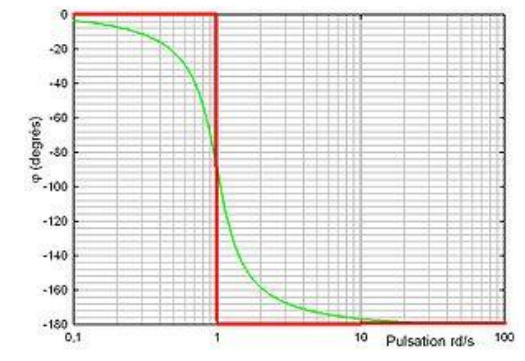
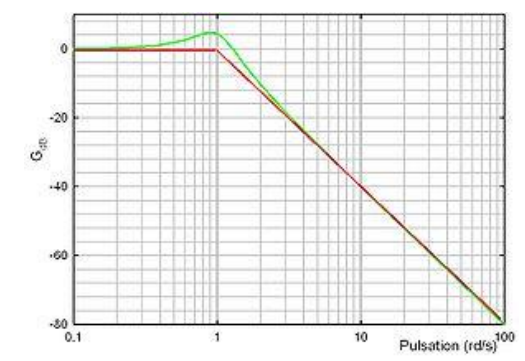
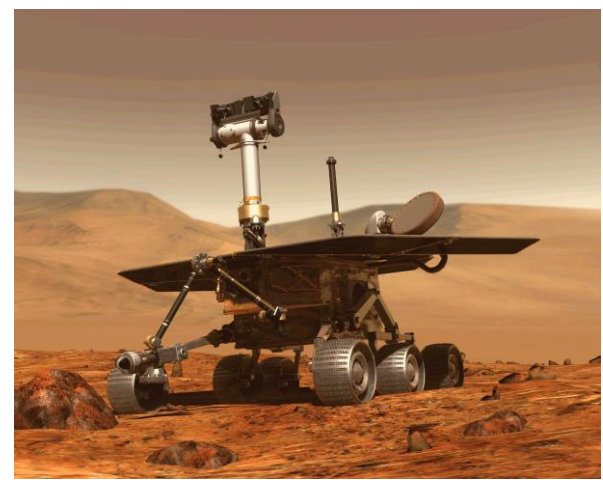
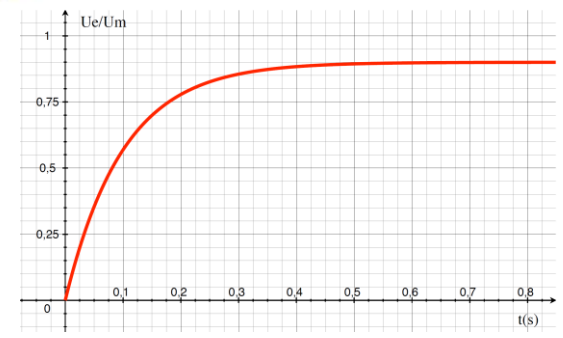
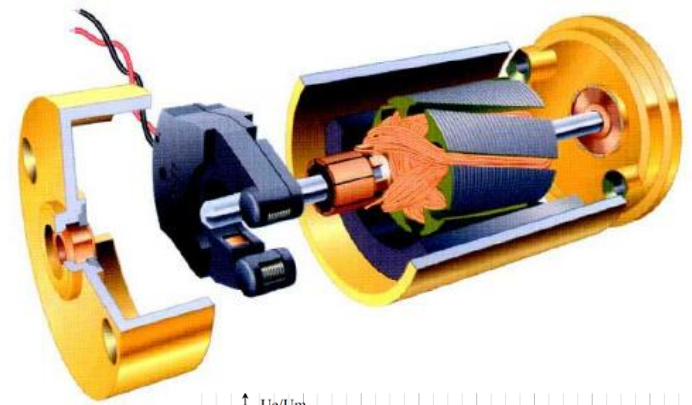
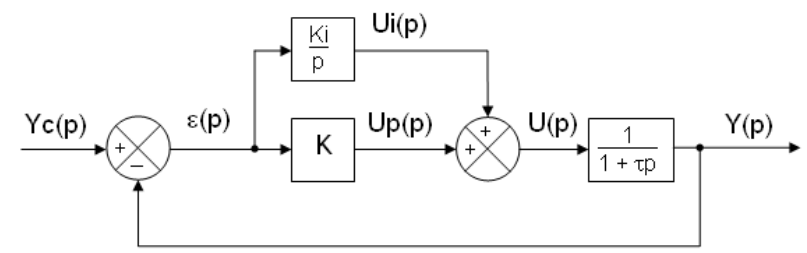


AUTOMATIQUE



2_Modélisation des SLCI

Compétences attendues :

- ✓ Identifier la structure d'un système asservi.
- ✓ Etablir un modèle de connaissance par des fonctions de transfert.
- ✓ Modéliser un système par schéma-blocs.
- ✓ Simplifier un modèle

Notion de modélisation

Définition de la modélisation :

La **modélisation** est la conception d'un modèle théorique.

BUT : Fournir une image ou représentation d'un phénomène réel (dégradation du réel).

En Sciences Industrielles pour l'Ingénieur :

- Prévoir le comportement d'un système,
- Simuler un processus dangereux, coûteux ou bien difficile et long à mettre en œuvre,
- Faire du dimensionnement.

Notion de modélisation

Etudes faites à partir des modèles → innover ou apporter des modifications au système.

Systemes du domaine technique → complexes → élaborer des modèles destinés à les représenter de manière simplifiée et sélective.

Remarque :

- Un modèle
 - ~~une représentation fonctionnelle du système~~
 - un outil permettant d'estimer et de prévoir le comportement d'un système.
- Une modélisation → (presque) toujours une représentation altérée du système réel.
 - indispensable de **valider expérimentalement** les résultats obtenus par une modélisation.

Notion de modélisation

Cas de l'automatique

Prévoir le comportement d'un système → proposer une modélisation du modèle
→ obtenir directement un lien entre les entrées et les sorties du système.

Pour cela, il est nécessaire de procéder en trois étapes :

- isoler le système à modéliser en positionnant la frontière avec le milieu extérieur ;
- effectuer une décomposition en sous-systèmes plus facilement exploitables ;
- établir un modèle de comportement pertinent pour chaque sous-système.

On distingue deux types de modèles :

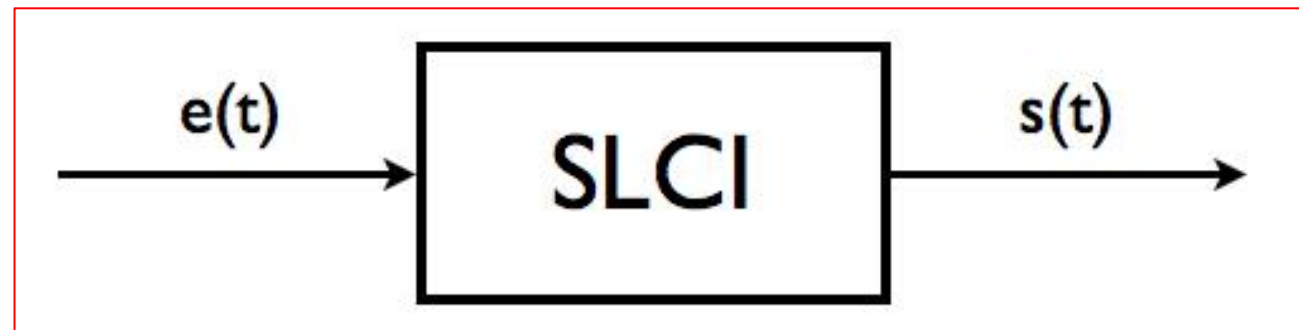
- **le modèle de connaissance** → lois physiques ;
- **le modèle de comportement** → résultats expérimentaux.

Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Système → sous la forme d'un bloc

- les entrées (ou causes) du système sont situées à gauche
- les sorties (effets) sont situées à droite
- l'intérieur du bloc contient une description du système étudié

On ne s'intéresse ici qu'aux systèmes **mono-variables**, c'est à dire aux systèmes qui ne possèdent qu'une seule entrée et qu'une seule sortie.



Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Remarques :

Les systèmes complexes possèdent en général plusieurs entrées et/ou plusieurs sorties.

- On choisit dans ce cas comme unique sortie celle qui est la plus intéressante du point de vue de l'étude à mener
- Et en entrée la commande que doit suivre la sortie choisie.
- Entrées secondaires → perturbations

Un système complexe → décomposition en sous-systèmes mono-variables → blocs en série, traduisant une cascade de relations de cause à effet.

Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes linéaires

Définition d'un système linéaire :

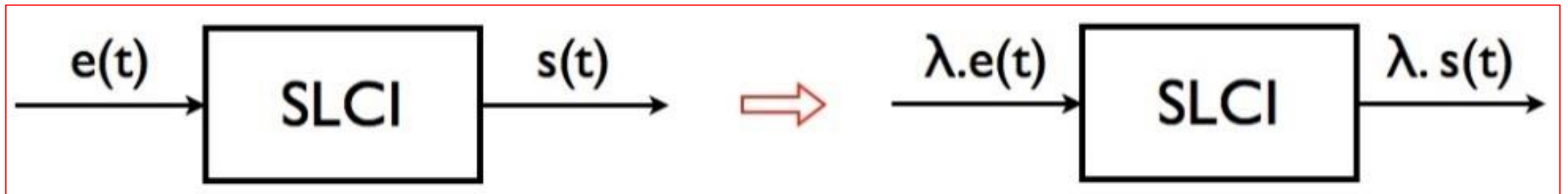
Un **système** est dit **linéaire** si la **fonction** qui le décrit est elle-même **linéaire**. Cette fonction vérifie alors les **principes de proportionnalité et de superposition**.

L'hypothèse de linéarité, relative au comportement des systèmes, traduit simplement que **l'effet est proportionnel à la cause**.

Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes linéaires

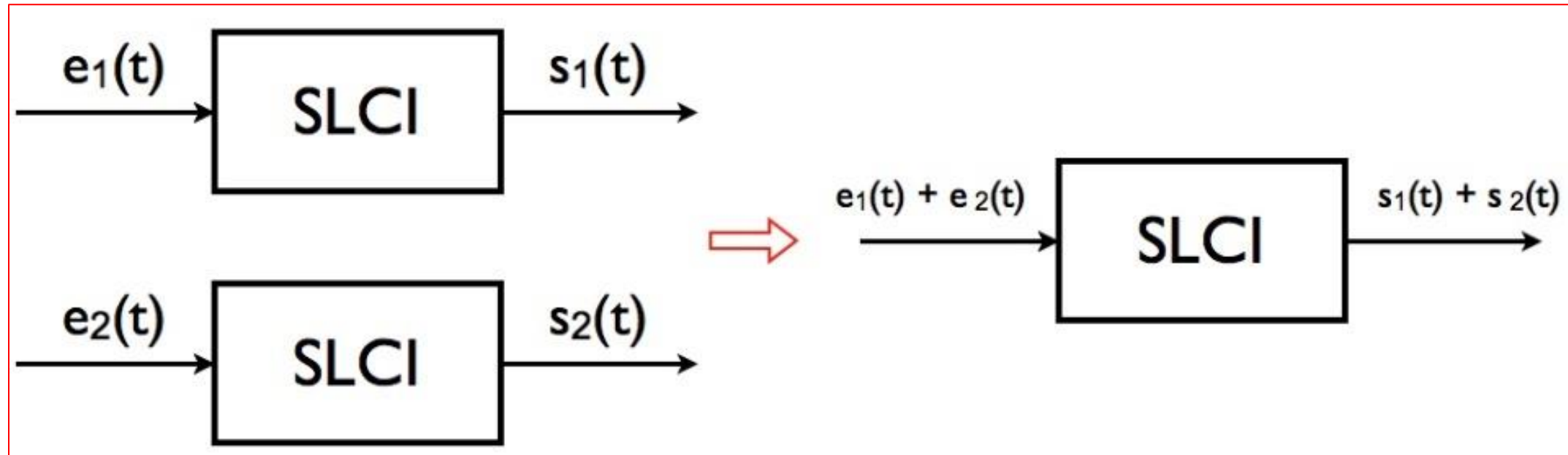
Proportionnalité



Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes linéaires

Principe de superposition



Remarque : En étudiant les **réponses du système pour des entrées simples** (comme les signaux tests), et en utilisant les **propriétés de linéarité** (proportionnalité et superposition), il est alors possible d'obtenir la **réponse du système à des signaux plus complexes**.

Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes linéaires

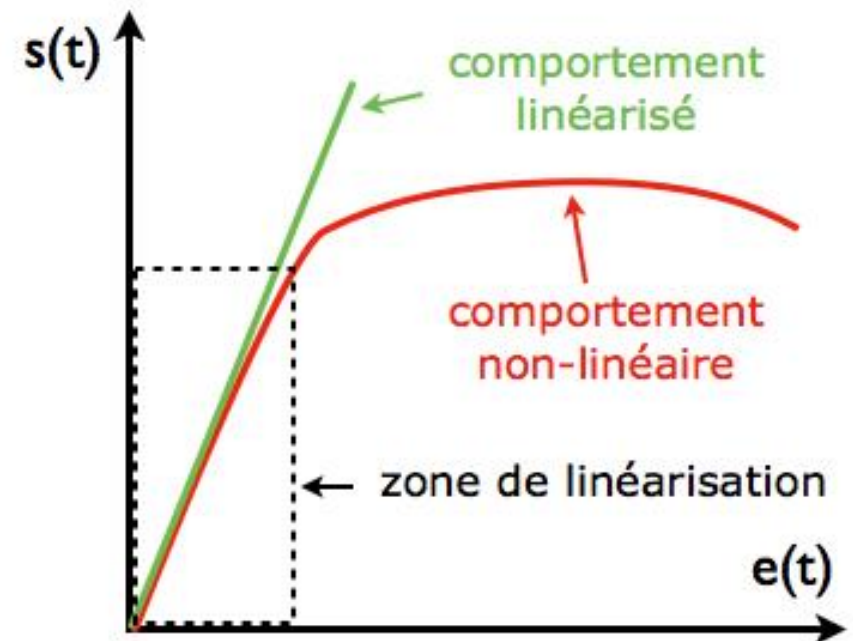
Non-linéarité

La plupart des systèmes physiques \rightarrow non-linéaires sur la totalité de leur domaine d'application.

\rightarrow Approcher leur comportement sur une partie de leur **zone de fonctionnement** par un modèle linéaire.

\rightarrow Simplification des équations de modélisation.

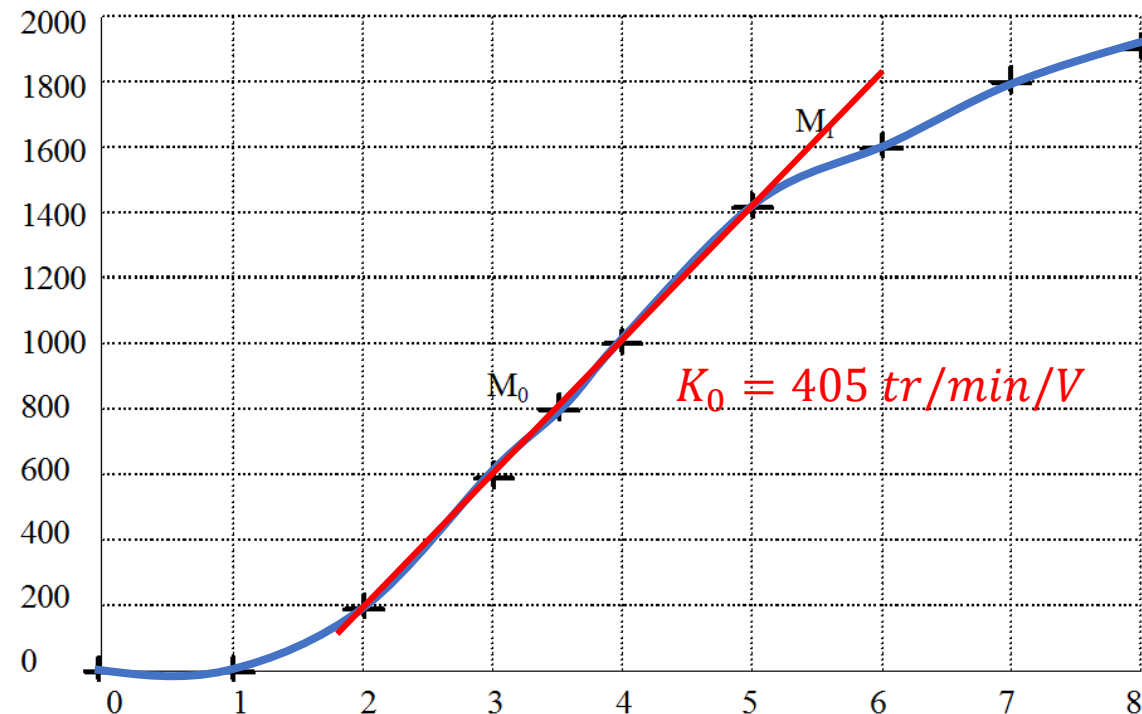
\rightarrow Le système ainsi modélisé est alors appelé **système linéarisé**.



Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes linéaires Non-linéarité

Linéarisation autour d'un point de fonctionnement



U (V)	N (trs mn ⁻¹)
0	0
1	1
2	198
3	595
3,5	800
4	1000
5	1410
6	1600
7	1800
8	1910

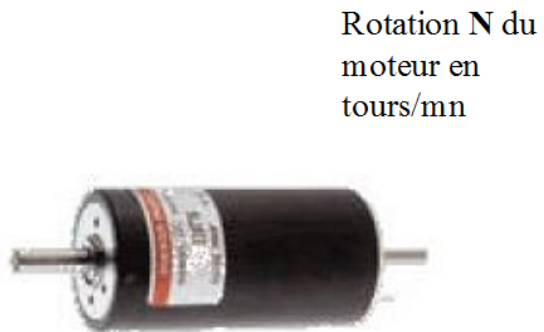
Erreur relative : $\left| \frac{N_{reel} - N_{modele}}{N_{reel}} \right|$

Tension d'alimentation du moteur U en Volts

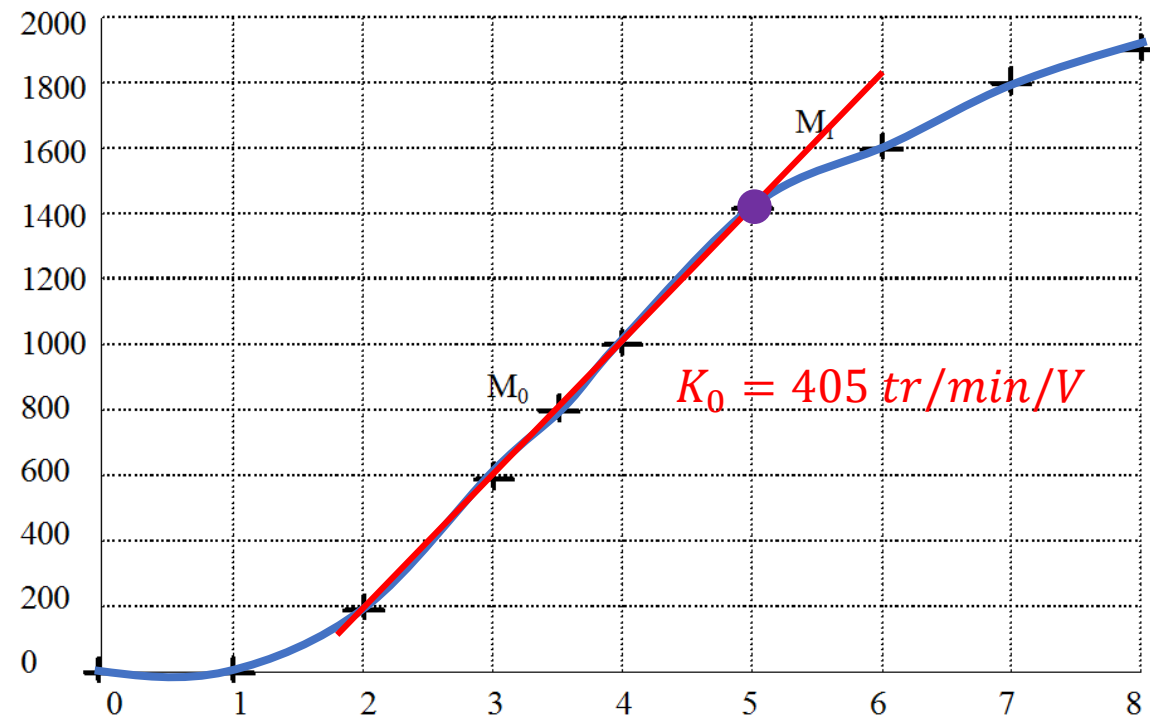
Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes linéaires Non-linéarité

Linéarisation autour d'un point de fonctionnement



5V



U (V)	N (trs mn ⁻¹)
0	0
1	1
2	198
3	595
3,5	800
4	1000
5	1410
6	1600
7	1800
8	1910

$$\text{Erreur relative} : \left| \frac{N_{reel} - N_{modele}}{N_{reel}} \right|$$

$$N_{reel} = 1410 \text{ tr/min}$$

$$N_{modele} = 1407,5 \text{ tr/min}$$

Erreur = 0,17 % → Approximation valable

Tension d'alimentation du moteur U en Volts

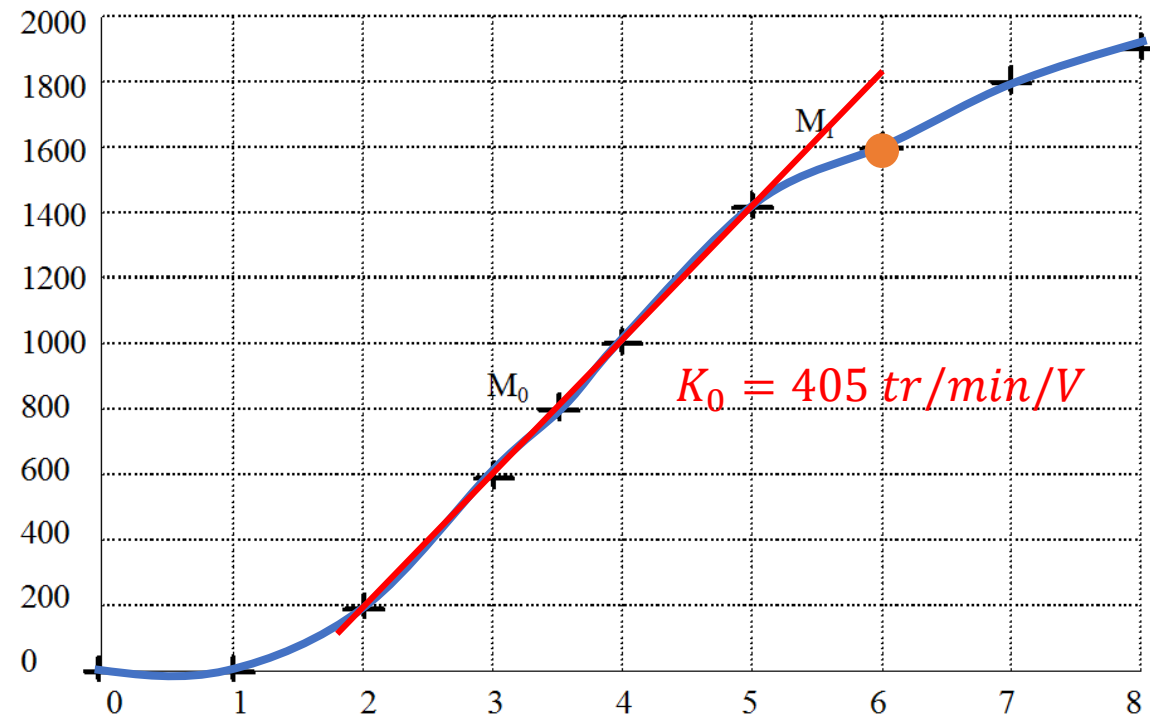
Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes linéaires Non-linéarité

Linéarisation autour d'un point de fonctionnement



6V



U (V)	N (trs mn ⁻¹)
0	0
1	1
2	198
3	595
3,5	800
4	1000
5	1410
6	1600
7	1800
8	1910

$$\text{Erreur relative} : \left| \frac{N_{\text{reel}} - N_{\text{modele}}}{N_{\text{reel}}} \right|$$

$$N_{\text{réel}} = 1600 \text{ tr/min}$$

$$N_{\text{modèle}} = 1812 \text{ tr/min}$$

Erreur = 13 % → Approximation valable

Tension d'alimentation du moteur U en Volts

Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes linéaires Non-linéarité

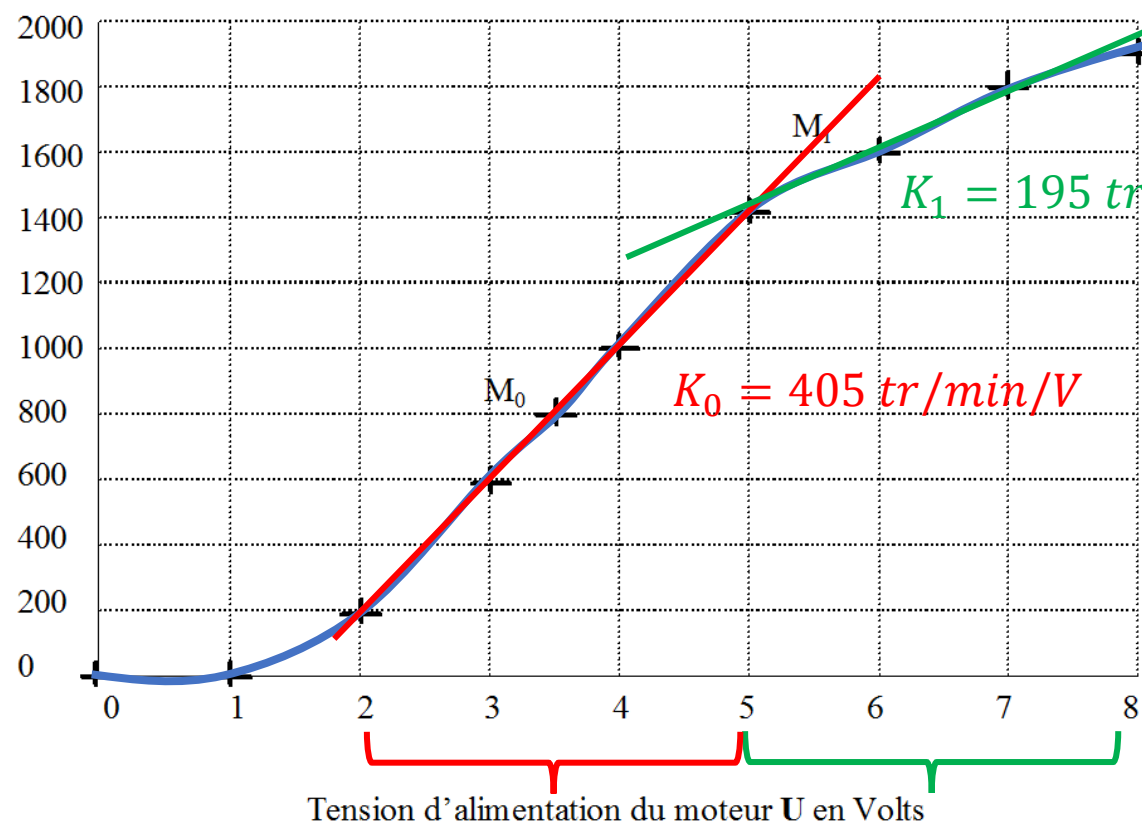
Linéarisation autour d'un point de fonctionnement



Rotation **N** du moteur en tours/mn

Linéarisation autour de **M₀** est valable sur la plage de **2V à 5V**

Linéarisation autour de **M₁** est valable sur la plage de **5V à 8V**



Modèle linéaire 0 Modèle linéaire 1

$K_1 = 195 \text{ tr/min/V}$

$K_0 = 405 \text{ tr/min/V}$

U (V)	N (trs mn ⁻¹)
0	0
1	1
2	198
3	595
3,5	800
4	1000
5	1410
6	1600
7	1800
8	1910

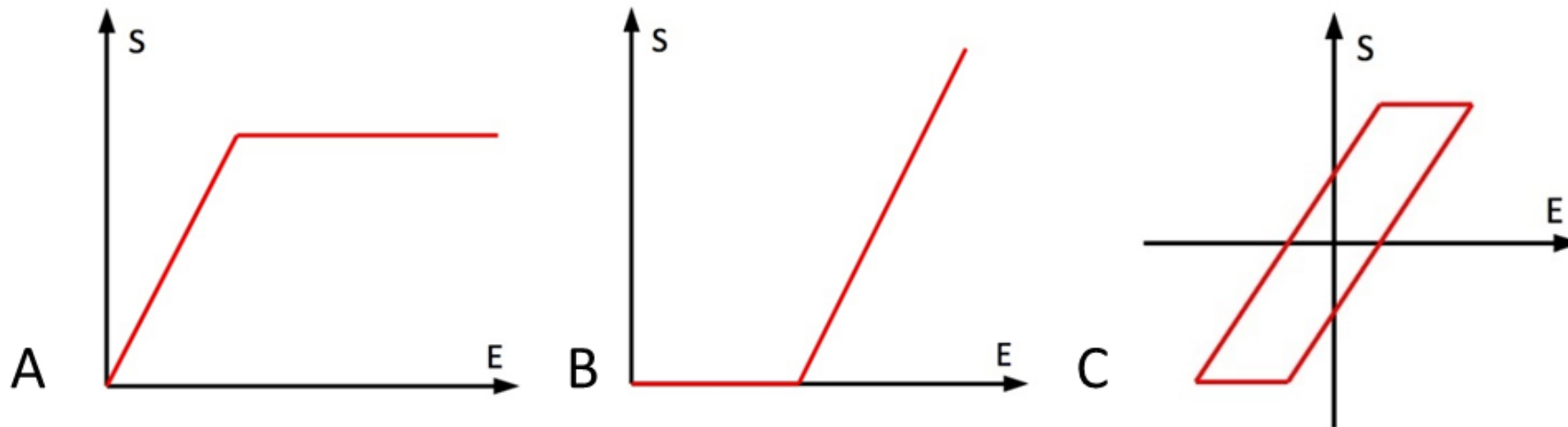
Erreur relative : $\left| \frac{N_{reel} - N_{modele}}{N_{reel}} \right|$

Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes linéaires

Non-linéarité

Exemples de non-linéarités classiques :



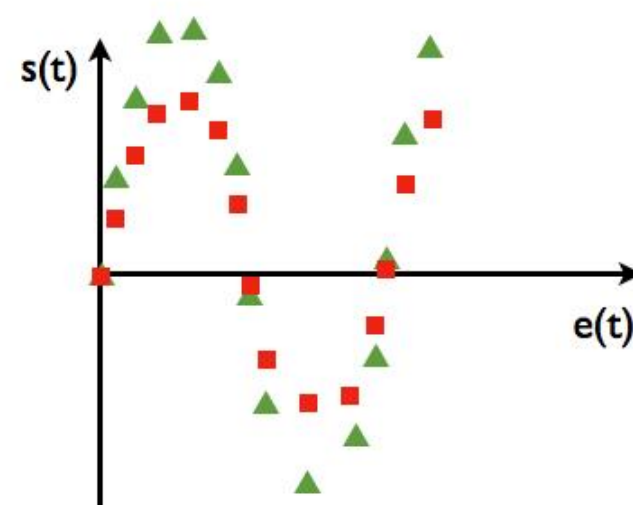
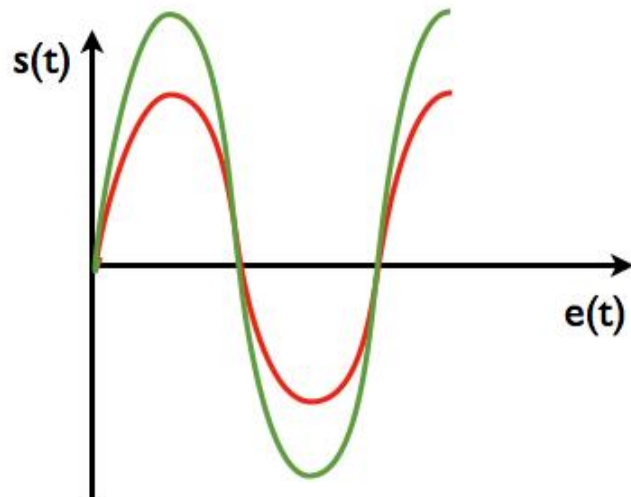
A. Saturation : butée mécanique, alimentation, moteur électrique. B. Seuil : frottement. C. Hystérésis : jeux mécaniques, matériaux, cycles magnétiques

Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes continus

Définition d'un système continu :

Un **système est continu**, par opposition à un système discret, lorsque **les variations de ses grandeurs physiques sont définies à chaque instant** (elles sont caractérisées par des fonctions continues). On parle aussi de **système analogique**.



