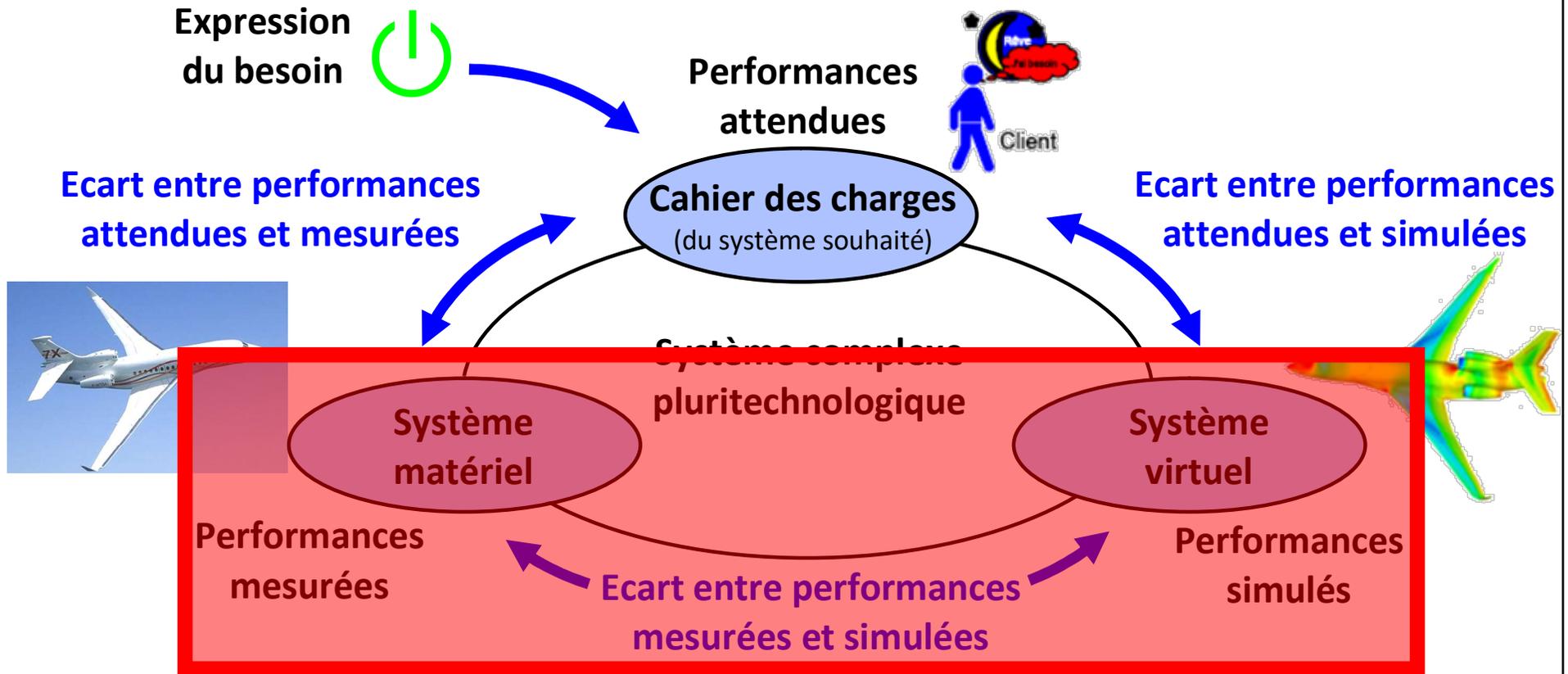
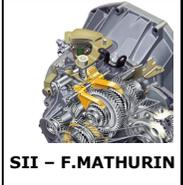


