.0320} = 31 \text{ V/V}$$

Connexion série en entrée =>

$$R_{inF} = R_{in} \cdot (1 + A' \cdot \beta) \approx 16000 \cdot 270 \approx 4 \text{ M}\Omega$$

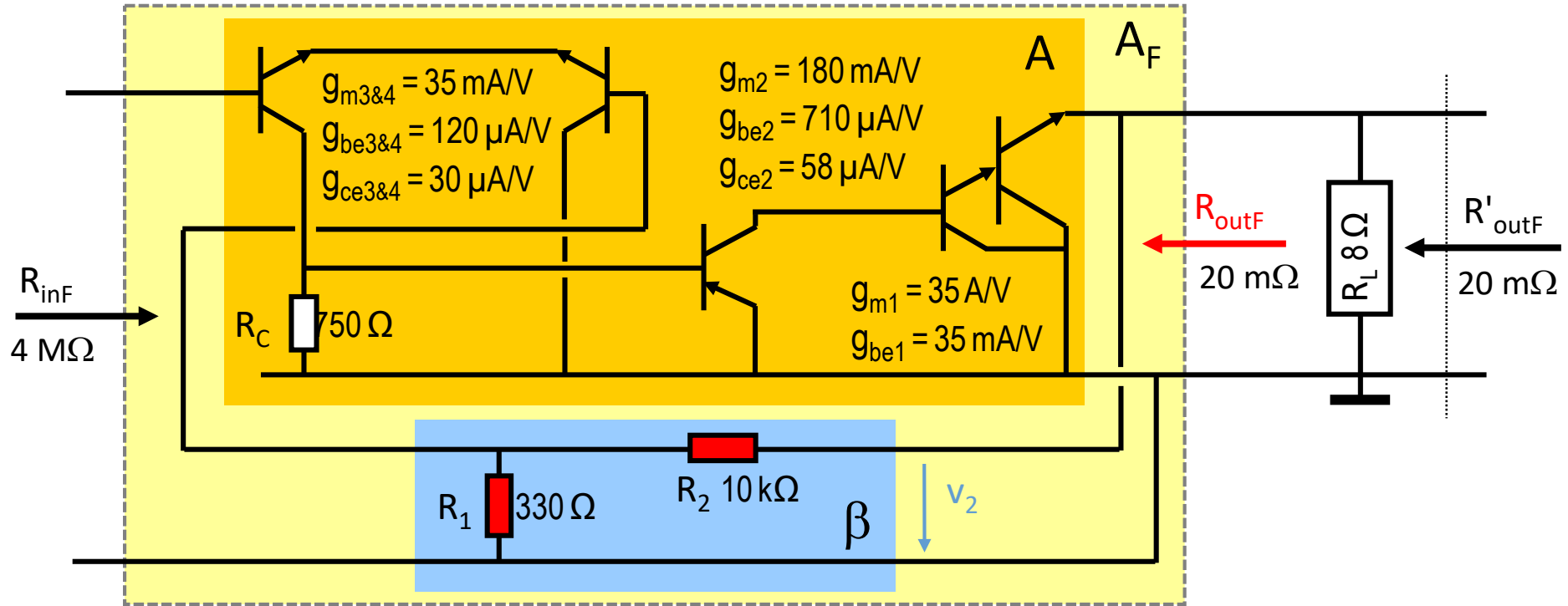
Connexion parallèle en sortie =>

$$R'_{outF} = \frac{R'_{out}}{1 + A' \cdot \beta} \approx \frac{5}{270} \approx 20 \text{ m}\Omega$$

6. EXEMPLE D'ANALYSE D'UN CAS CONCRET

AMPLI BF DE PUISSANCE CLASSE A, REACTION SERIE PARALLELE (5/5)