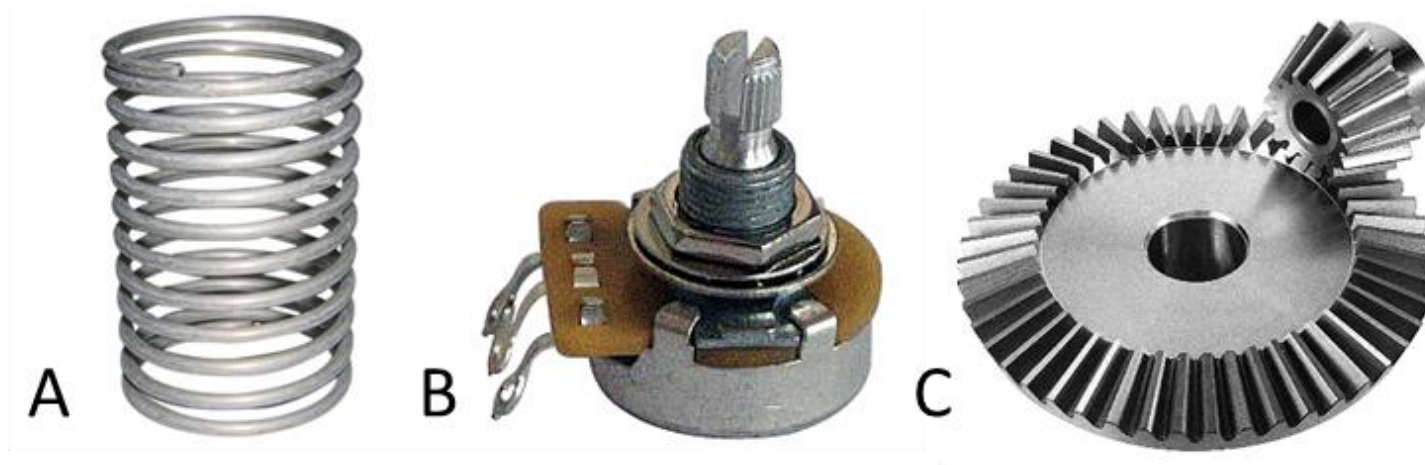
Systemes Linéaires Continus Invariants (SLCI)

Systemes invariants

Définition d'un système invariant :

Un **système est dit invariant** quand ses **caractéristiques** (masse, dimensions, résistance, impédance, etc.) **ne varient pas au cours du temps**.

Pour un système invariant, si $s(t)$ est la réponse à l'entrée $e(t)$, alors $s(t-\tau)$ est la réponse à $e(t-\tau)$.

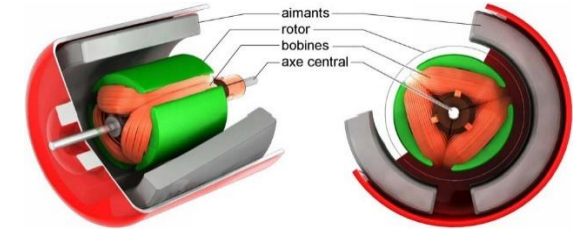


Modélisation des SLCI

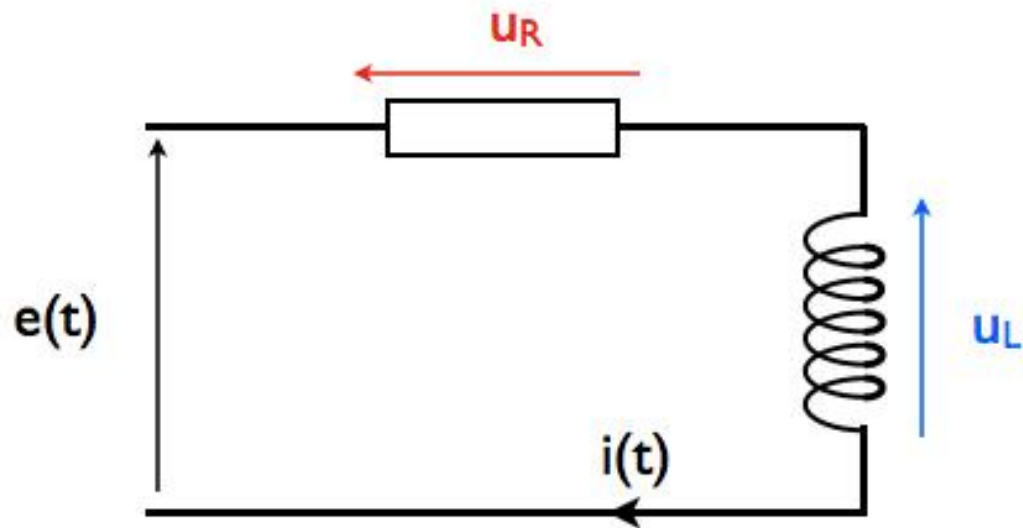
La plupart des modèles entrant dans le cadre des **SLCI** sont représentables par des équations différentielles à coefficients constants liant la grandeur d'entrée et la grandeur de sortie.

CPGE → systèmes du 1^{er} ordre ET systèmes du 2nd ordre

Modélisation des SLCI



Systemes du premier ordre



Les équations électriques nous donnent :

$$e(t) = R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad \text{et} \quad u_R(t) = R \cdot i(t)$$

$$\text{Donc } e(t) = u_R(t) + \frac{L}{R} \frac{du_R(t)}{dt} \quad \tau = \frac{L}{R}$$

Définition : La forme générale de l'équation différentielle caractéristique d'un système du premier ordre est :

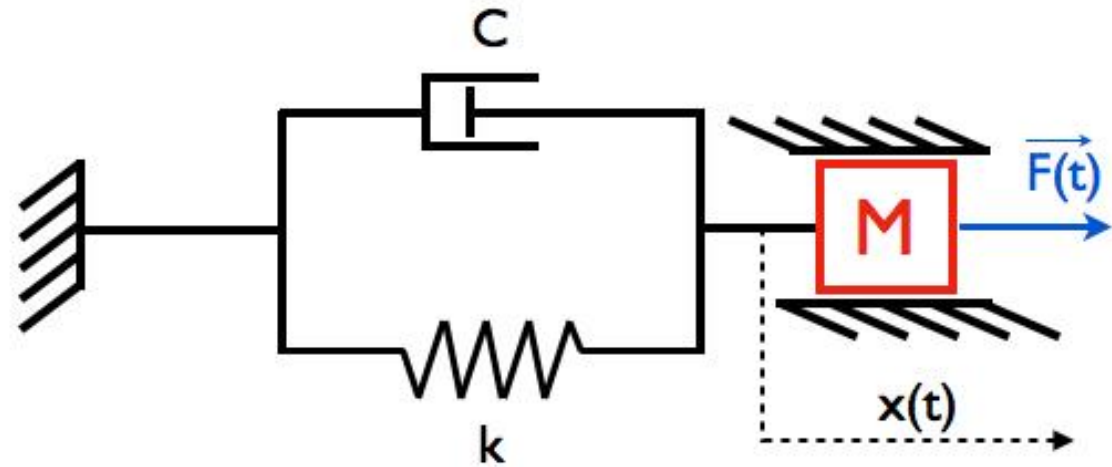
$$\tau \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = Ke(t)$$

τ la **constante de temps du système** (exprimée en **secondes**)

K le **gain** du système (unité $\frac{[s]}{[e]}$).

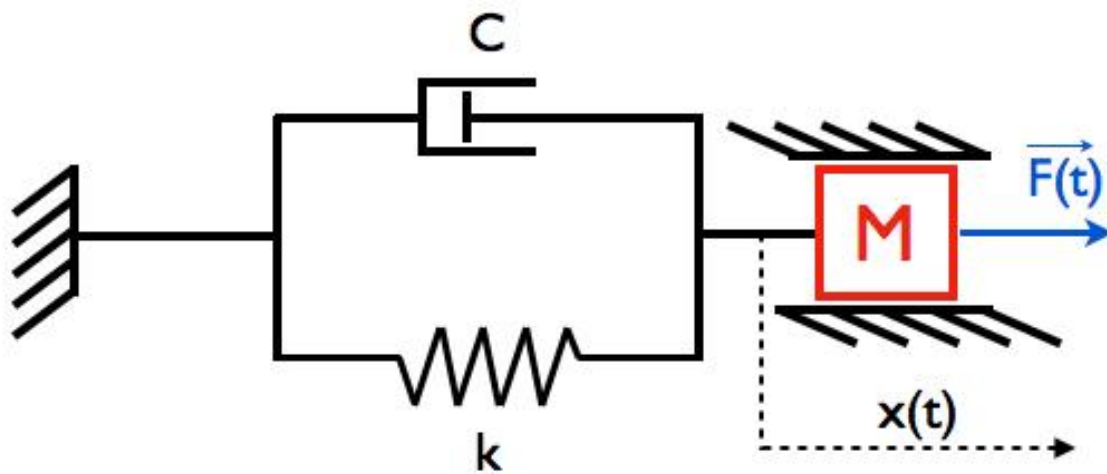
Modélisation des SLCI

Systemes du second ordre



Modélisation des SLCI

Systemes du second ordre



- ω_0 la pulsation propre non amortie du système exprimé en rad.s^{-1} ;
- z le coefficient d'amortissement du système (sans unité), ou encore noté m ou ξ ;
- K le gain du système (unité $\frac{[s]}{[e]}$).

Principe Fondamental de la Dynamique à la masse M dans le repère lié au sol :

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \frac{C}{M} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{k}{M} x(t) = \frac{F(t)}{M}$$

$$\frac{k}{M} = \omega_0^2, \quad \frac{C}{M} = 2z\omega_0 \quad \text{et} \quad \frac{1}{M} = K\omega_0^2$$

Définition : La forme générale de l'équation différentielle caractéristique d'un système d'ordre 2 est :

$$\frac{d^2s(t)}{dt^2} + 2z\omega_0 \frac{ds(t)}{dt} + \omega_0^2 s(t) = K\omega_0^2 e(t)$$

Modélisation des SLCI

Généralisation

Définition : D'une manière générale, un système linéaire continu asservi peut être représenté par une équation linéaire à coefficients constants de la forme :

$$a_n \frac{d^n s(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} s(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 s(t) = b_m \frac{d^m e(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} e(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 e(t)$$

n est appelé **ordre du système**.

Complicé de résoudre directement des équations d'ordre élevé → **Transformée de Laplace**

Transformée de Laplace

Afin de simplifier la résolution des équations différentielles représentatives des **SLCI**, on utilise la transformée de Laplace qui **permet d'accéder à la réponse temporelle donnée par le système**, et ce **quel que soit l'ordre des équations différentielles** qui le régissent.

Equation différentielle d'ordre n



LAPLACE



Réponse temporelle

Transformée de Laplace

Définitions

Définition :

Soit $f(t)$ une fonction intégralement intégrable. On définit la **transformée de Laplace** de $f(t)$ notée $F(p) = \mathcal{L}[f(t)]$ par :

$$F(p) = \mathcal{L}[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} dt \quad \forall t > 0$$

$$f(t) = 0 \text{ pour } t < 0.$$

Transformée de Laplace

Définitions

Définition :

On dit qu'une fonction du temps $f(t)$ vérifie **les conditions d'Heaviside** si elle vérifie :

$$f(0^+) = 0, f'(0^+) = 0, f''(0^+) = 0 \dots$$

C'est-à-dire **si toutes les conditions initiales sont nulles.**

Modélisation des SLCI

Propriétés des transformées de Laplace

Unicité

Définition de l'unicité :

- A une fonction $f(t)$ correspond une transformée $F(p)$ unique ($F(p) = \mathcal{L}[f(t)]$)
- A une transformée $F(p)$ correspond une fonction $f(t)$ unique ($f(t) = \mathcal{L}^{-1}[F(p)]$)

Modélisation des SLCI

Propriétés des transformées de Laplace

Linéarité

Définition de la linéarité :

Soient $f_1(t)$ et $f_2(t)$ deux fonctions localement intégrables. Soient $F_1(p)$ et $F_2(p)$ les transformées de Laplace respectivement de $f_1(t)$ et $f_2(t)$. Soient a et b deux constantes, alors :

$$\mathcal{L}[a \cdot f_1(t) + b \cdot f_2(t)] = a \cdot \mathcal{L}[f_1(t)] + b \cdot \mathcal{L}[f_2(t)] = a \cdot F_1(p) + b \cdot F_2(p)$$

Modélisation des SLCI

Propriétés des transformées de Laplace

Théorème du retard

Définition du retard :

$$\mathcal{L}[f(t - t_1)] = e^{-pt_1} \cdot \mathcal{L}[f(t)] = e^{-pt_1} \cdot F(p)$$

Modélisation des SLCI

Propriétés des transformées de Laplace

Transformée d'une dérivée

Pour la dérivée première on a :

Définition :

$$\mathcal{L}[f'(t)] = p \cdot F(p) - f(0^+)$$

Pour la dérivée seconde, on a :

Définition :

$$\mathcal{L}[f''(t)] = p^2 \cdot F(p) - p \cdot f(0^+) - \frac{df(0^+)}{dt}$$

Modélisation des SLCI

Propriétés des transformées de Laplace

Transformée d'une dérivée

Si les conditions initiales sont nulles, on obtient directement :

Définition :

$$\mathcal{L}[f^{(n)}(t)] = p^n \cdot \mathcal{L}[f(t)] = p^n \cdot F(p)$$

Dans les conditions de Heaviside :

Dériver par rapport au temps (domaine temporel) \leftrightarrow **multiplier par p** (domaine de Laplace).

Modélisation des SLCI

Propriétés des transformées de Laplace

Transformée d'une intégrale

Définition :

Soit $g(t)$ une primitive de $f(t)$. Alors :


$$\mathcal{L} \left[\int_0^t f(u) du \right] = \frac{F(p)}{p} + \frac{g(0^+)}{p}$$

Si les conditions initiales sont nulles :

intégrer dans le domaine temporel \leftrightarrow diviser par p dans le domaine de Laplace.