Rappel

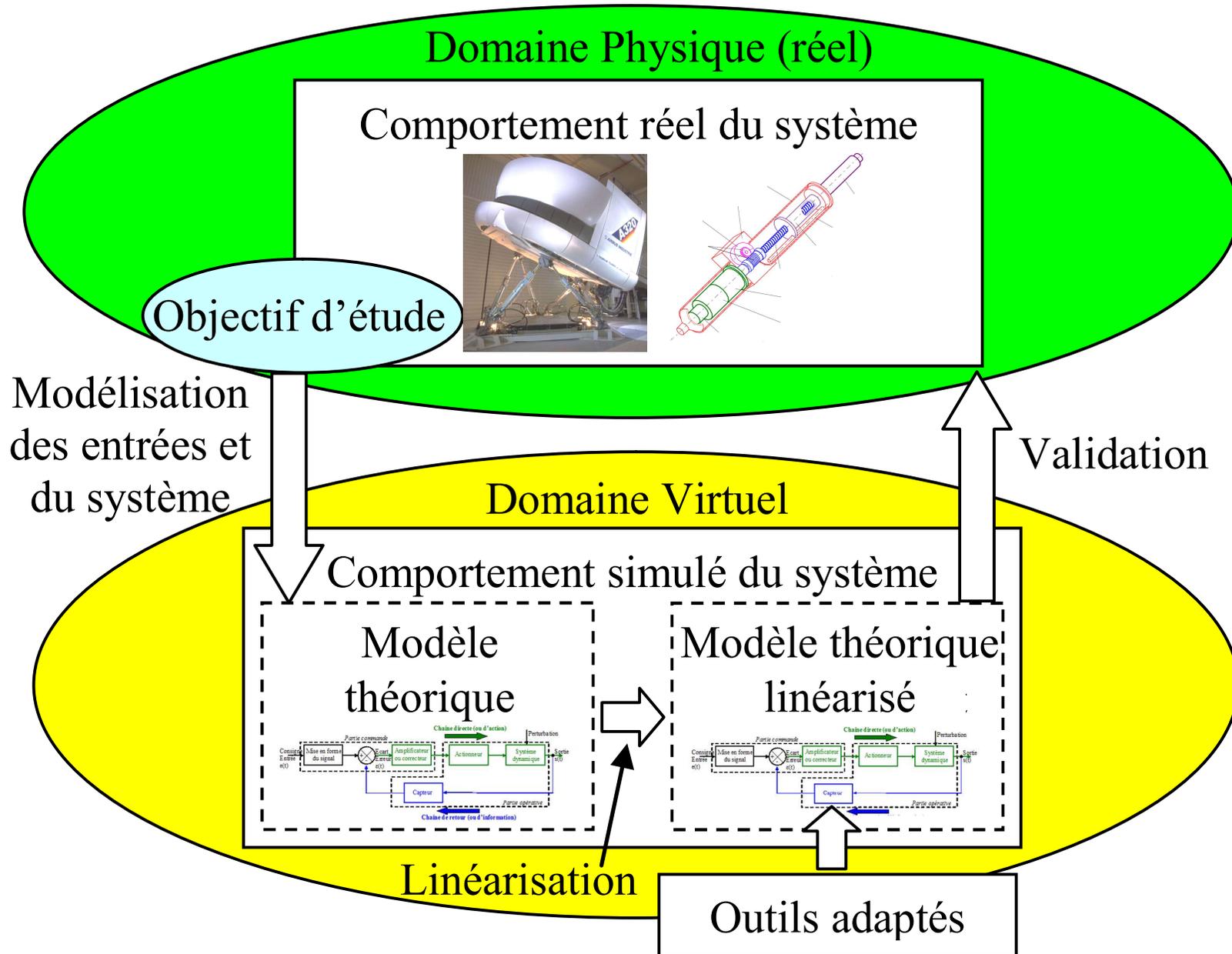


Passage du réel au modèle

Rappel



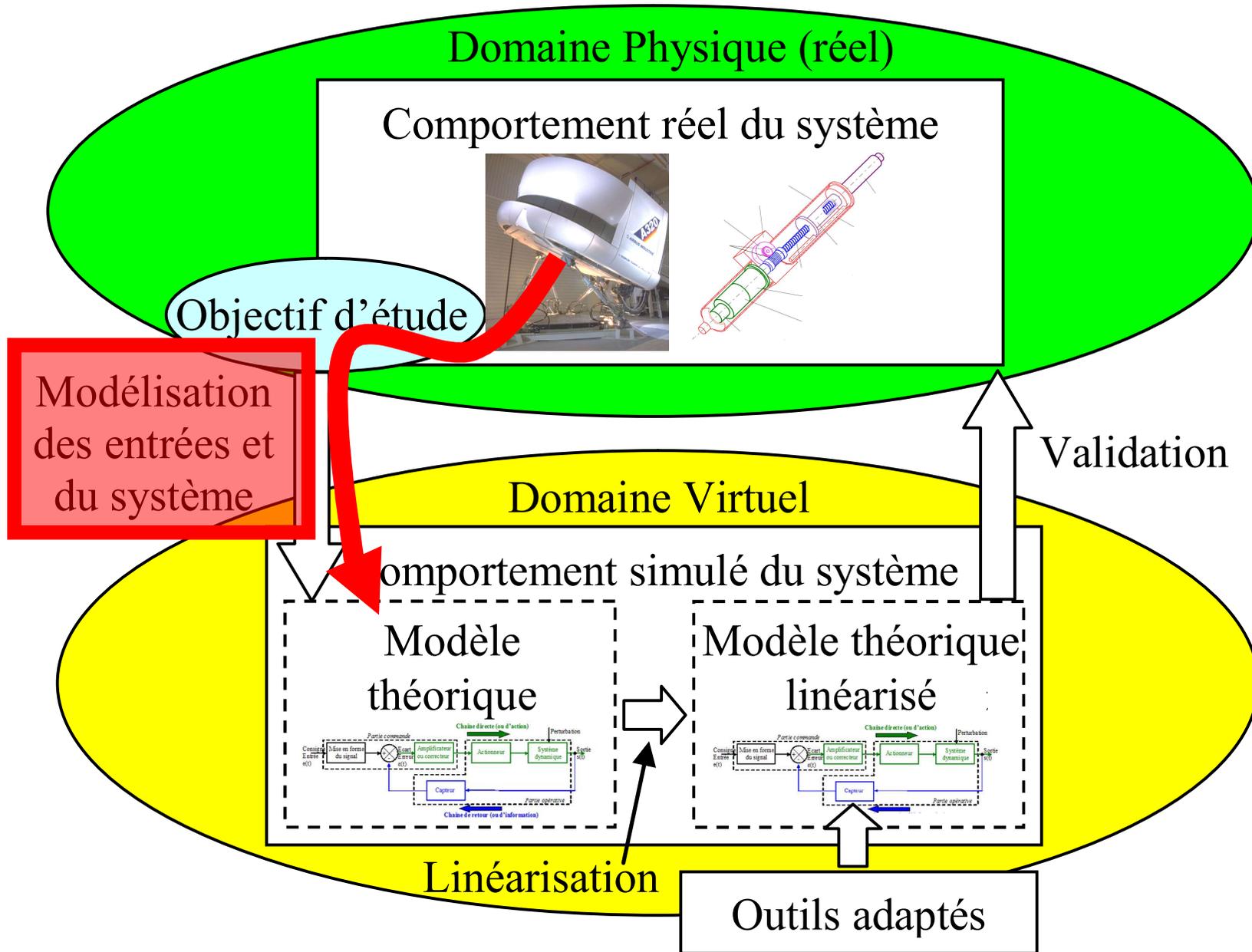
SII - F.MATHURIN



Rappel



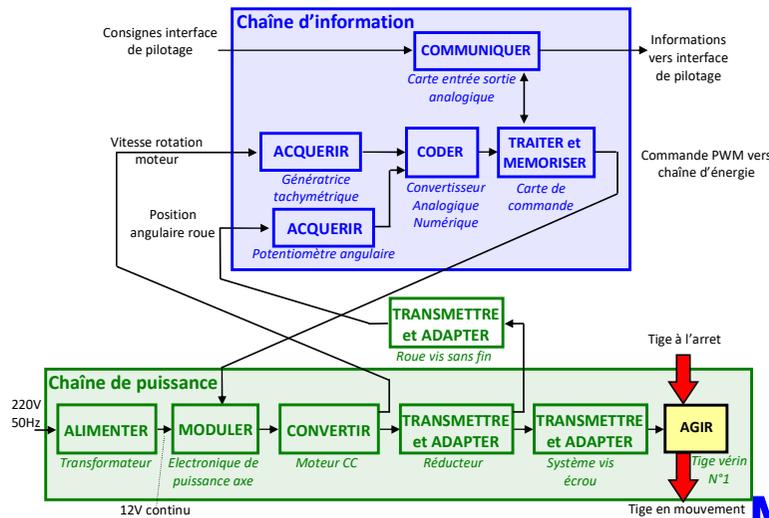
SII - F.MATHURIN



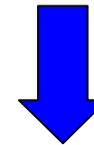


SII - F. MATHURIN

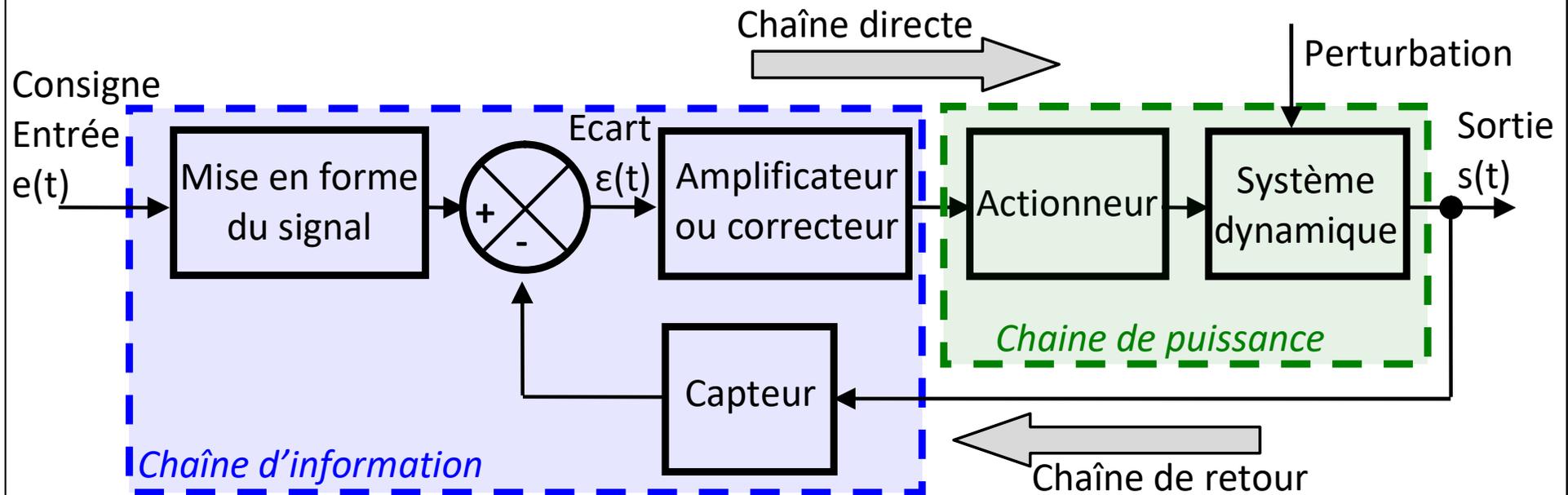
Rappel



Analyse structurelle