EXTRACTION DE R_L DU QUADRIPOLE EN BOUCLE FERMEE

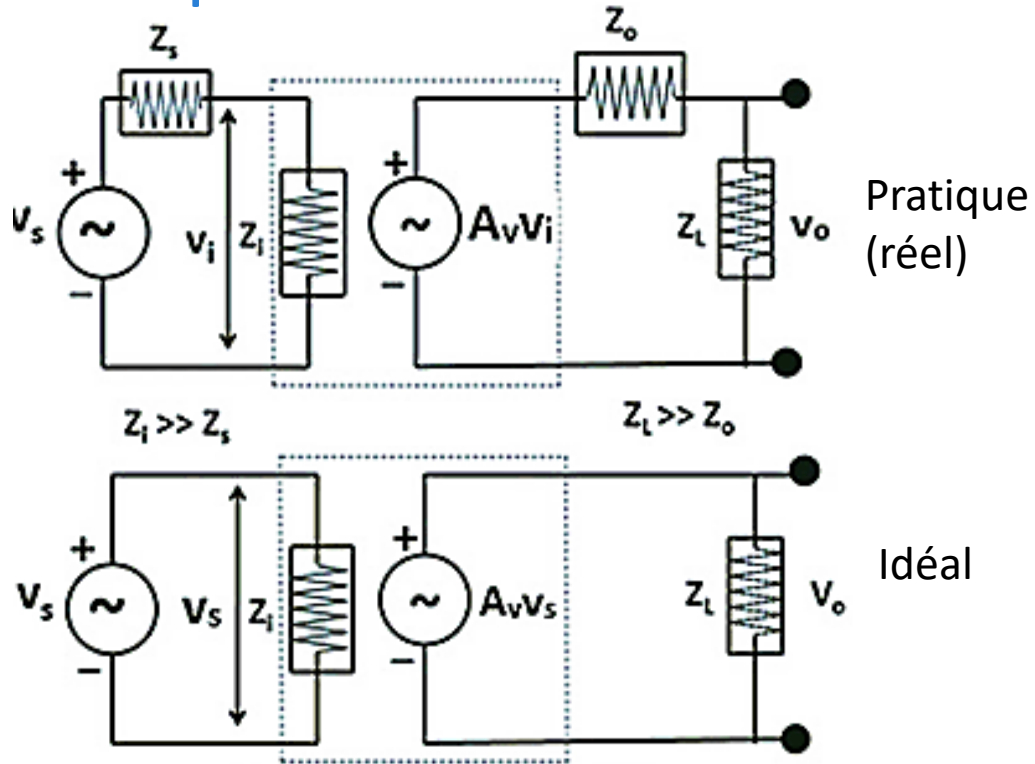


$$A_F = 31 \text{ V/V}$$

Annexe

Classification des amplificateurs

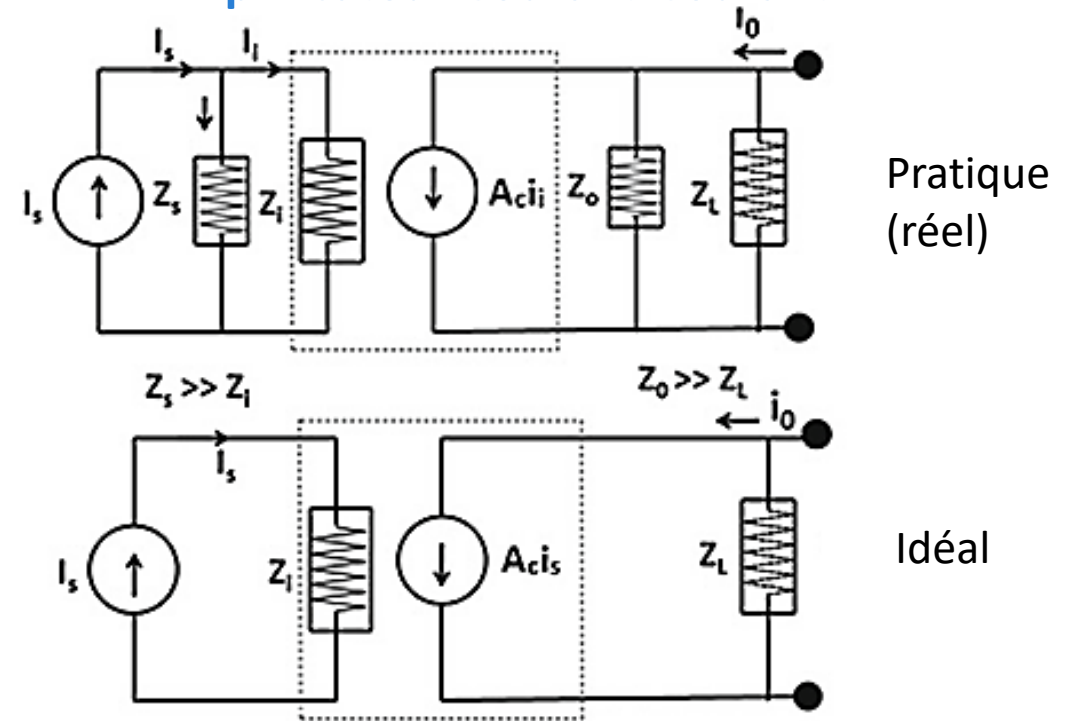
Amplificateur Tension-Tension



Amplificateurs de Tension :

- **Impédance d'Entrée (Z_i)** : doit être très élevée pour ne pas affaiblir la source et assurer un transfert optimal de puissance.
- **Impédance de Sortie (Z_o)** : doit être très faible afin de minimiser la chute de tension et fournir la majeure partie de la tension à la charge.