Modélisation des SLCI

Tableau récapitulatif des transformées de Laplace

	Addition	Multiplication par un scalaire	Multiplication de deux fonctions	Dérivation 1 ^{ère}	Dérivation 2 ^{nde}	Intégration (avec CI nulles)	Retard
f(t)	$f(t) + g(t)$	$K.f(t)$	$f(t).g(t)$	$f'(t)$	$f''(t)$	$\int_0^t f(x)dx$	$f(t-x)$
F(p)	$F(p) + G(p)$	$K.F(p)$	 $F(p).G(p)$	$p.F(p) - f(0^+)$	$p^2.F(p) - p.f(0^+) - f'(0^+)$	$\frac{F(p)}{p}$	$e^{-x.p} .F(p)$

Modélisation des SLCI

Théorèmes de la valeur initiale et de la valeur finale

Théorème de la valeur initiale

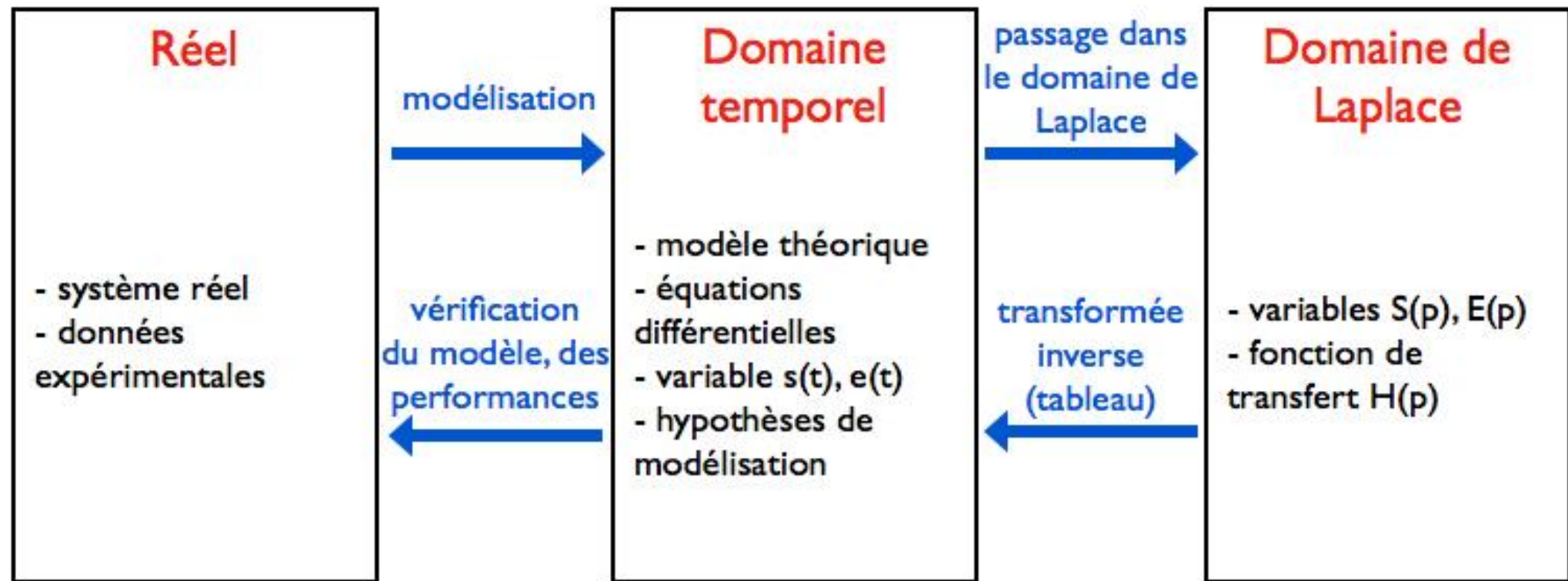
$$\lim_{t \rightarrow 0^+} f(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} pF(p)$$

Théorème de la valeur finale

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{p \rightarrow 0^+} pF(p)$$

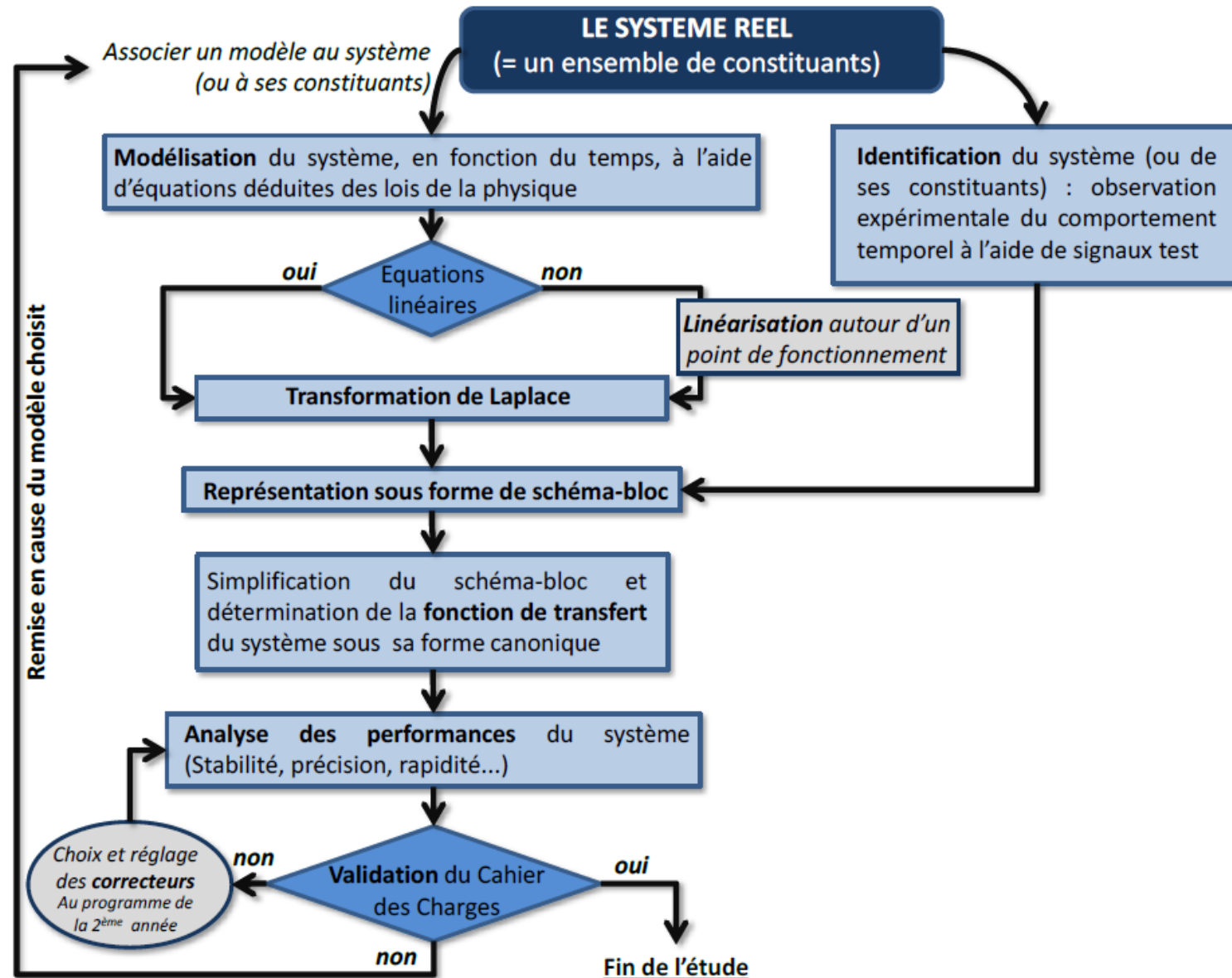
Modélisation des SLCI

Domaine de Laplace



← possibilité d'évaluer directement certains paramètres :
théorèmes de la valeur finale, de la valeur initiale

Modélisation des SLCI



Modélisation des SLCI

Fonction de transfert d'un système

On considère un SLCI régi par une équation différentielle du type :

$$a_n \frac{d^n s(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} s(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 s(t) = b_m \frac{d^m e(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} e(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 e(t)$$

On se place dans le cas de **conditions initiales nulles** (conditions de Heaviside).

Dans le **domaine de Laplace**, d'après le **théorème de la dérivée**, l'équation différentielle qui régit le système devient :

$$a_n p^n S(p) + a_{n-1} p^{n-1} S(p) + \dots + a_0 S(p) = b_m p^m E(p) + b_{m-1} p^{m-1} E(p) + \dots + b_0 E(p)$$

Modélisation des SLCI

Fonction de transfert d'un système

Définition : On appelle **fonction de transfert du système** (ou transmittance) le rapport entre la sortie et l'entrée du système dans le domaine symbolique (ou de **Laplace**). On le note $H(p)$.

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_0}$$

Définition : La **forme canonique de la fonction de transfert** s'écrit :

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K (1 + \dots + \check{b}_m p^m)}{p^\alpha (1 + \dots + \check{a}_{n'} p^{n'})}$$

Avec $n = n' + \alpha$ **l'ordre du système**, α la **classe du système** et **K** le **gain** (caractérisé de statique lorsque la classe du système est nulle).

Modélisation des SLCI

Fonction de transfert d'un système

Définition : La **seconde forme canonique de la fonction de transfert** obtenue en déterminant les racines (complexes ou non) des numérateur et dénominateur s'écrit :

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K (p - z_1)(p - z_2) \dots (p - z_m)}{p^\alpha (p - p_1)(p - p_2) \dots (p - p_{n'})}$$

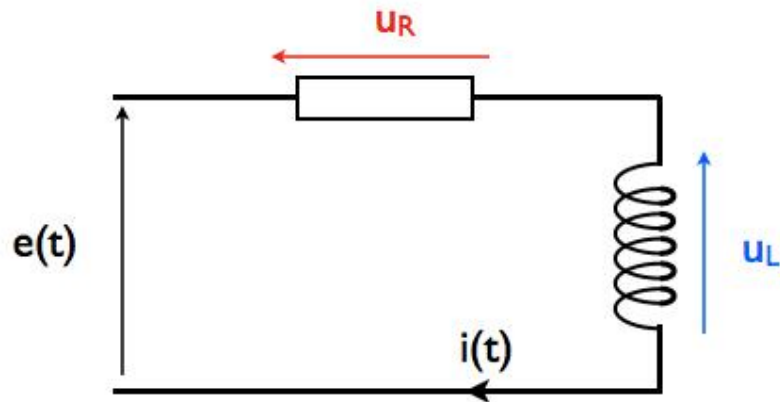
$z_i \rightarrow$ **les zéros** de la fonction transfert

$p_i \rightarrow$ **les pôles** de la fonction transfert

Modélisation des SLCI

Fonction de transfert d'un système

Exemples – Circuit RL



$$\tau \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = Ke(t)$$

Dans le domaine de **Laplace** (conditions initiales nulles).

$$\tau pS(p) + S(p) = KE(p) \text{ donc } (\tau p + 1)S(p) = KE(p)$$

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K}{1 + \tau p}$$

Modélisation des SLCI

Fonction de transfert d'un système

Exemples – Circuit RL

Définition :

La **fonction de transfert caractéristique d'un système du premier ordre** a pour forme caractéristique suivante :

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K}{1 + \tau p}$$

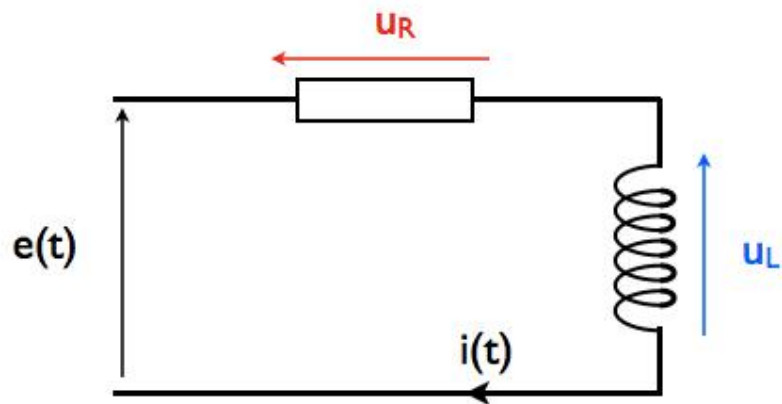
Où

- $K \rightarrow$ gain statique du système (unité $\frac{[s]}{[e]}$)
- $\tau \rightarrow$ constante de temps du système (en **secondes**)

Modélisation des SLCI

Fonction de transfert d'un système

Exemples – Circuit RL

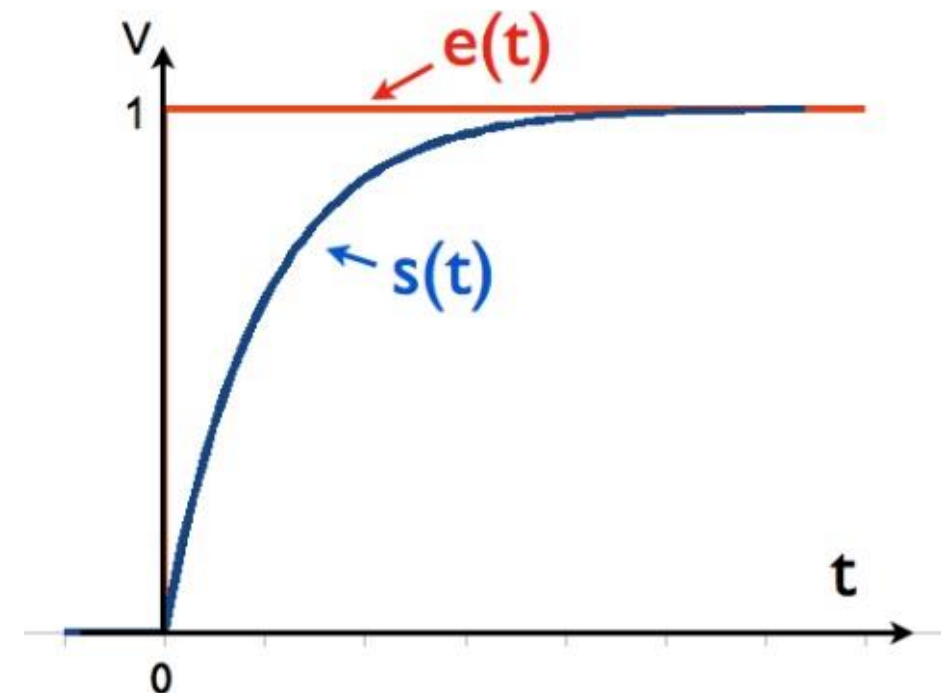


$$s(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) u(t)$$

$$\tau \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = Ke(t)$$

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K}{1 + \tau p}$$

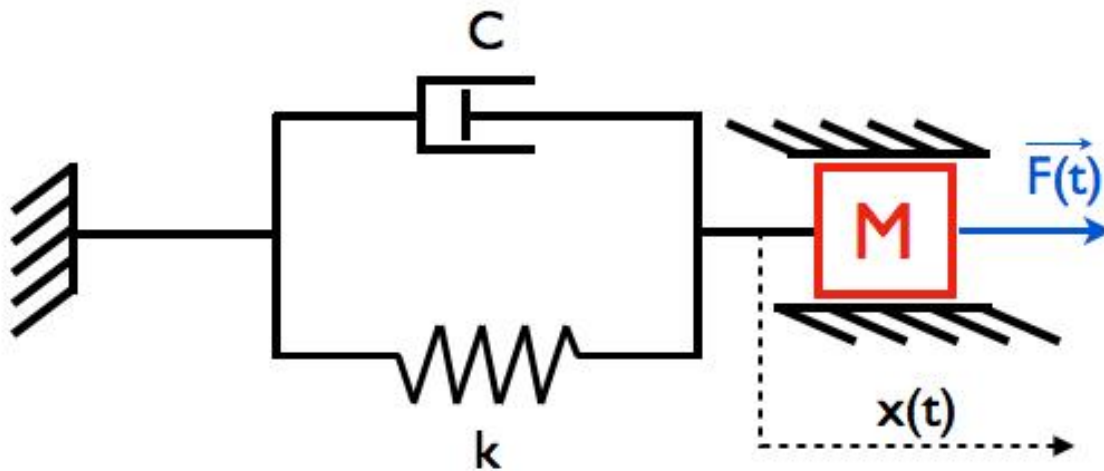
$$S(p) = H(p) \cdot E(p) = \frac{K}{1 + \tau p} E(p) = \frac{K}{p(1 + \tau p)}$$



Modélisation des SLCI

Fonction de transfert d'un système

Exemples – Système masse-ressort



$$\frac{d^2 s(t)}{dt^2} + 2z\omega_0 \frac{ds(t)}{dt} + \omega_0^2 s(t) = K\omega_0^2 e(t)$$

Dans le domaine de **Laplace** (Conditions initiales nulles).

$$p^2 S(p) + 2z\omega_0 p S(p) + \omega_0^2 S(p) = K\omega_0^2 E(p)$$

Donc $(p^2 + 2z\omega_0 p + \omega_0^2) S(p) = K\omega_0^2 E(p)$

Où :

- $K \rightarrow$ gain statique du système (unité $\frac{[s]}{[e]}$)
- $\omega_0 \rightarrow$ pulsation propre du système (unité $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)
- $z \rightarrow$ coefficient d'amortissement du système (sans unité)

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K}{1 + \frac{2z}{\omega_0} p + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$$