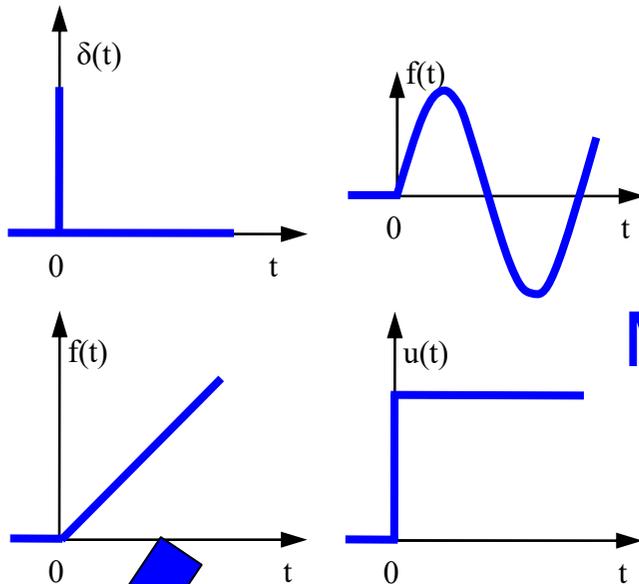
Modélisation en schéma-bloc fonctionnel



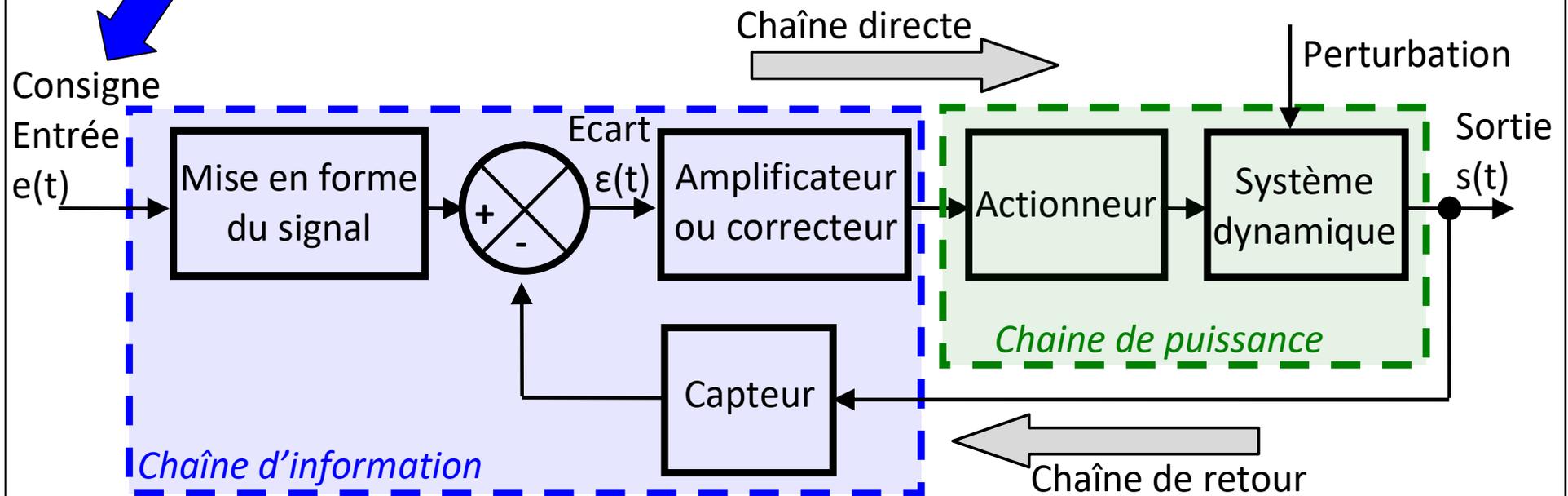
Rappel



SII - F.MATHURIN



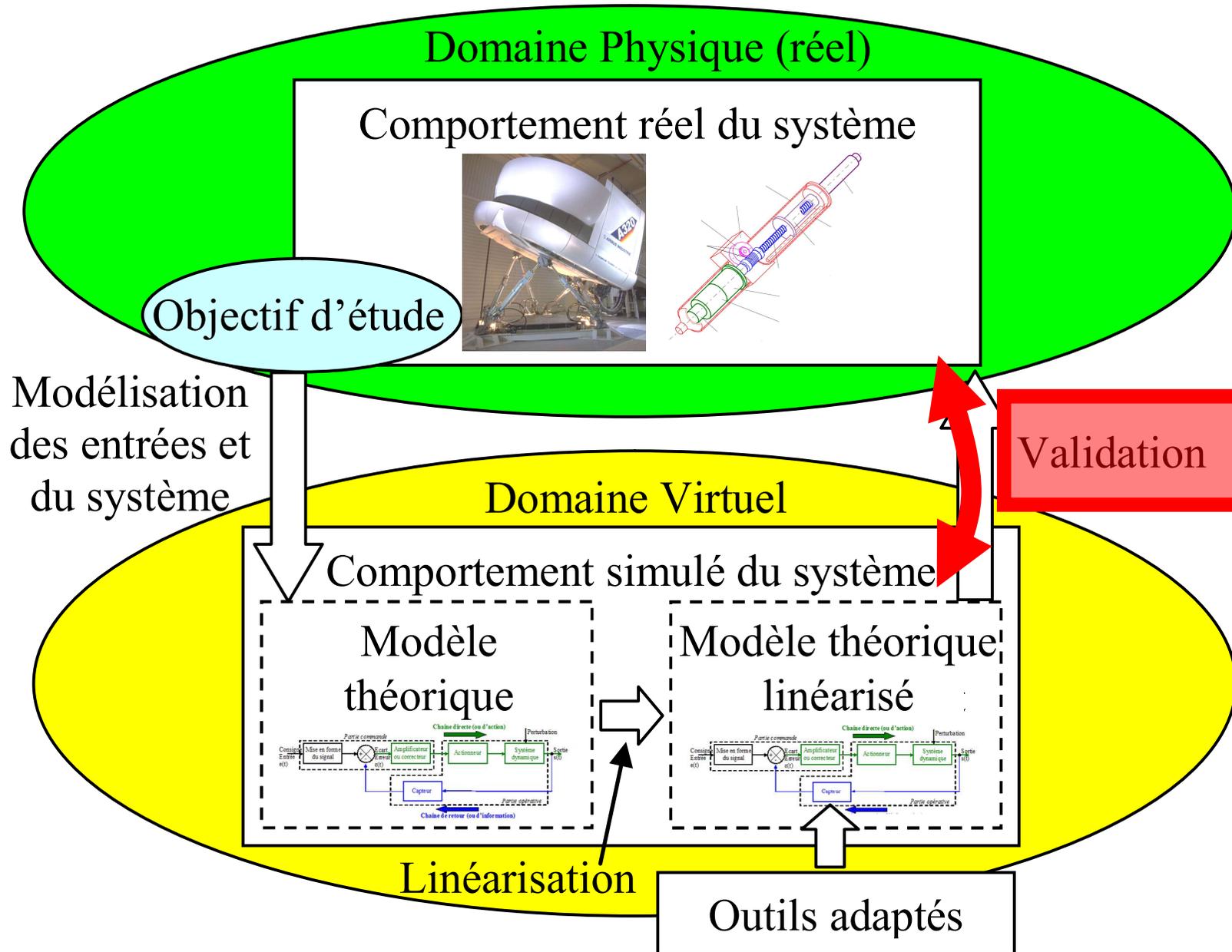
Modélisation des entrées



Rappel



SII - F.MATHURIN

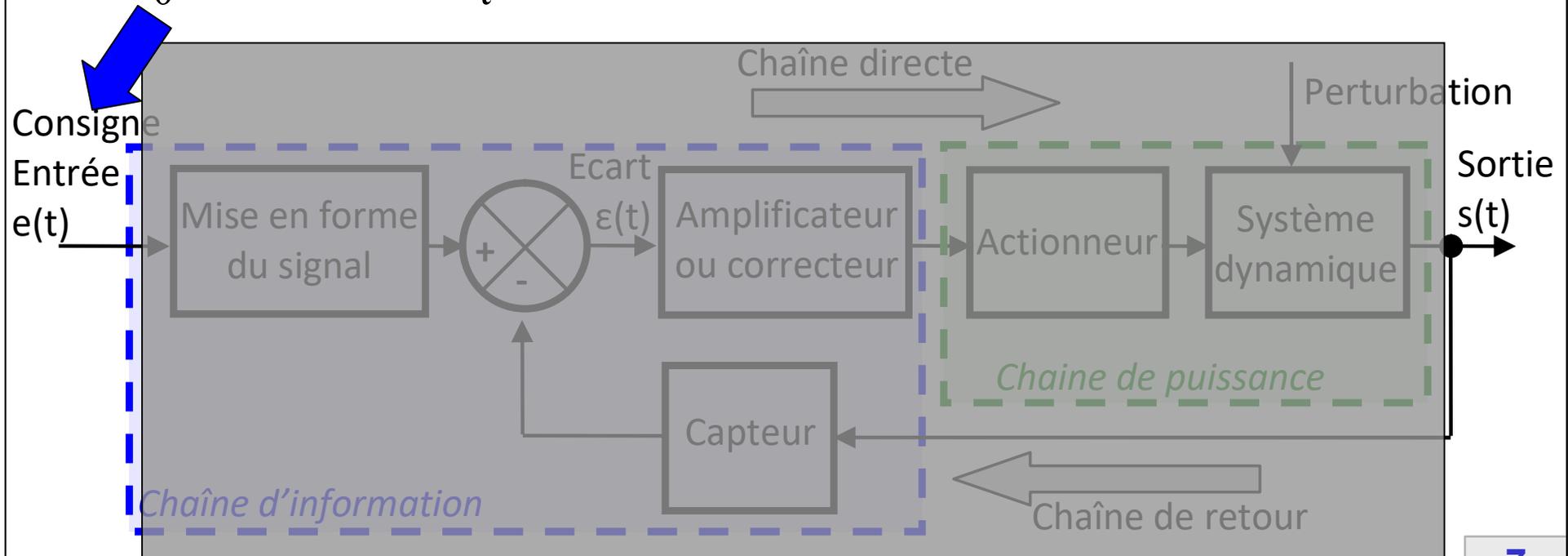
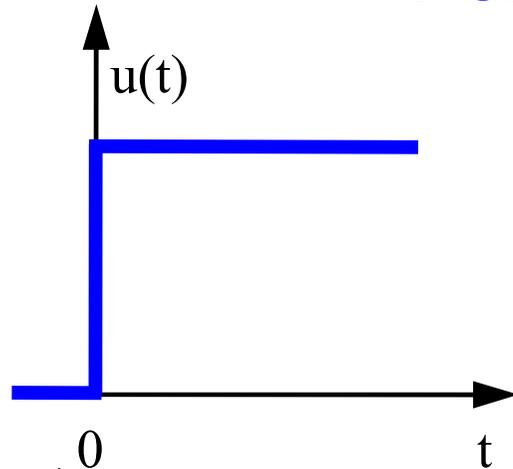


Rappel



SII - F.MATHURIN

Performances en sortie ?