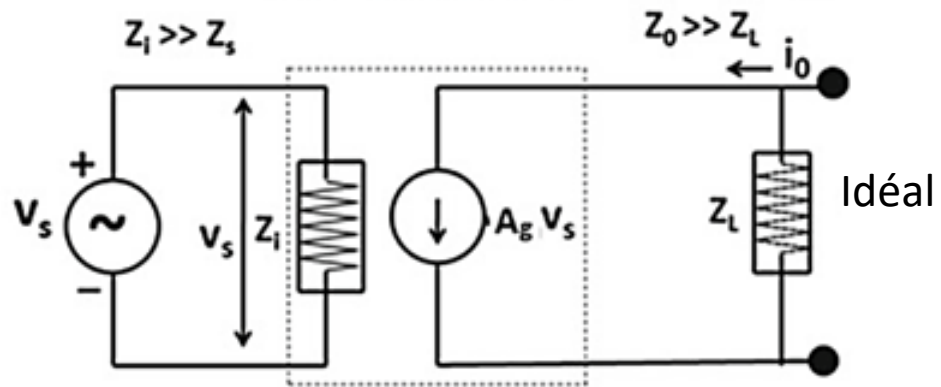
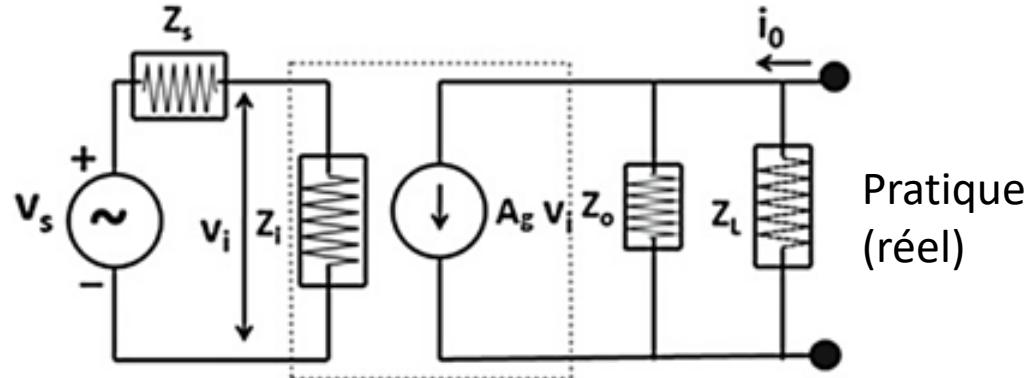
Amplificateur Courant-Courant



Amplificateurs de Courant :

- **Impédance d'Entrée (Z_i)** : doit être très faible, pour que la majorité du courant de la source soit transmise à l'amplificateur (parfois adaptée à la source).
- **Impédance de Sortie (Z_o)** : doit être très élevée, afin de fournir un courant quasi constant, indépendamment de la charge.

Amplificateur Tension-Courant



Amplificateur Courant-Tension