Représentation par schéma-blocs

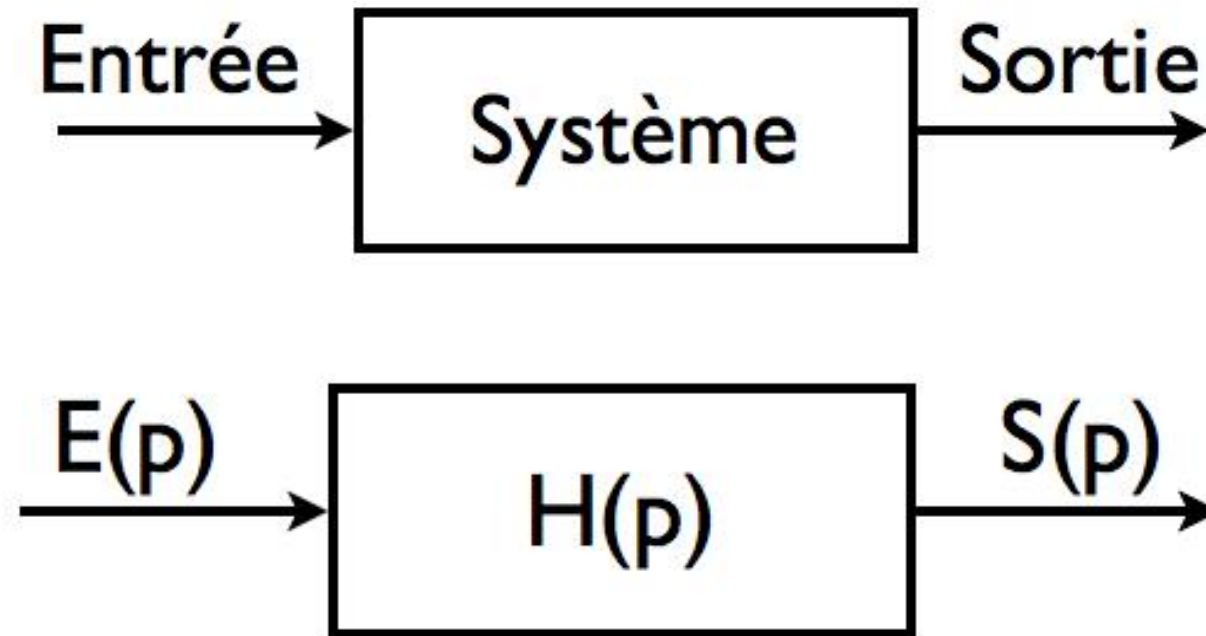
Tableau des transformées de Laplace

$f(t)$	$F(p)$
$f(t-t_1)$	$e^{-pt_1} F(p)$
$\delta(t)$	1
$u(t)$	$\frac{1}{p}$
$a.t.u(t)$	$\frac{a}{p^2}$
$e^{-at}.u(t)$	$\frac{1}{p+a}$
$\frac{t^n}{n!}.u(t)$	$\frac{1}{p^{n+1}}$
$t e^{-at}.u(t)$	$\frac{1}{(p+a)^2}$
$\sin \omega t . u(t)$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$
$\cos \omega t . u(t)$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$