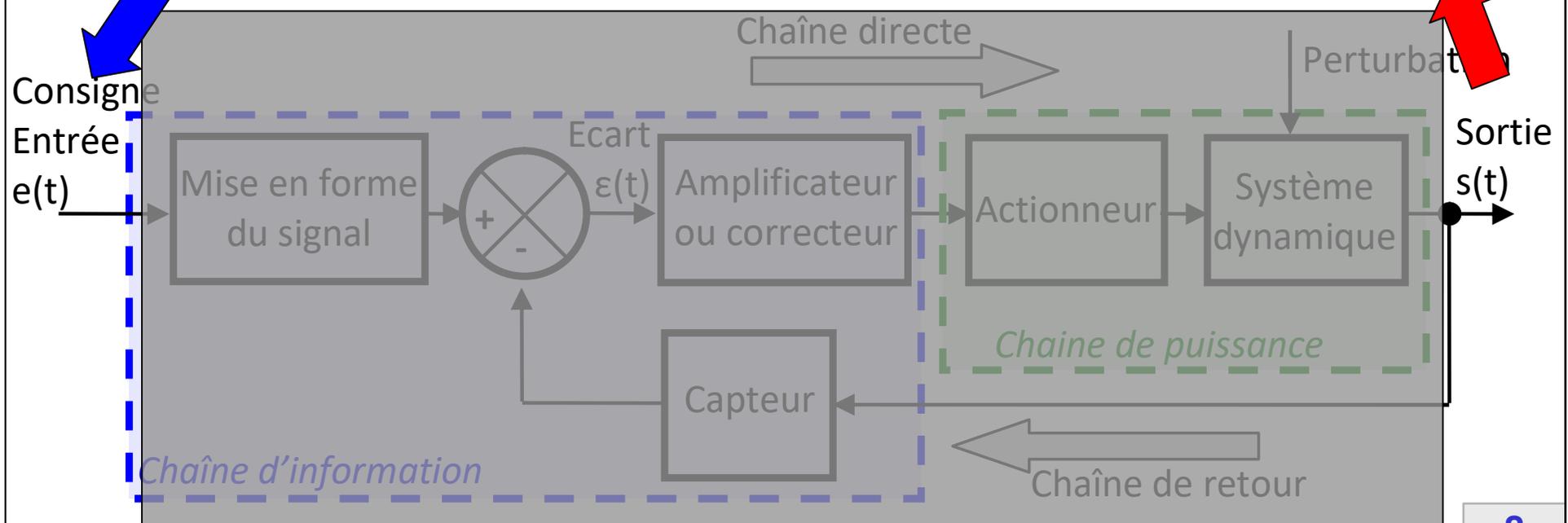
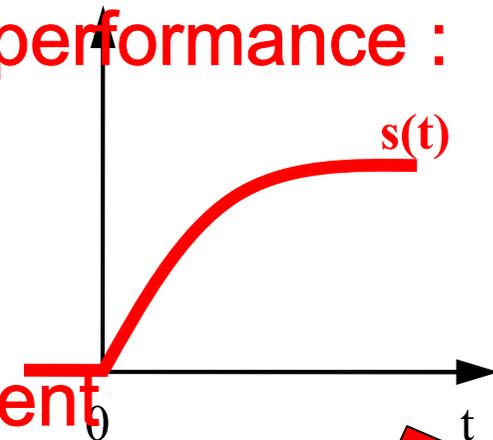
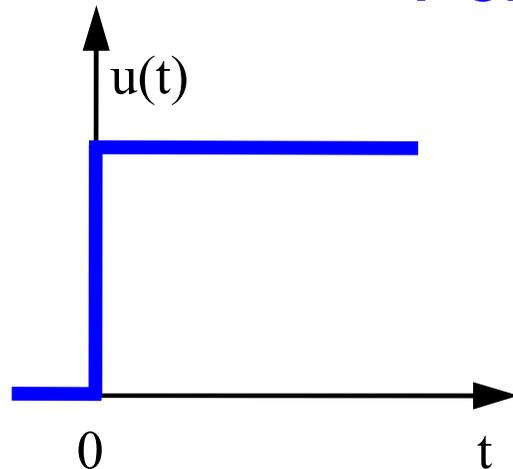


Rappel



Performances en sortie ?

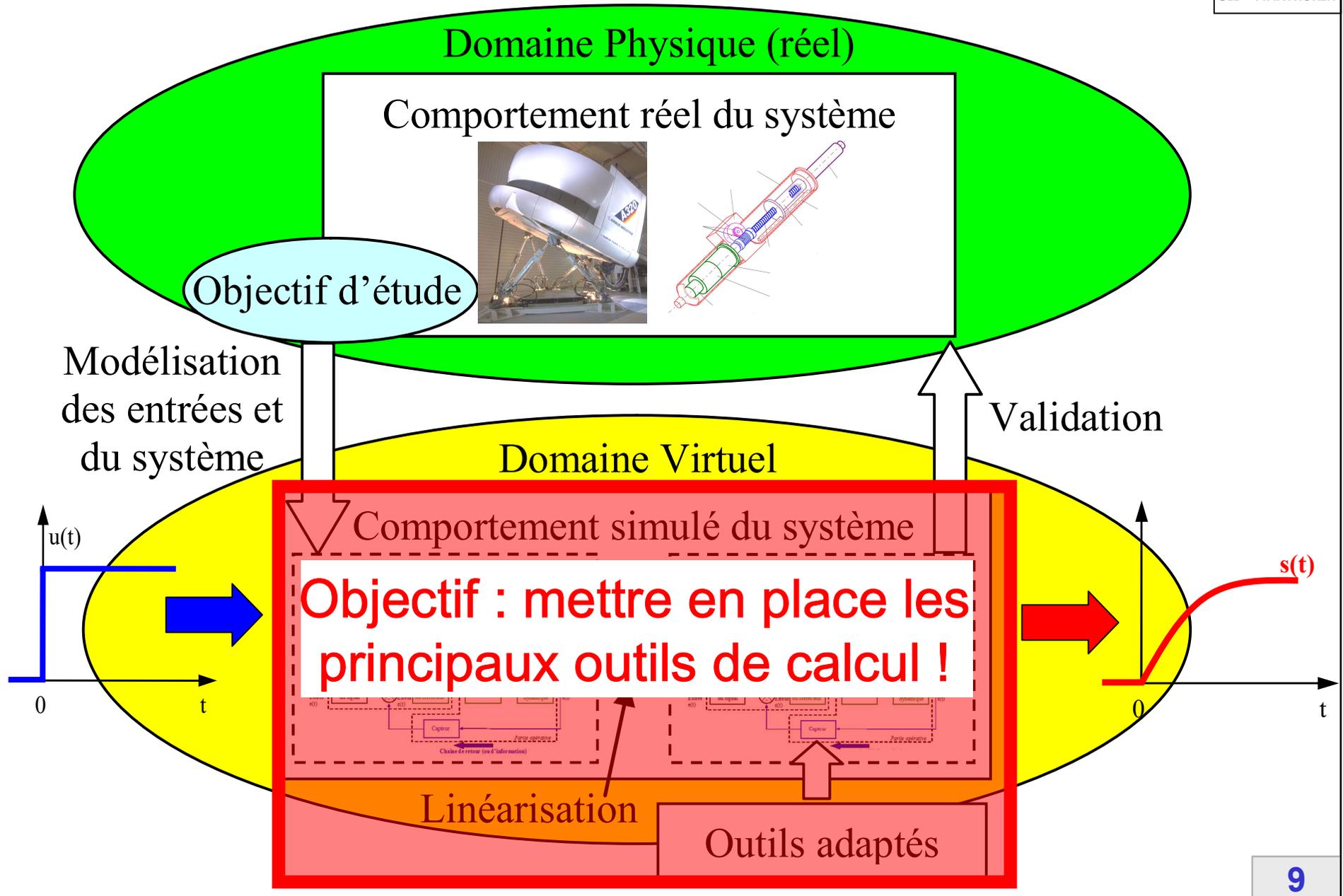
- 4 critères de performance :
- Stabilité
 - Rapidité
 - Précision
 - Amortissement



Aujourd'hui ?