Représentation par schéma-blocs

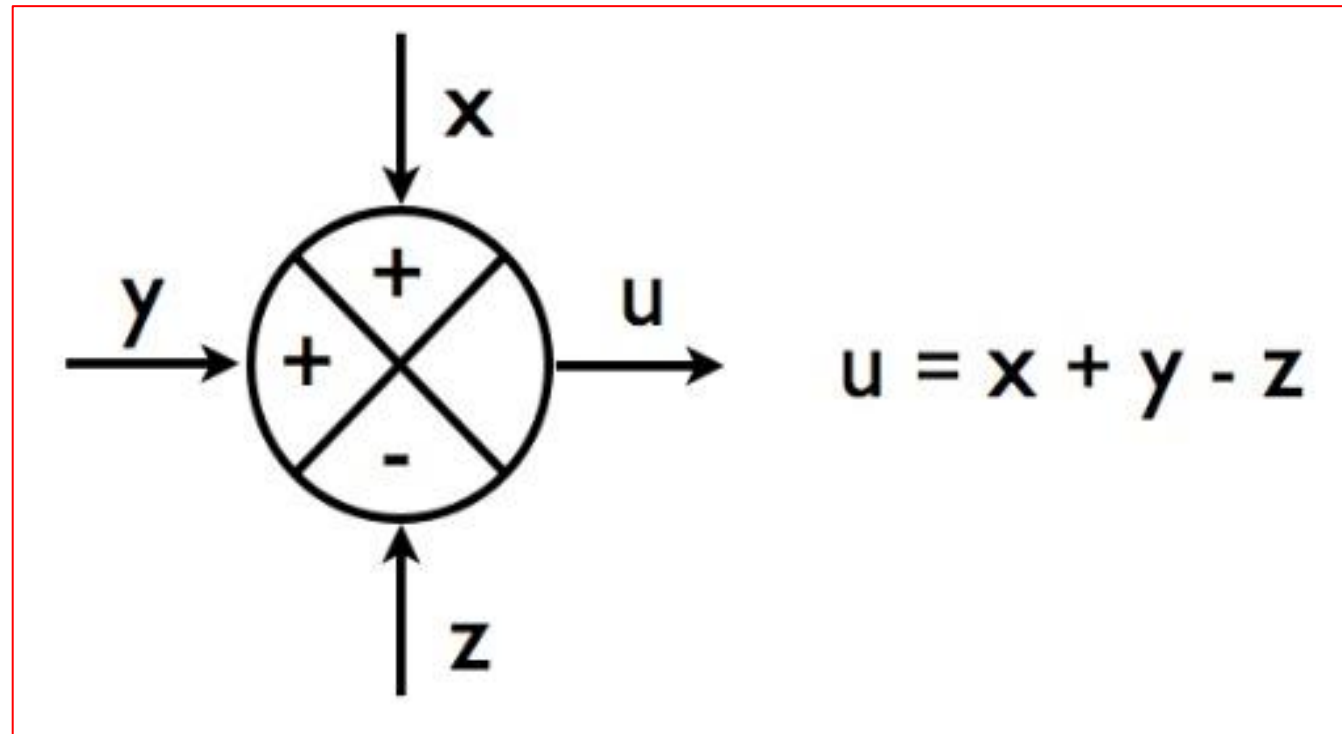
Formalisme



Représentation par schéma-blocs

Formalisme

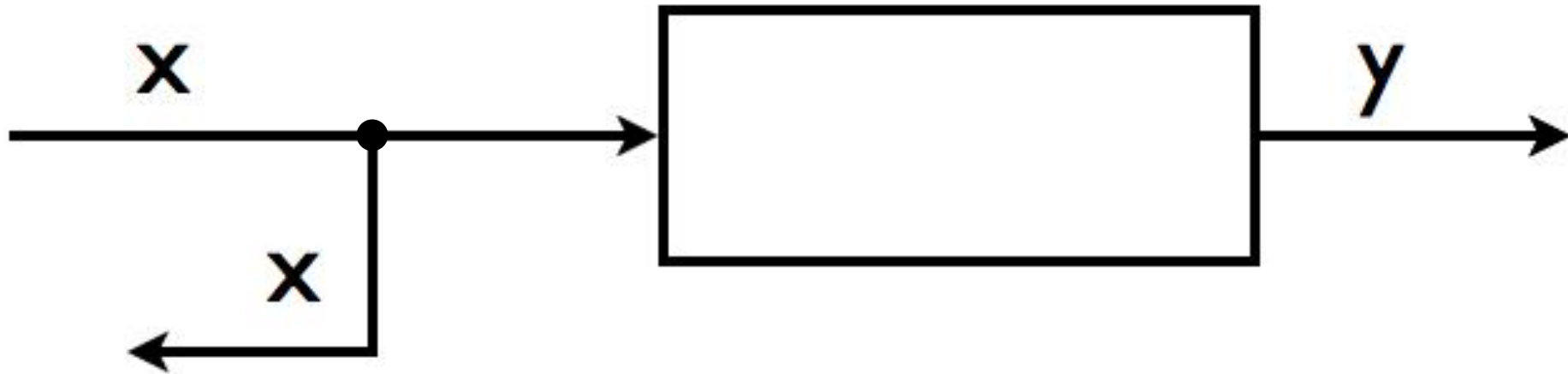
Point de sommation



Représentation par schéma-blocs

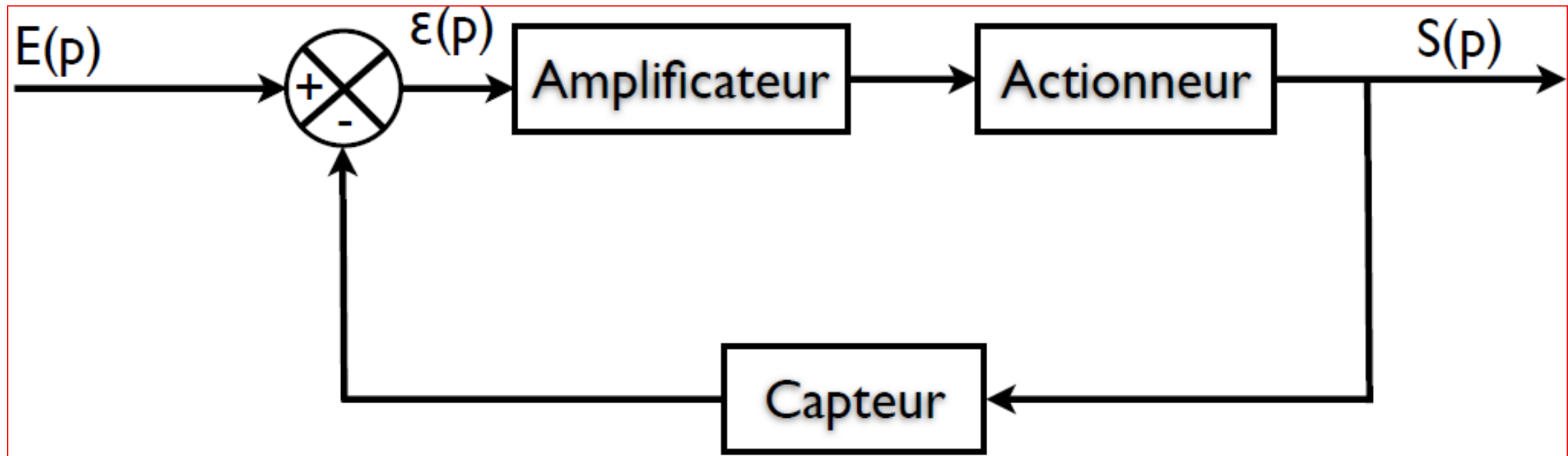
Formalisme

Point de prélèvement



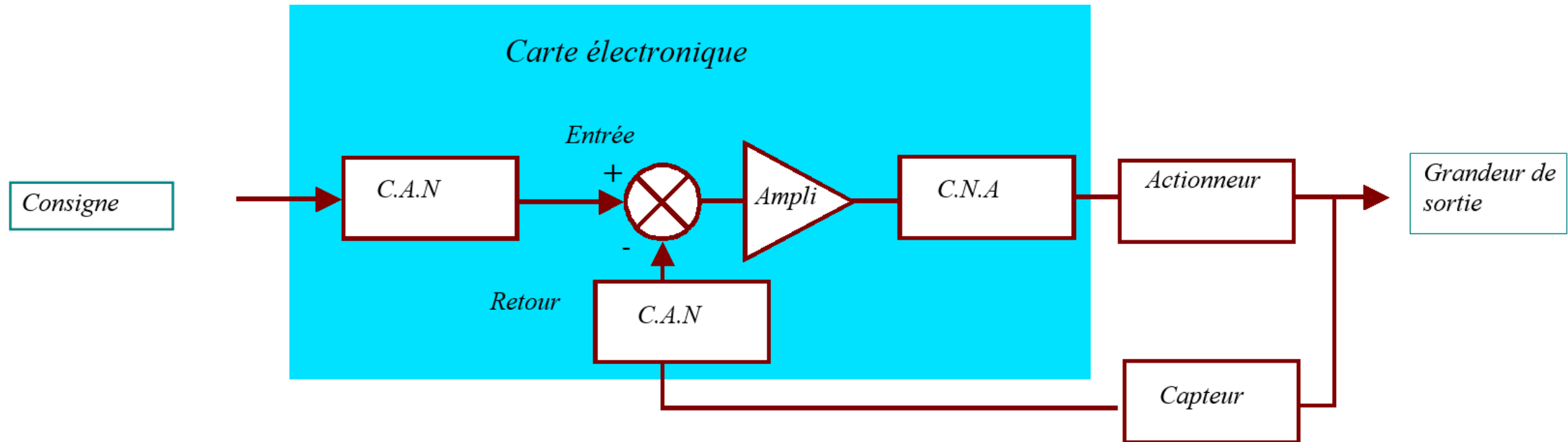
Représentation par schéma-blocs

Schéma-blocs d'un système asservi



Représentation par schéma-blocs

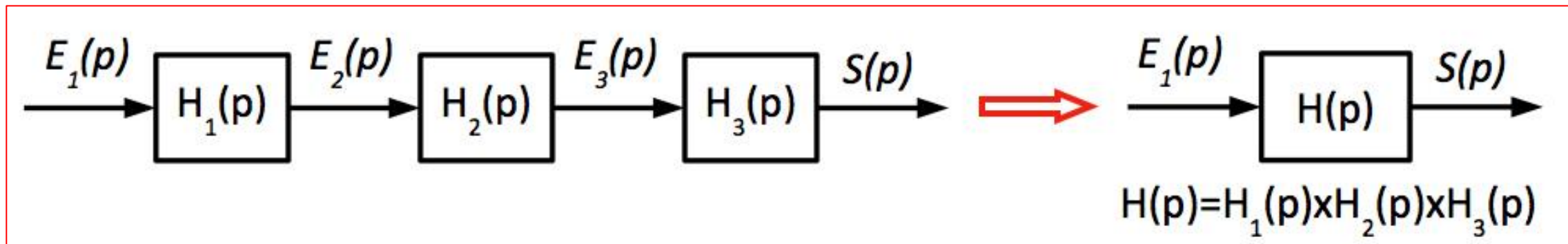
Schéma-blocs d'un système asservi



Représentation par schéma-blocs

Manipulation de schéma-blocs

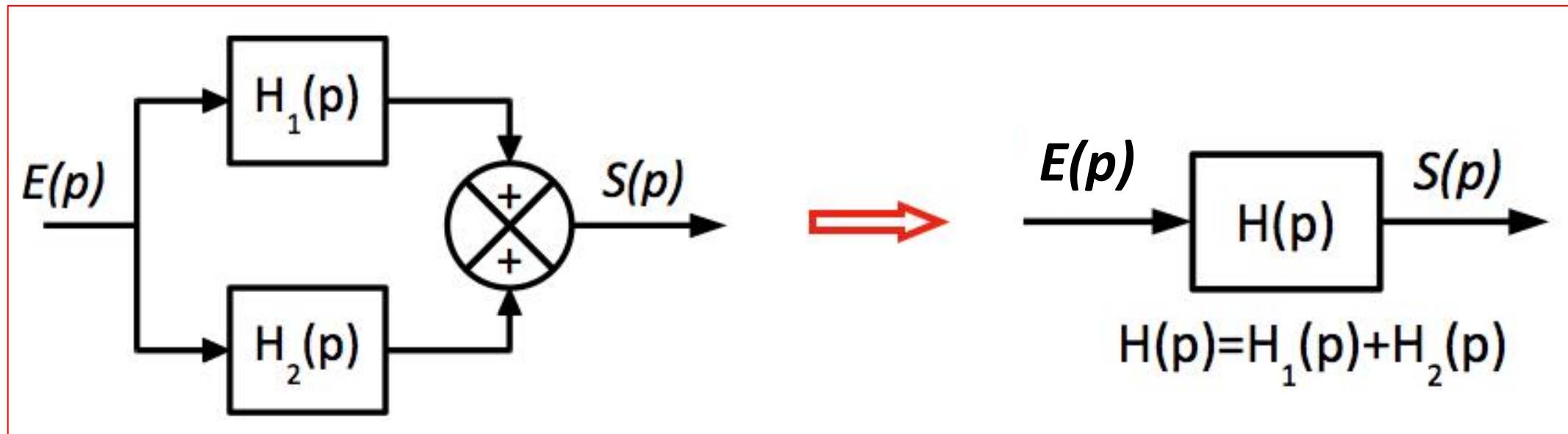
Fonctions de transfert en série



Représentation par schéma-blocs

Manipulation de schéma-blocs

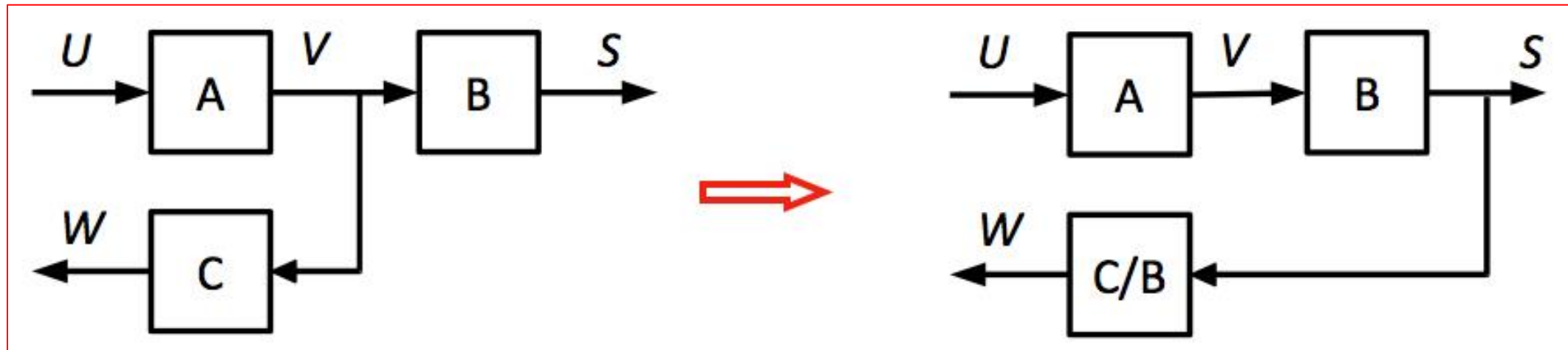
Fonctions de transfert en parallèle



Représentation par schéma-blocs

Manipulation de schéma-blocs

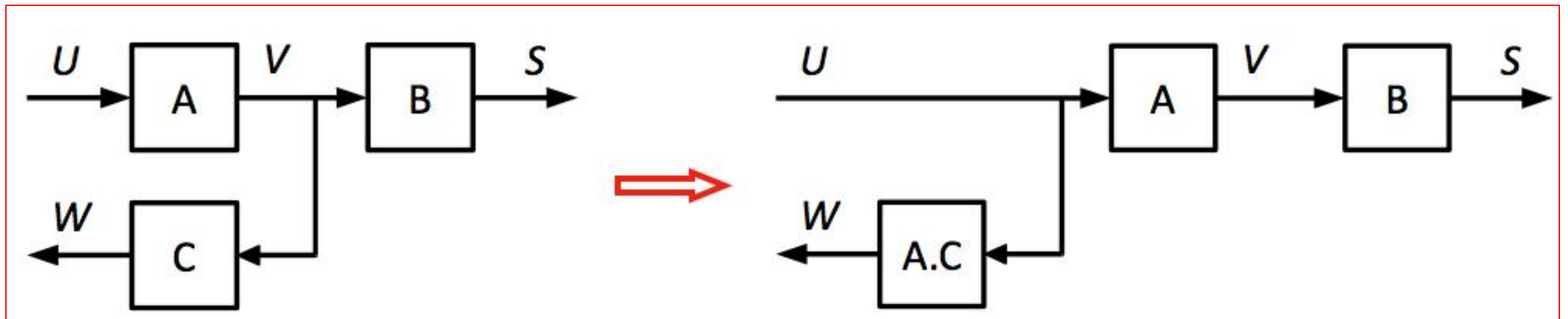
Déplacement de point de prélèvement vers l'aval



Représentation par schéma-blocs

Manipulation de schéma-blocs

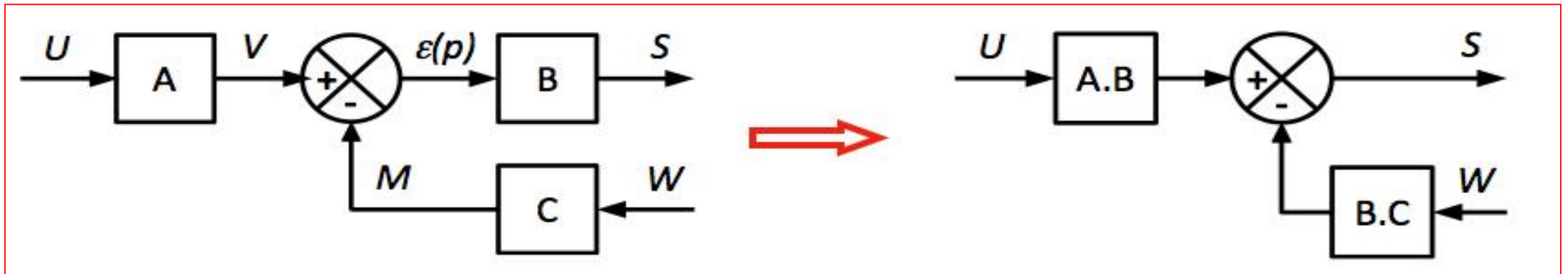
Déplacement de point de prélèvement vers l'amont



Représentation par schéma-blocs

Manipulation de schéma-blocs

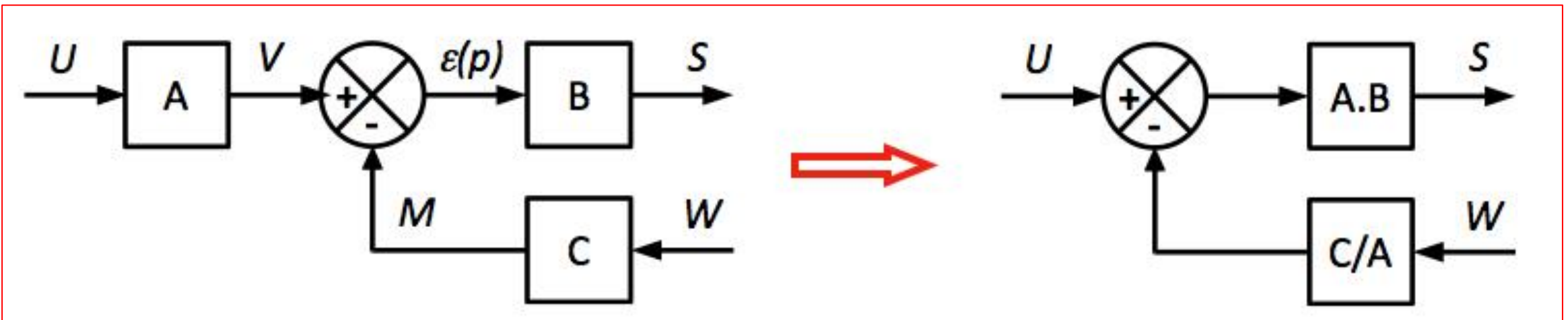
Déplacement de sommateur vers l'aval



Représentation par schéma-blocs

Manipulation de schéma-blocs

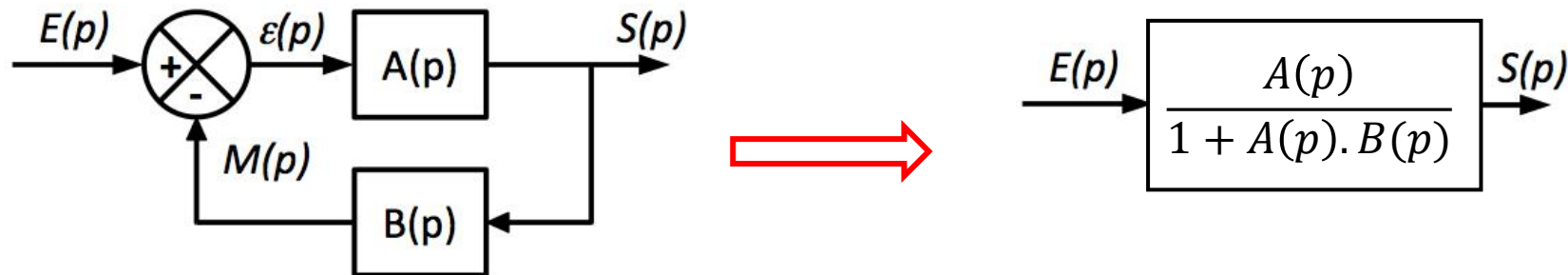
Déplacement de sommateur vers l'amont



Représentation par schéma-blocs

Particularités

Fonctions de transfert en boucle fermée (FTBF)



- $\varepsilon(p) \rightarrow$ **écart**
- $A(p) \rightarrow$ **fonction de transfert en chaîne directe**
- $B(p) \rightarrow$ **chaîne de mesure ou chaîne d'information**

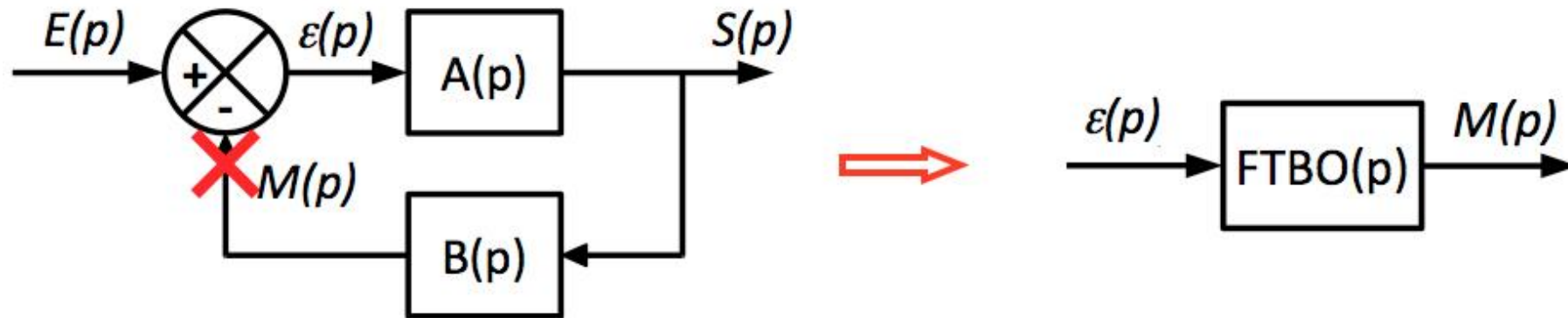
On a donc comme **fonction de transfert en boucle fermée (FTBF)** :

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{A(p)}{1 + A(p)B(p)}$$

Représentation par schéma-blocs

Particularités

Fonctions de transfert en boucle ouverte (FTBO)



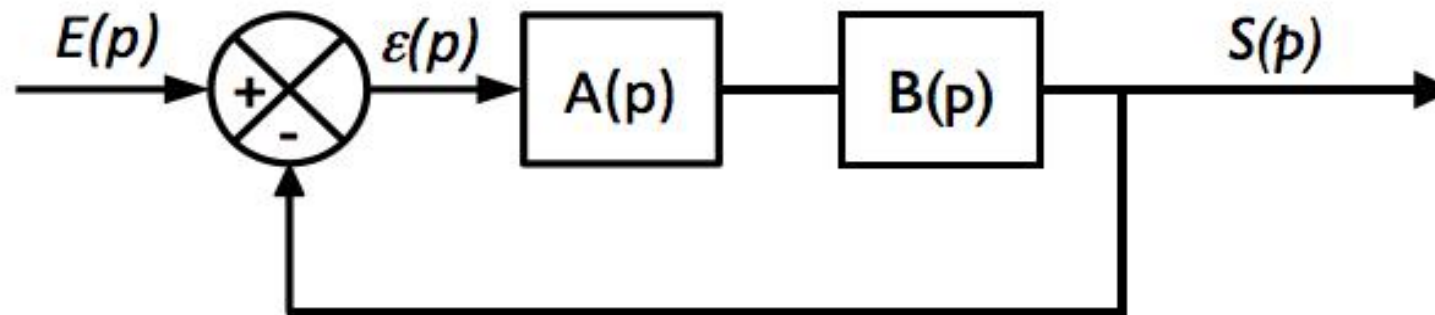
$$FTBO(p) = \frac{M(p)}{\varepsilon(p)} = A(p)B(p)$$

Représentation par schéma-blocs

Particularités

Fonctions de transfert d'un système à retour unitaire

Retour unitaire = Aucune fonction de transfert sur la boucle de retour

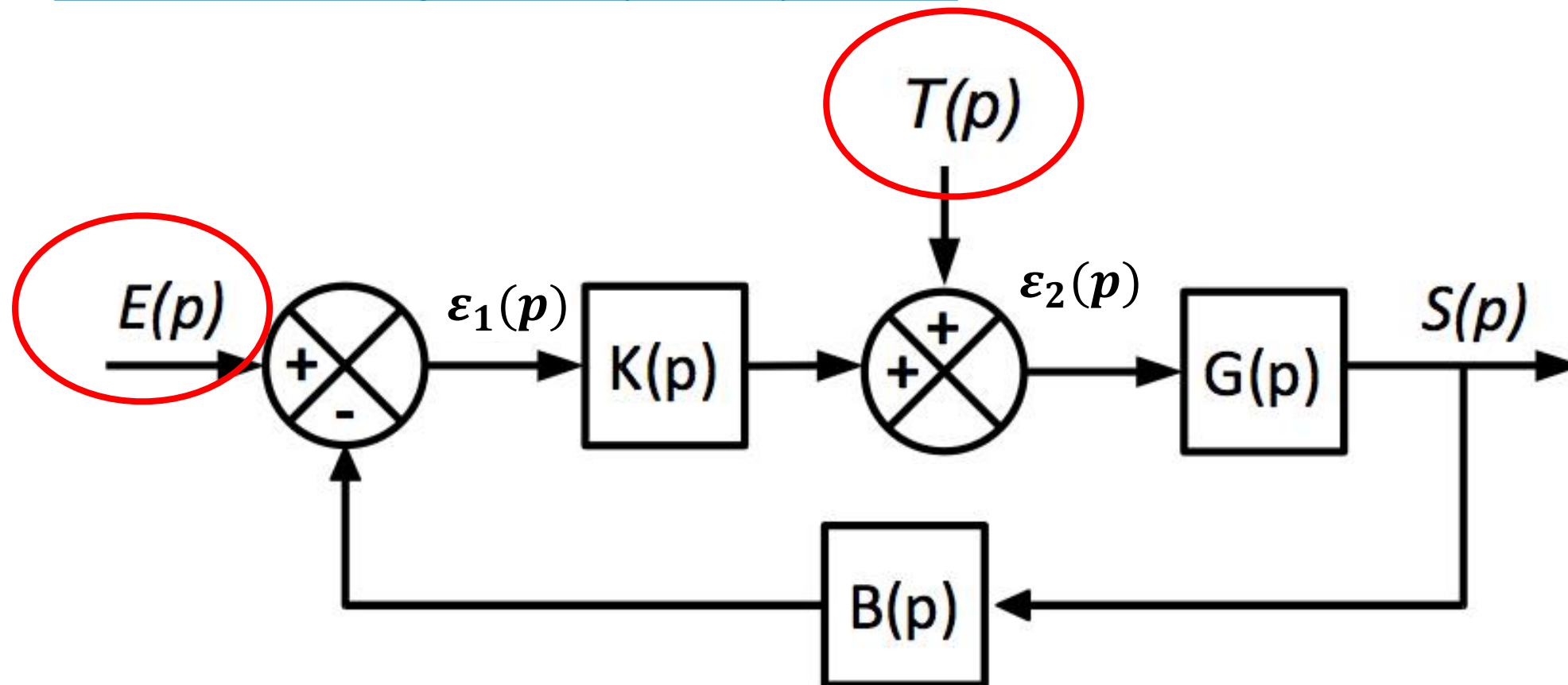


$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{A(p)B(p)}{1 + A(p)B(p)} = \frac{FTBO(p)}{1 + FTBO(p)}$$

Représentation par schéma-blocs

Particularités

Fonctions de transfert d'un système perturbé

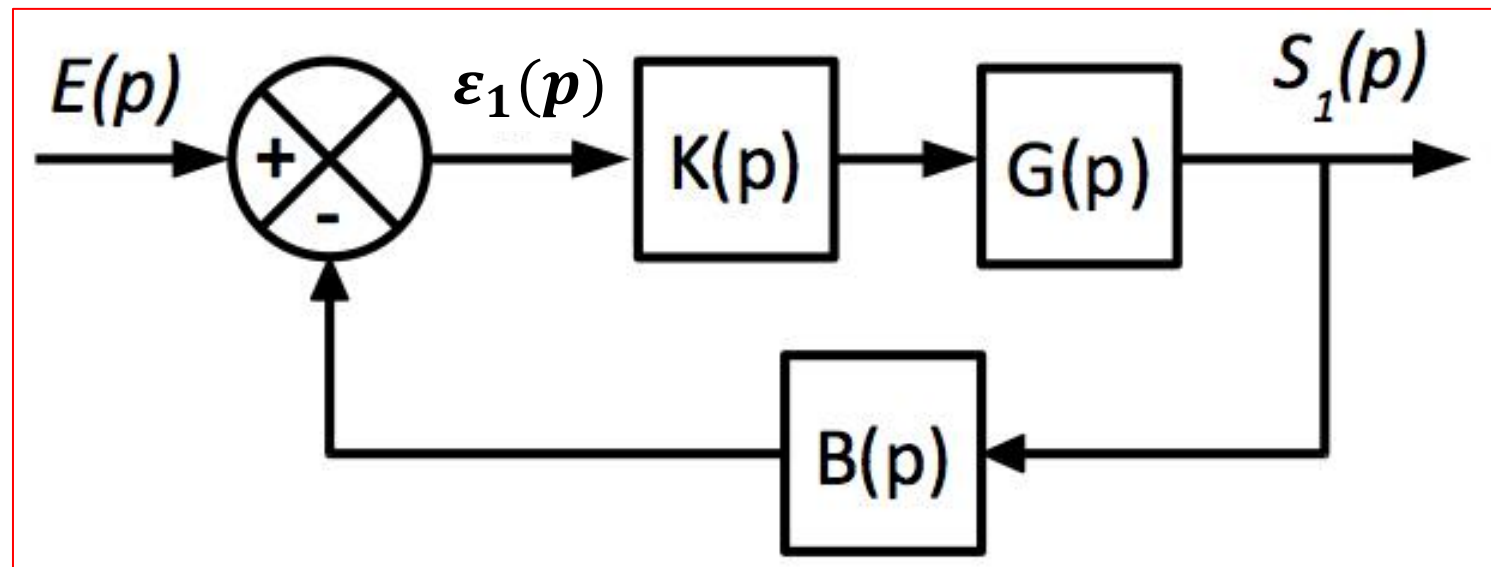


Représentation par schéma-blocs

Particularités

Fonctions de transfert d'un système perturbé

Schéma-bloc où $T(p) = 0$

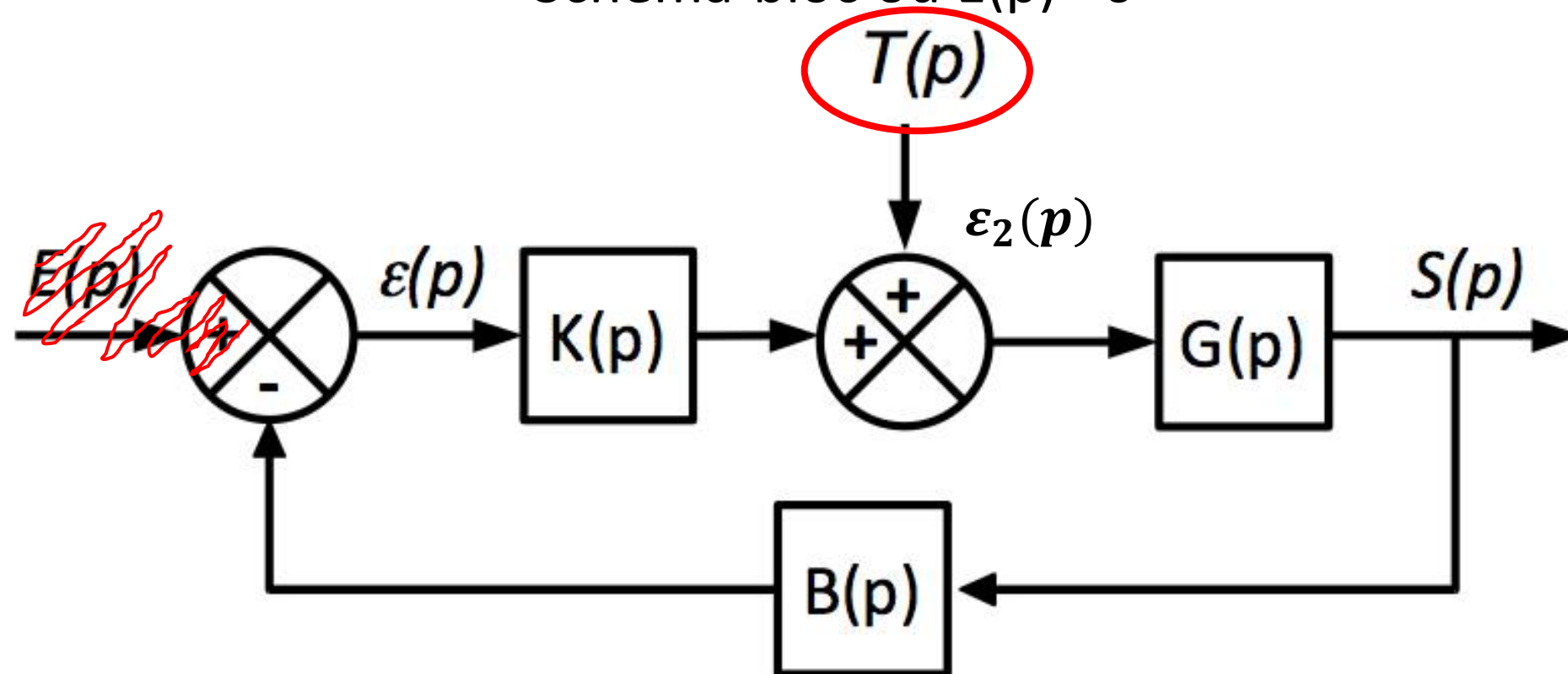


Représentation par schéma-blocs

Particularités

Fonctions de transfert d'un système perturbé

Schéma-bloc où $E(p) = 0$

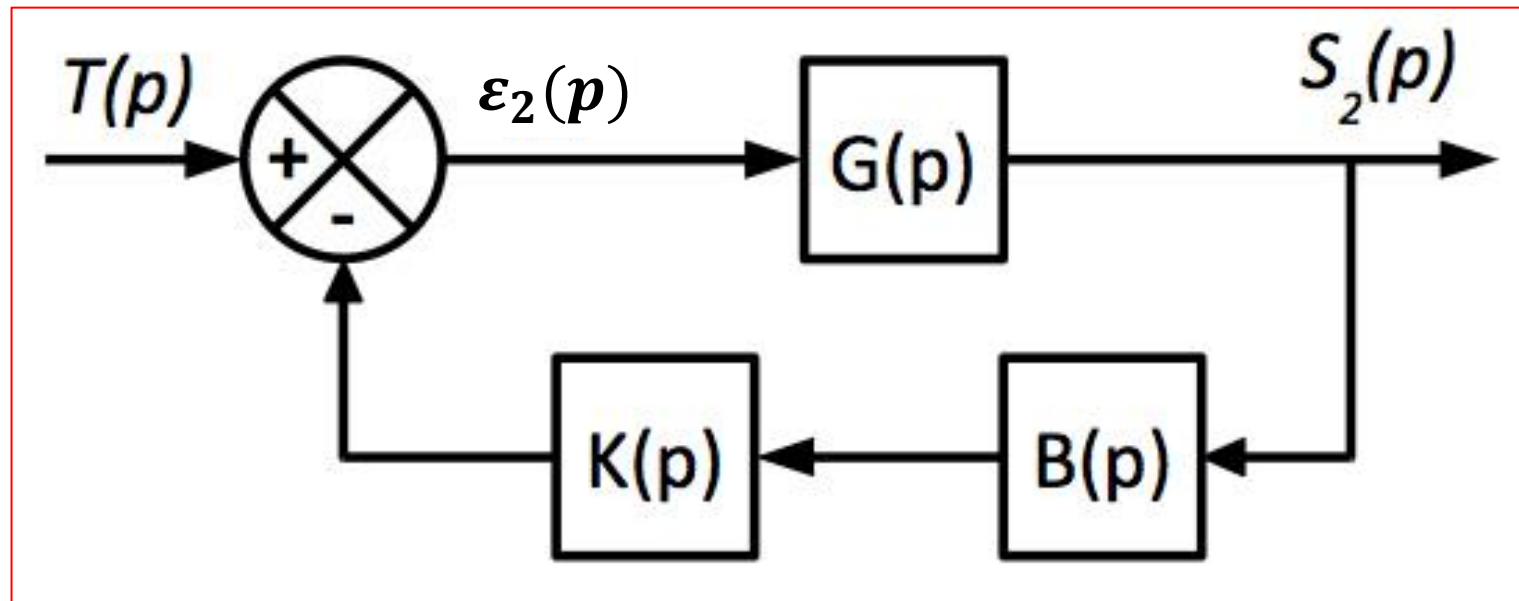


Représentation par schéma-blocs

Particularités

Fonctions de transfert d'un système perturbé

Schéma-bloc où $E(p) = 0$



Représentation par schéma-blocs

Particularités

Fonctions de transfert d'un système perturbé

$$S(p) = \frac{K(p)G(p)}{1 + FTBO} E(p) + \frac{G(p)}{1 + FTBO} T(p)$$

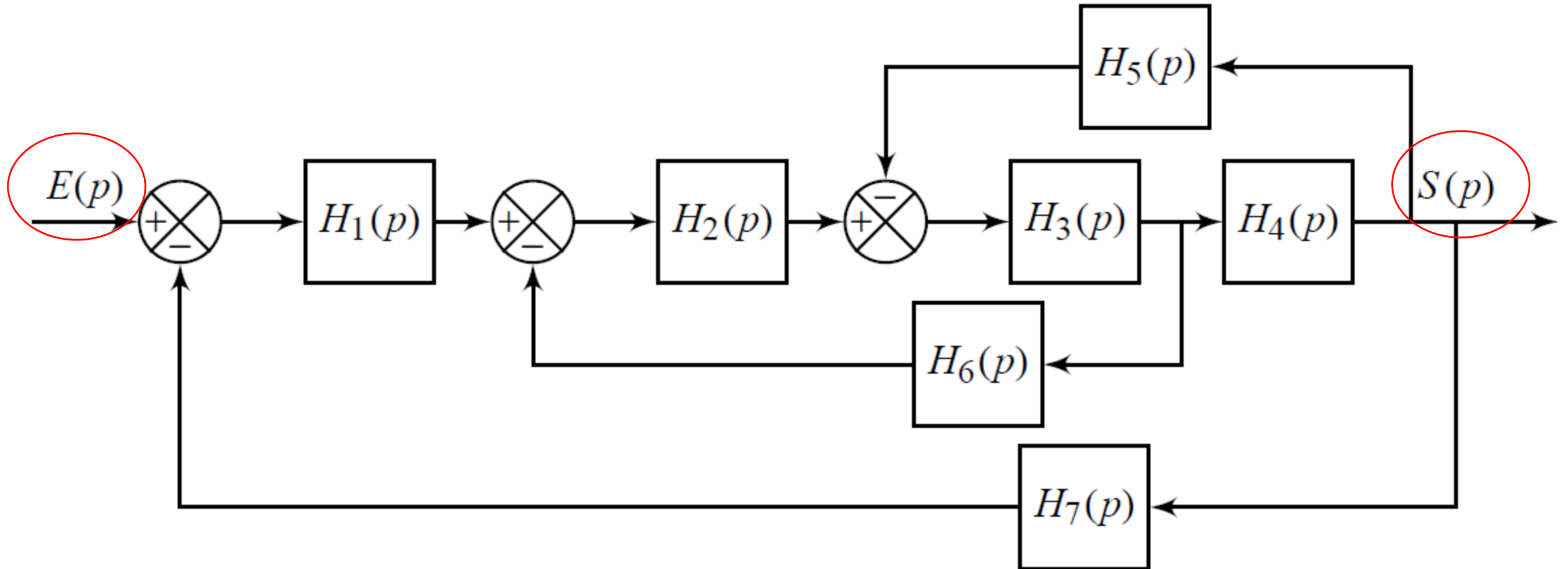
Représentation par schéma-blocs

Bilan

Pour déterminer la fonction de transfert d'un système complexe, deux méthodes sont possibles :

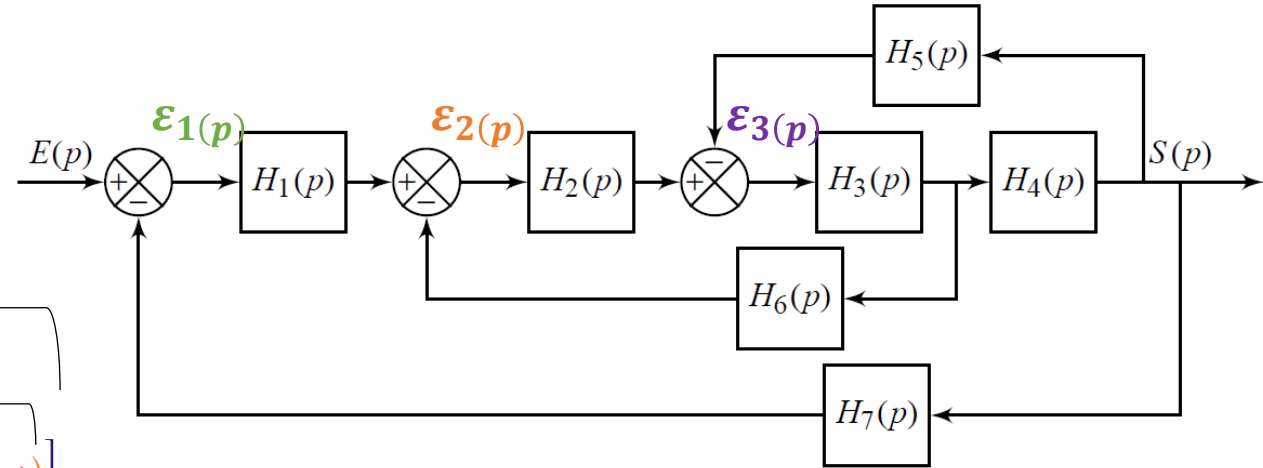
- **la méthode calculatoire :**
 - donner un nom à chaque sortie de sommateur et de jonction,
 - écrire les équations de chaque sommateur,
 - éliminer les variables pour faire apparaître uniquement l'entrée et la sortie.
- **la méthode de manipulation de schéma-blocs :**
 - essayer de faire apparaître des sous-systèmes à boucle fermée,
 - remplacer alors chaque boucle par le bloc associé avec la fonction de transfert déterminée.

Méthodes de réduction de schéma blocs



Méthodes de réduction de schéma blocs

Par les équations



$$S(p) = H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot \left[-H_5(p) \cdot S(p) + H_2(p) \cdot \left(\underbrace{+H_1(p) \cdot [+E(p) - H_7(p) \cdot S(p)]}_{\epsilon_1(p)} - \frac{H_6(p)}{H_4(p)} \cdot S(p) \right) \right]$$

$$S(p) \cdot \left(1 + H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot \left[H_5(p) + H_2(p) \cdot \left(H_1(p) \cdot [H_7(p)] + \frac{H_6(p)}{H_4(p)} \right) \right] \right) = H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot H_2(p) \cdot H_1(p) \cdot E(p)$$