SII - F.MATHURIN





- 1. Hypothèses de modélisation des SLCI**
- 2. Les principaux modèles comportementaux**
- 3. Modèle comportemental général des SLCI et démarche de résolution de l'équation différentielle**
- 4. Calcul symbolique – Transformée de Laplace et transformée inverse**
- 5. Représentation des SLCI par fonction de transfert**



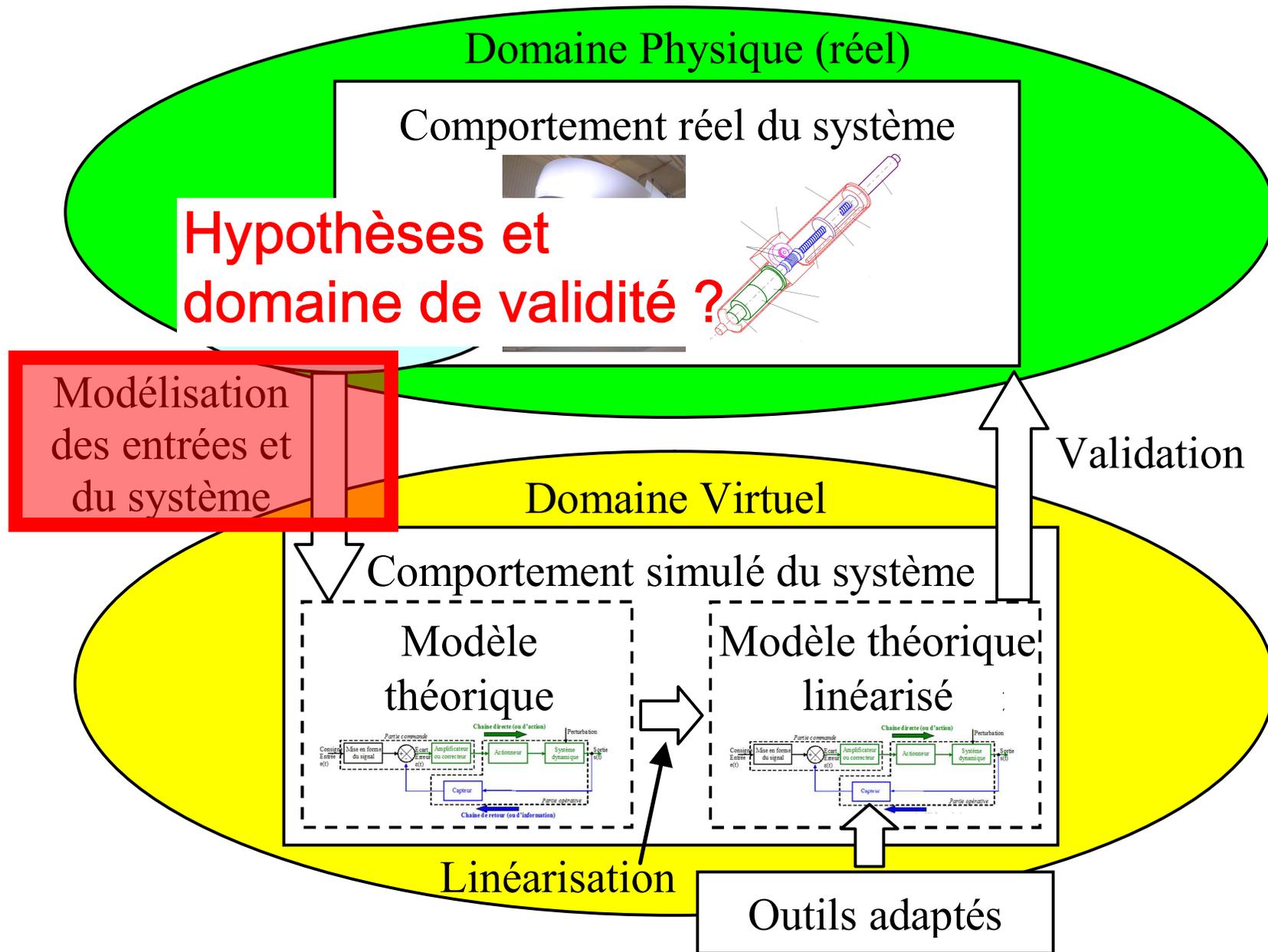
1. Hypothèses de modélisation des SLCI

2. Les principaux modèles comportementaux
3. Modèle comportemental général des SLCI et démarche de résolution de l'équation différentielle
4. Calcul symbolique – Transformée de Laplace et transformée inverse
5. Représentation des SLCI par fonction de transfert

1. Hypothèses de modélisation des SLCI



SII - F.MATHURIN



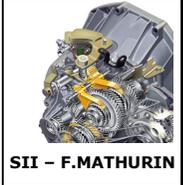
1. Hypothèses de modélisation des SLCI



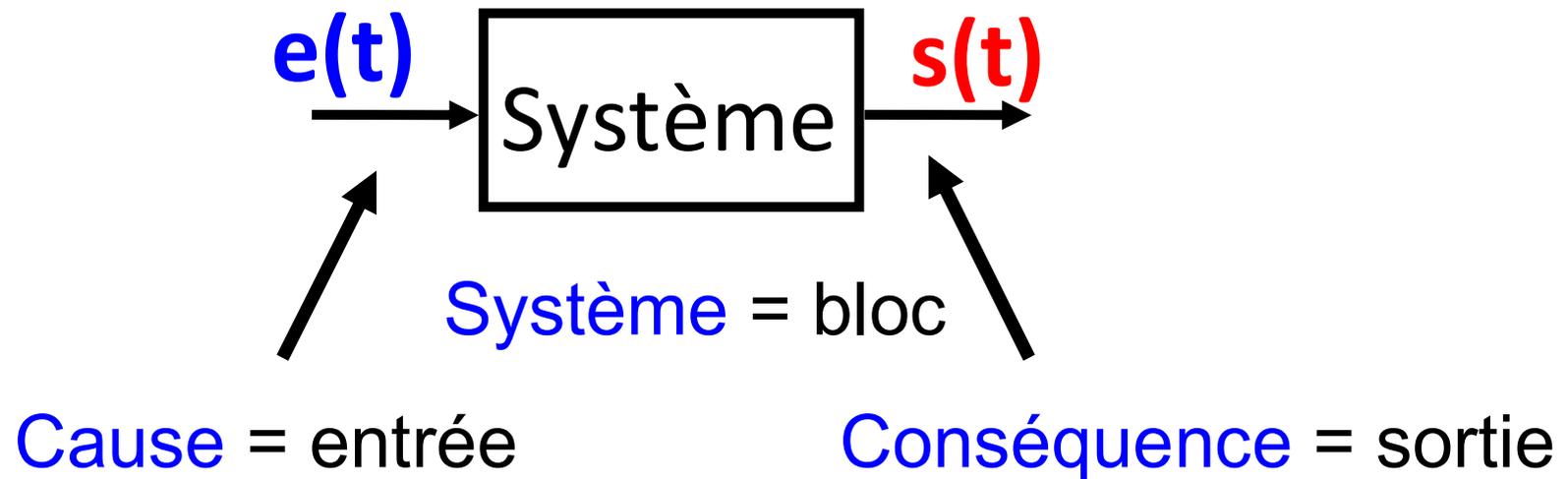
SII - F.MATHURIN

SLCI = **S**ystème **L**inéaire **C**ontinu **I**nvariant

1. Hypothèses de modélisation des SLCI



SLCI = **S**ystème **L**inéaire **C**ontinu **I**nvariant

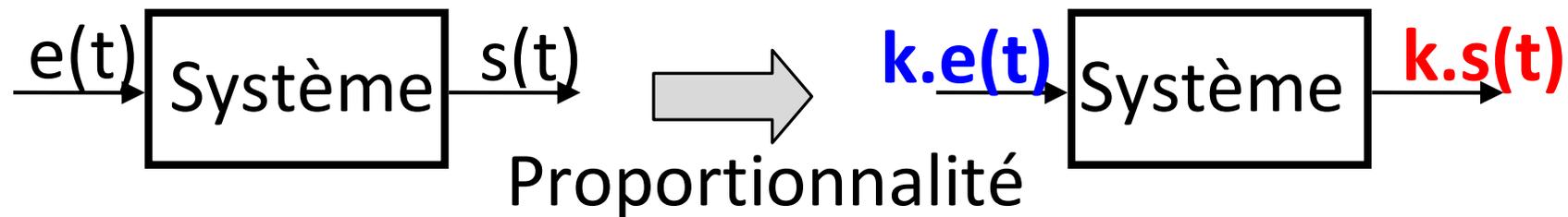


1. Hypothèses de modélisation des SLCI



SII - F.MATHURIN

SLCI = Système Linéaire Continu Invariant

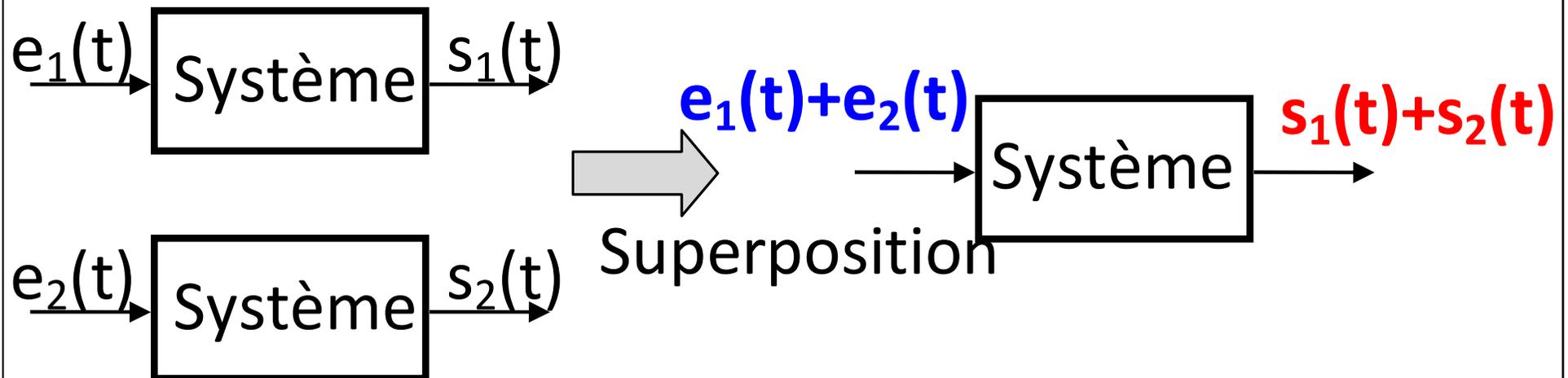
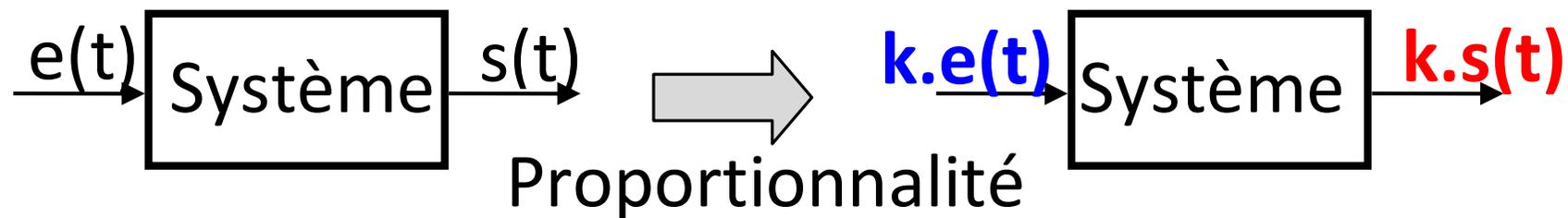


1. Hypothèses de modélisation des SLCI

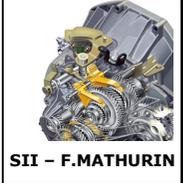


SII - F.MATHURIN

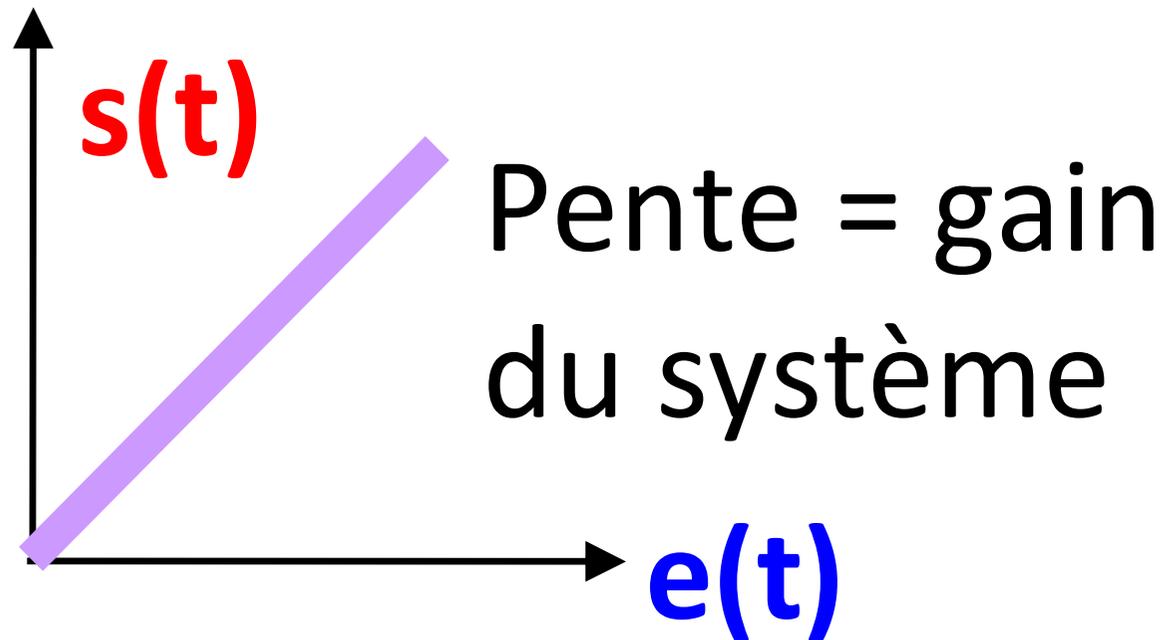
SLCI = Système **Linéaire** Continu Invariant



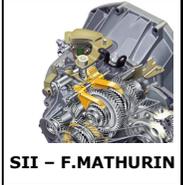
1. Hypothèses de modélisation des SLCI



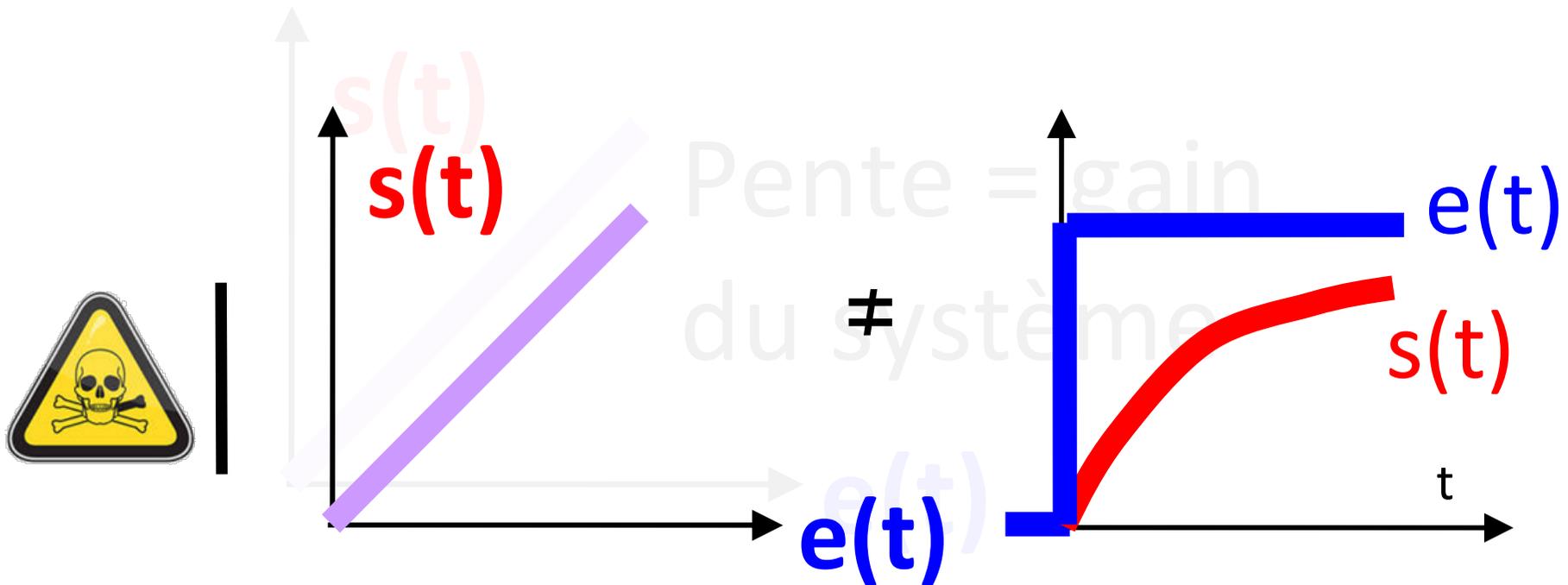
SLCI = Système **Linéaire** Continu Invariant



1. Hypothèses de modélisation des SLCI

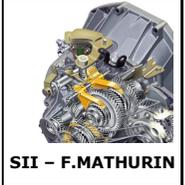


SLCI = Système **Linéaire** Continu Invariant



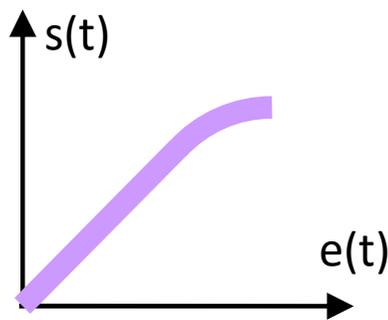
Courbe sortie fonction de l'entrée \neq courbe sortie fonction du temps qui, elle, est très souvent non-linéaire.