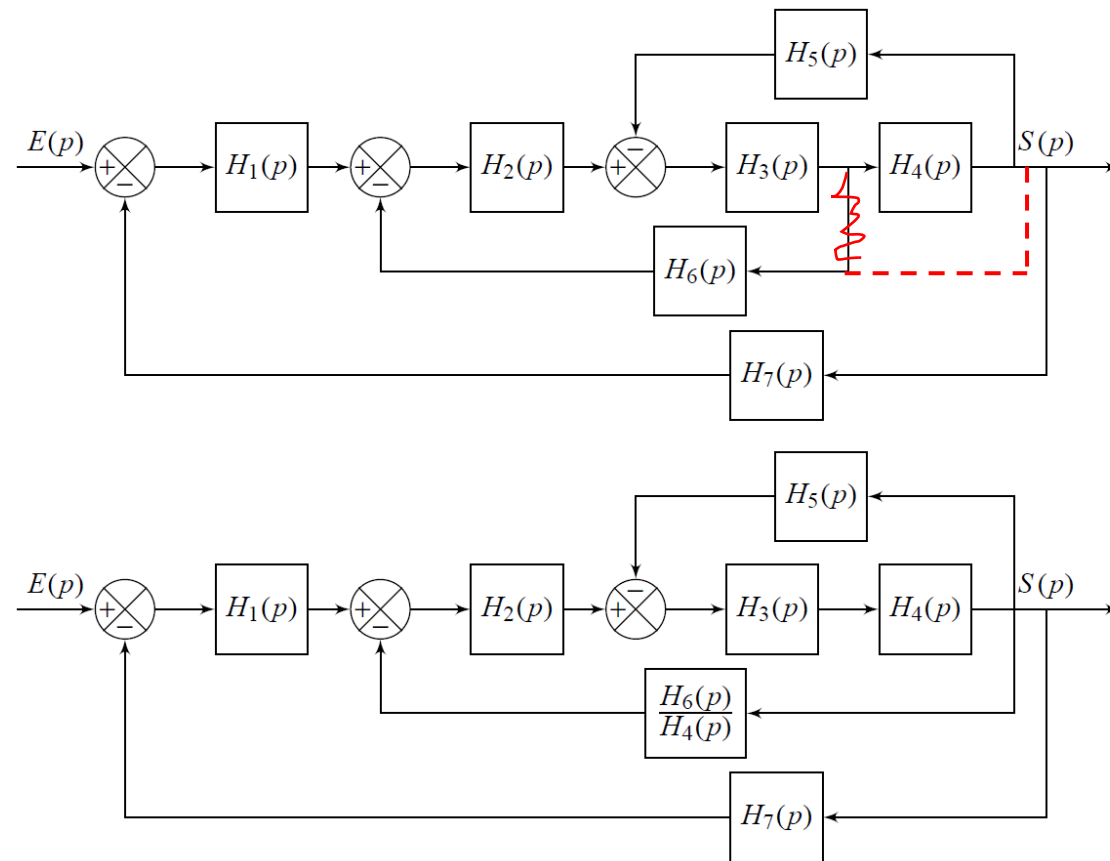
$$\frac{S(p)}{E(p)} = \frac{H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot H_2(p) \cdot H_1(p)}{1 + H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot \left[H_5(p) + H_2(p) \cdot \left(H_1(p) \cdot [H_7(p)] + \frac{H_6(p)}{H_4(p)} \right) \right]}$$

$$\frac{S(p)}{E(p)} = \frac{H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot H_2(p) \cdot H_1(p)}{1 + H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot H_5(p) + H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot H_2(p) \cdot H_1(p) \cdot H_7(p) + H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot H_2(p) \cdot \frac{H_6(p)}{H_4(p)}}$$

$$\frac{S(p)}{E(p)} = \frac{H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot H_2(p) \cdot H_1(p)}{1 + H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot H_5(p) + H_4(p) \cdot H_3(p) \cdot H_2(p) \cdot H_1(p) \cdot H_7(p) + H_3(p) \cdot H_2(p) \cdot H_6(p)}$$

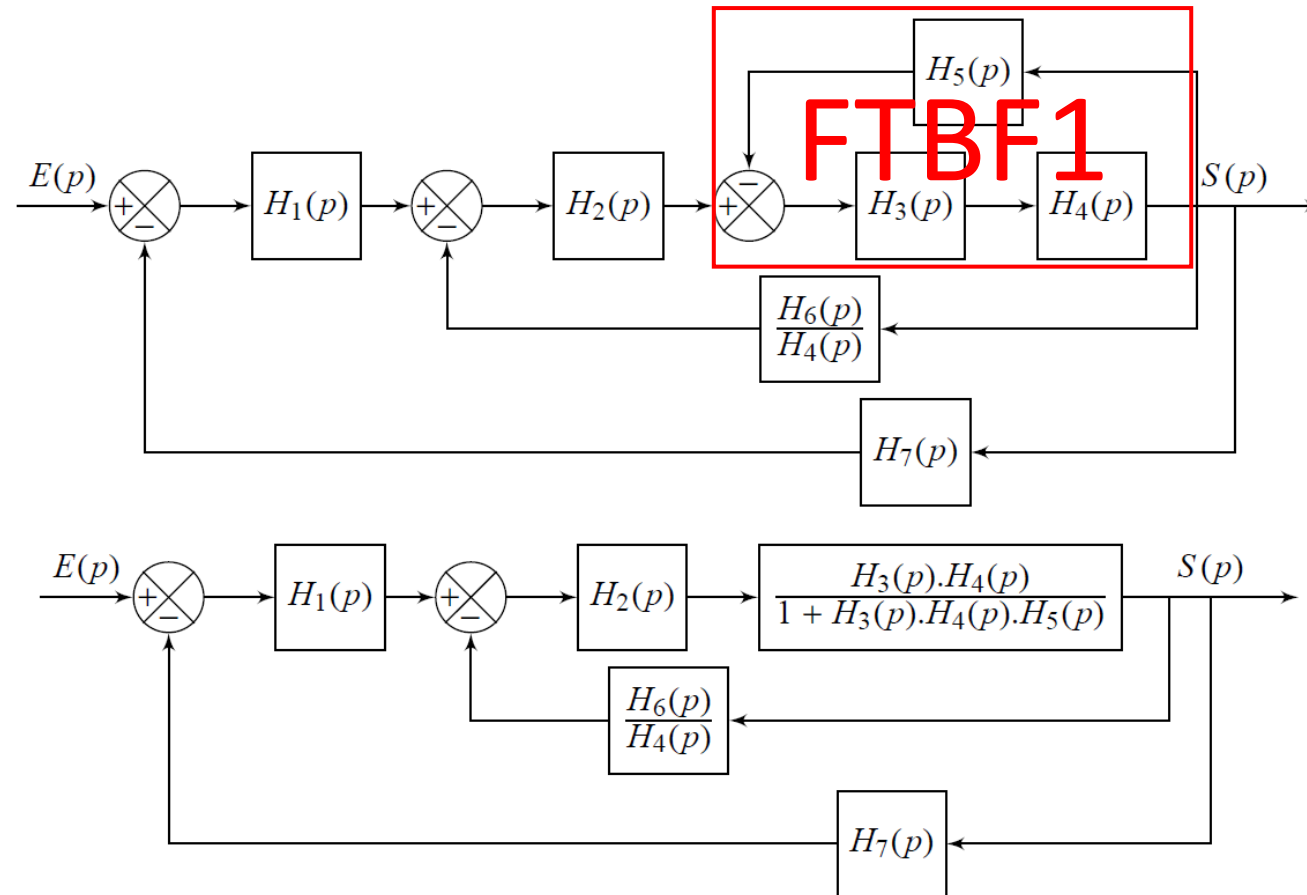
Méthodes de réduction de schéma blocs

Par modification des blocs et FTBF



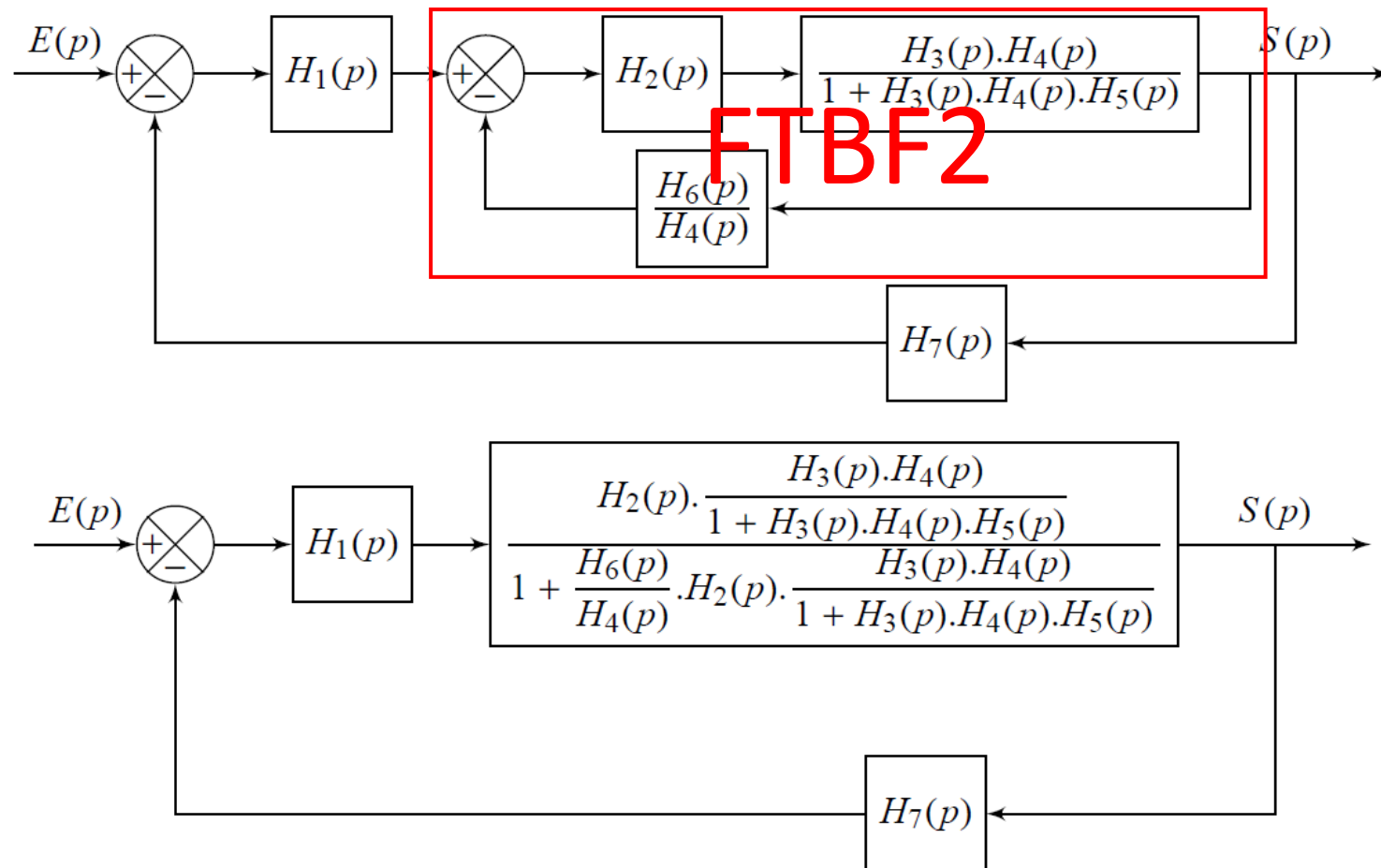
Méthodes de réduction de schéma blocs

Par modification des blocs et FTBF



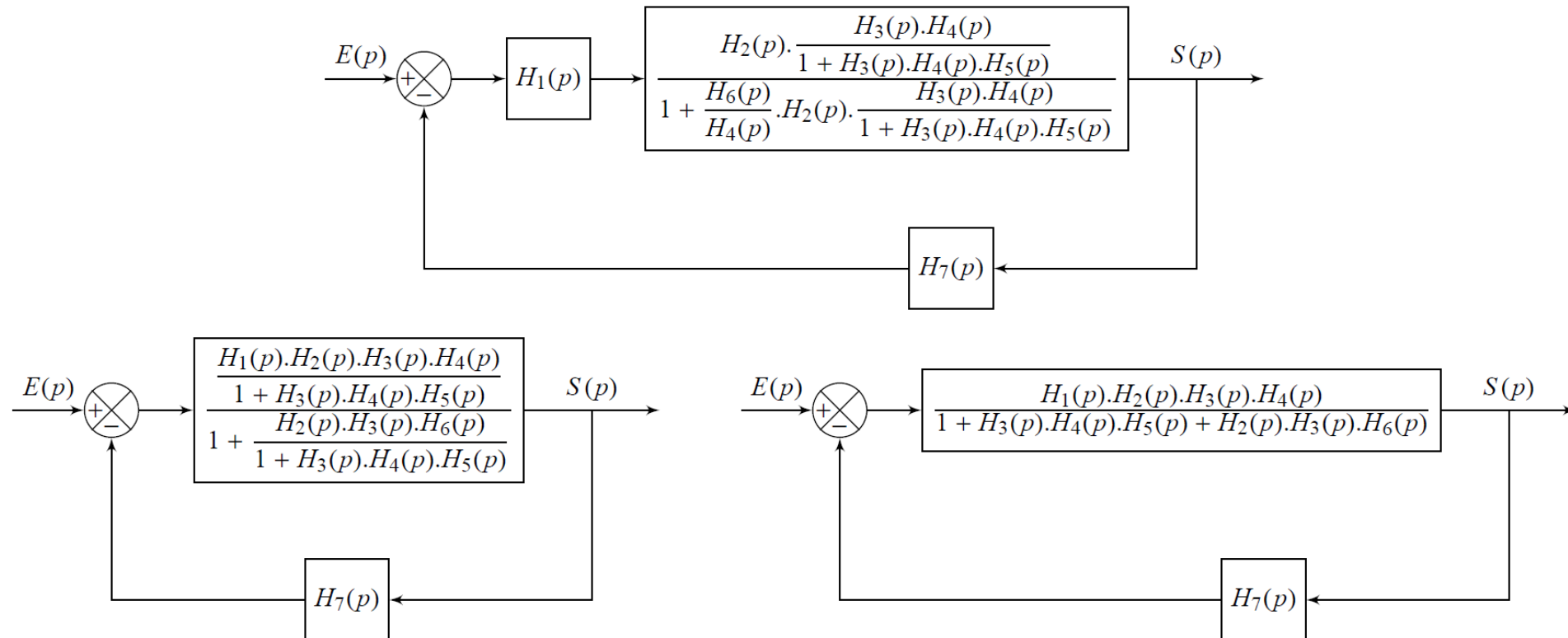
Méthodes de réduction de schéma blocs

Par modification des blocs et FTBF



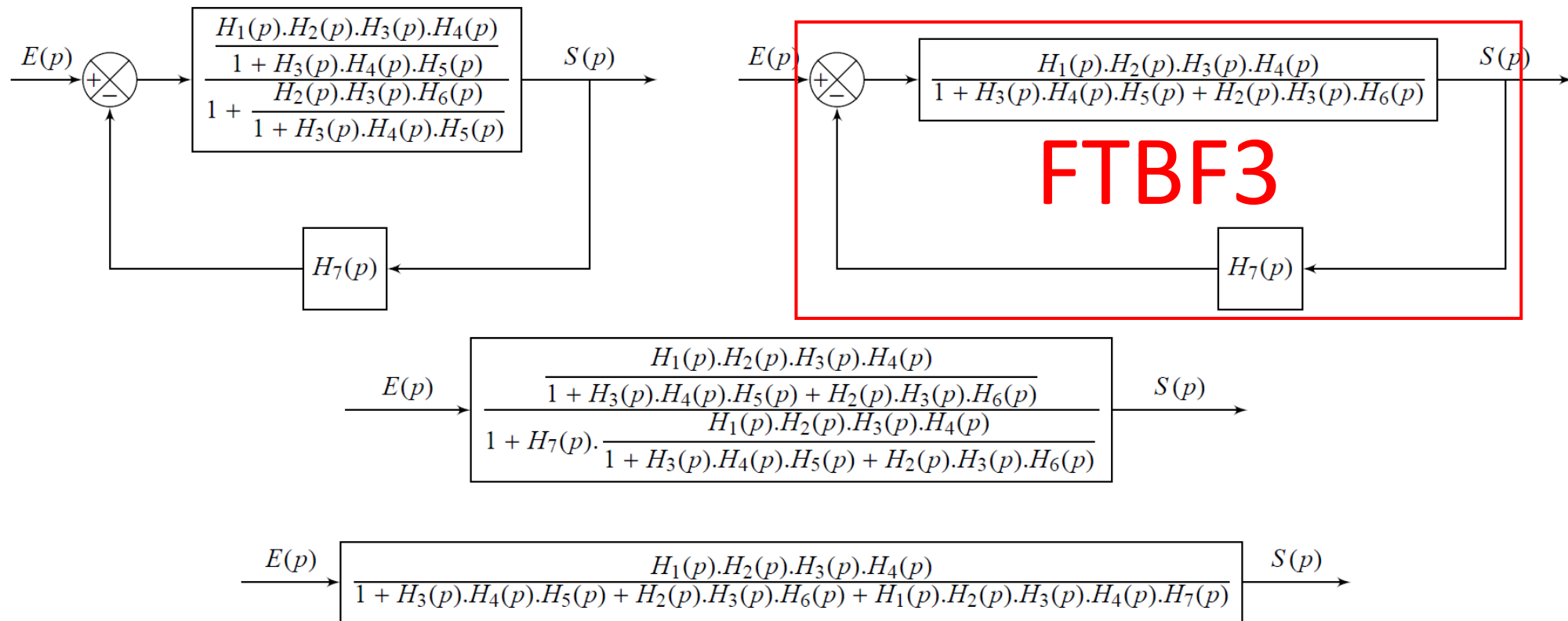
Méthodes de réduction de schéma blocs

Par modification des blocs et FTBF



Méthodes de réduction de schéma blocs

Par modification des blocs et FTBF



On comprend alors l'intérêt de connaître les formules de simplification de blocs par cœur (FTBF), ce qui fait gagner un temps considérable...