1. Hypothèses de modélisation des SLCI



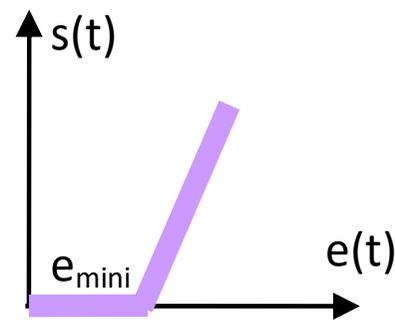
SLCI = Système **Linéaire** Continu Invariant

Aucun système n'est parfaitement linéaire. La caractéristique entrée sortie comporte toujours des non linéarités



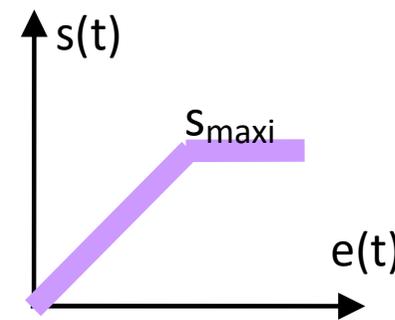
Courbure

Exemple : saturation amplificateur



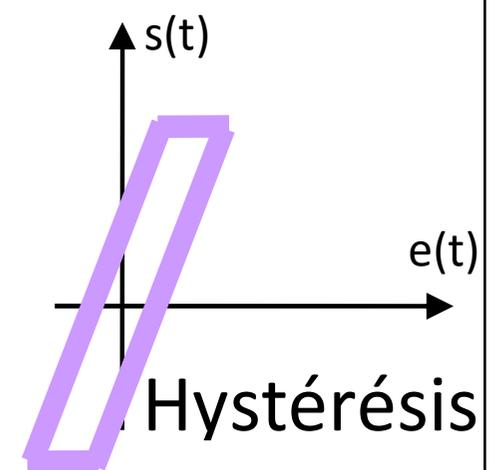
Seuil

Exemple : frottement



Saturation

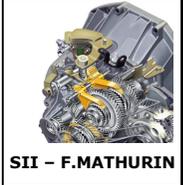
Exemple : butée mécanique



Hystérésis

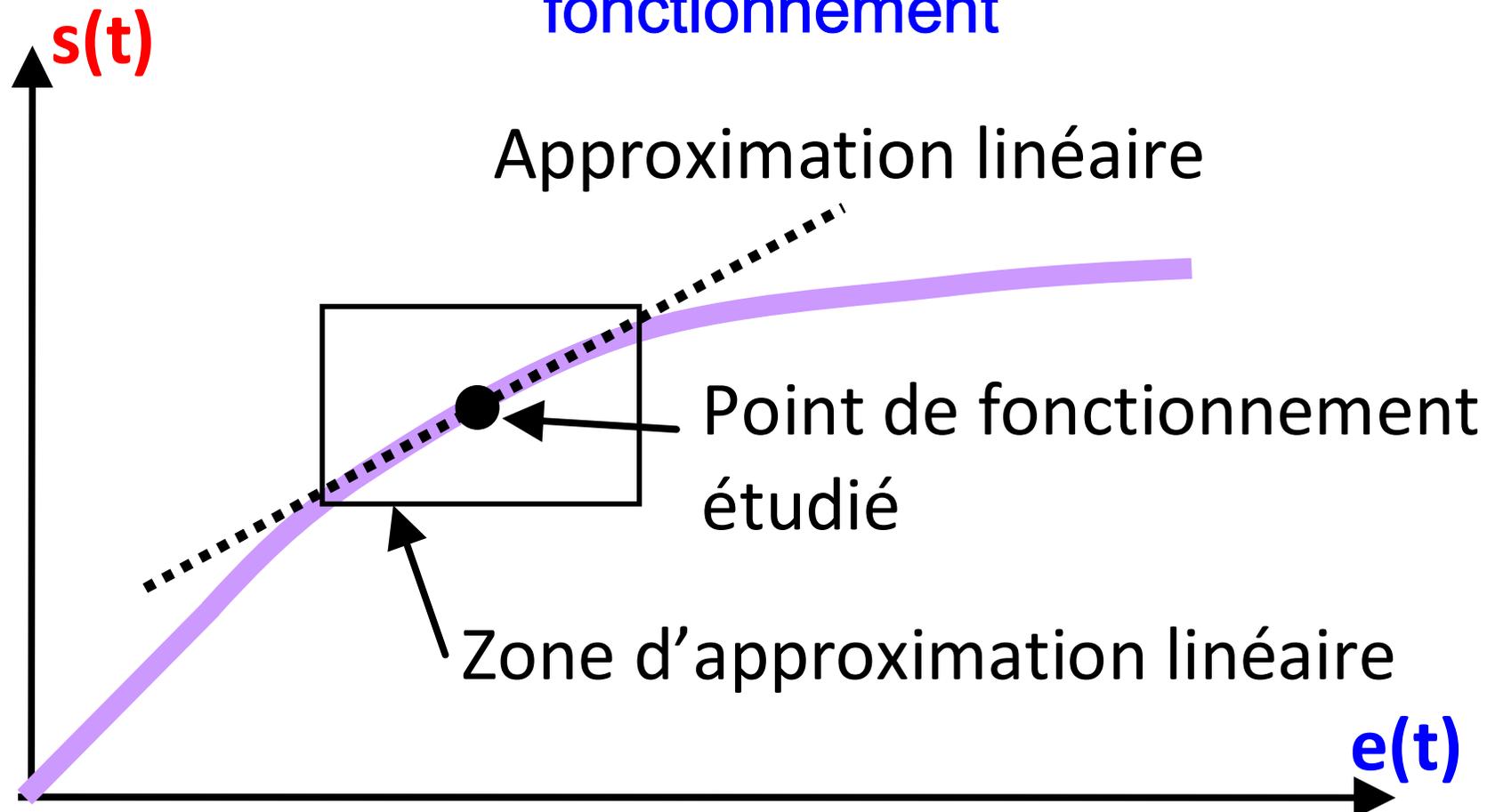
Exemple : jeux mécaniques

1. Hypothèses de modélisation des SLCI



SLCI = Système **Linéaire** Continu Invariant

Notion de linéarisation autour d'un point de fonctionnement

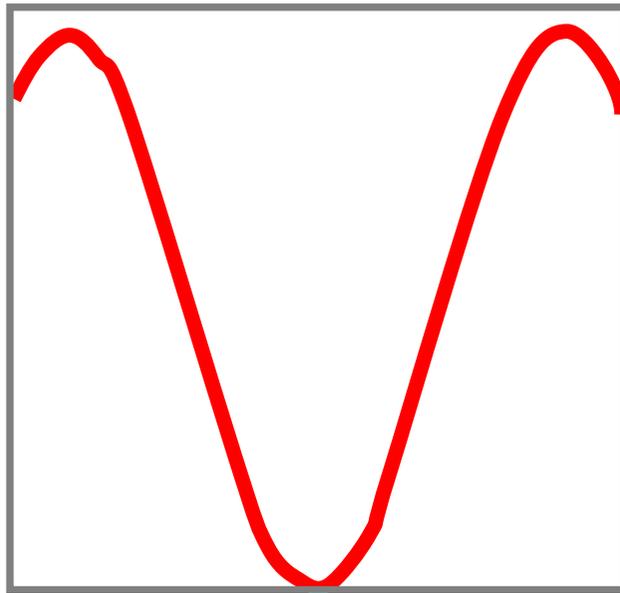


1. Hypothèses de modélisation des SLCI



SLCI = Système Linéaire Continu Invariant

Continu → signal analogique



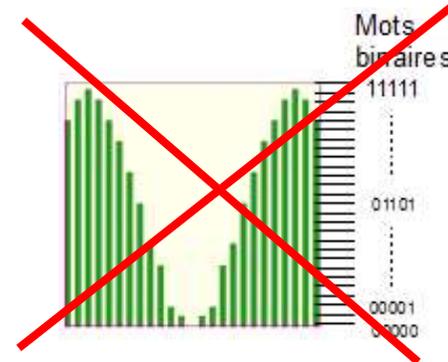
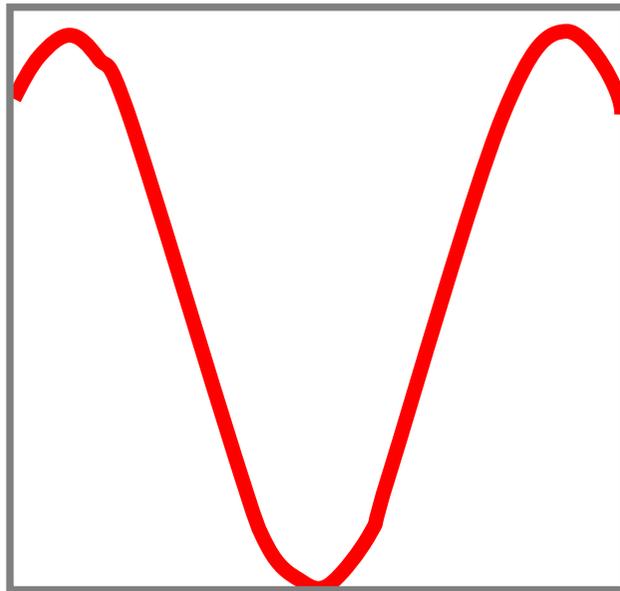
1. Hypothèses de modélisation des SLCI



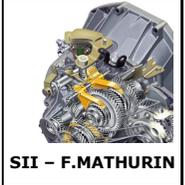
SII - F. MATHURIN

SLCI = Système Linéaire Continu Invariant

Continu → signal analogique

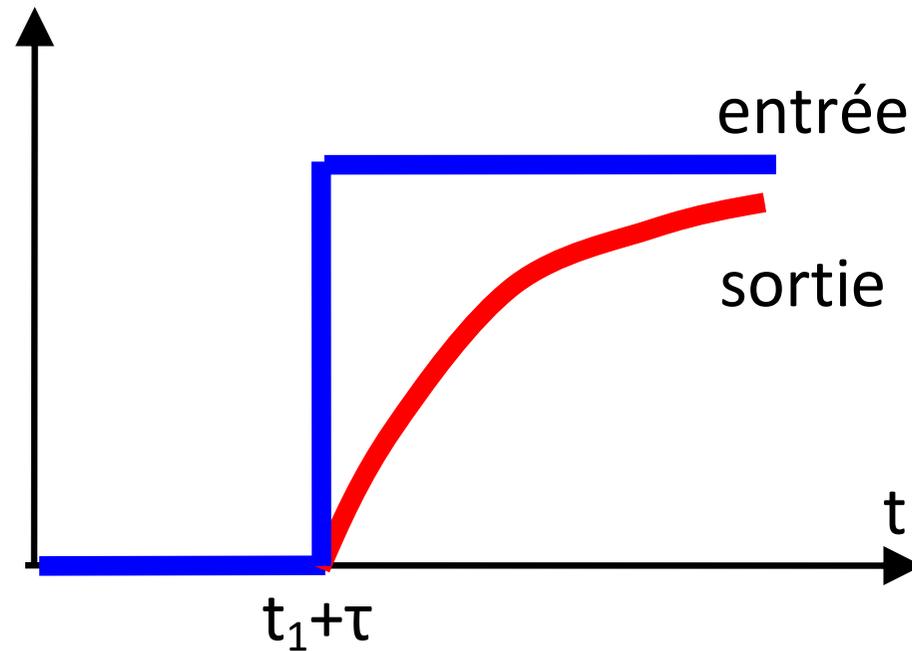
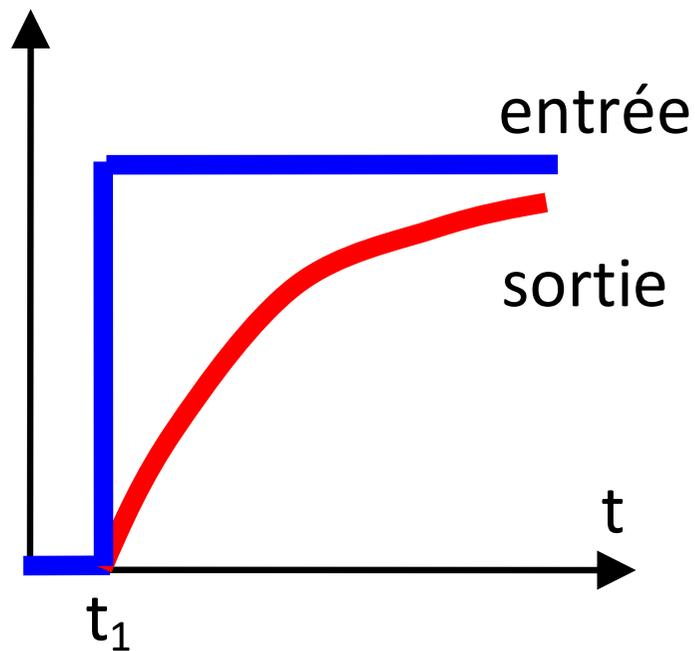


1. Hypothèses de modélisation des SLCI



SLCI = Système Linéaire Continu Invariant

Invariant → « le système ne vieillit pas »





1. Hypothèses de modélisation des SLCI

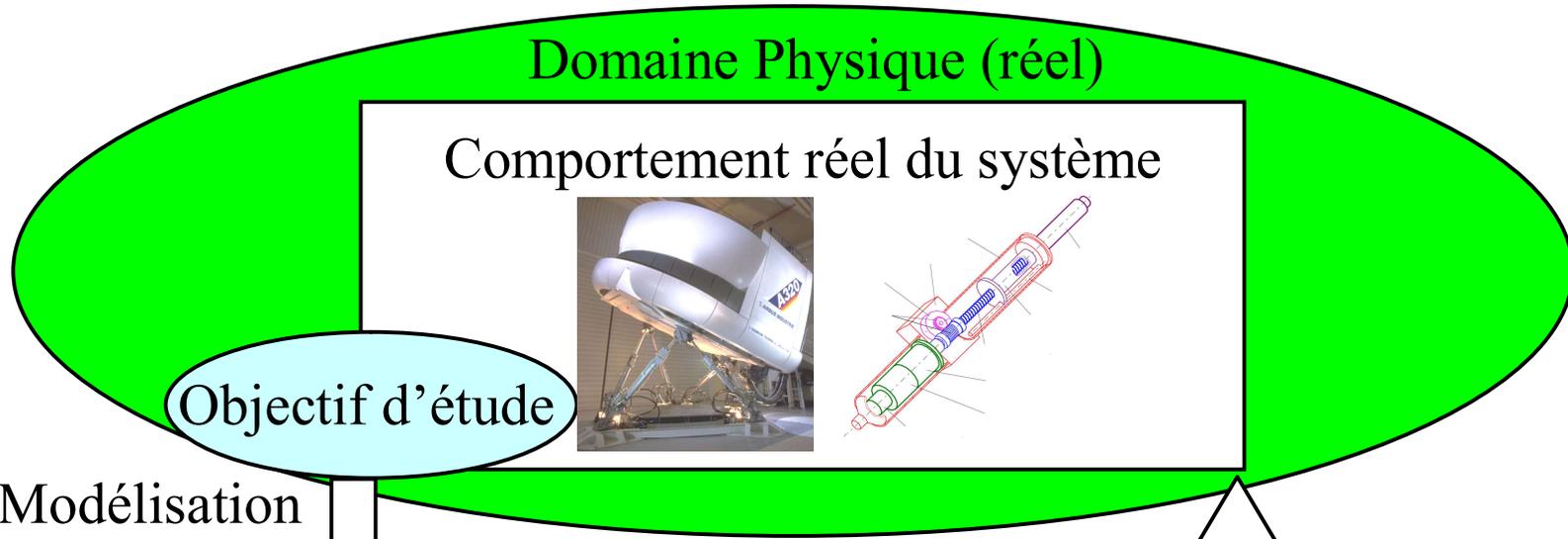
2. Les principaux modèles comportementaux

3. Modèle de comportemental général des SLCI et démarche de résolution de l'équation différentielle

4. Calcul symbolique – Transformée de Laplace et transformée inverse

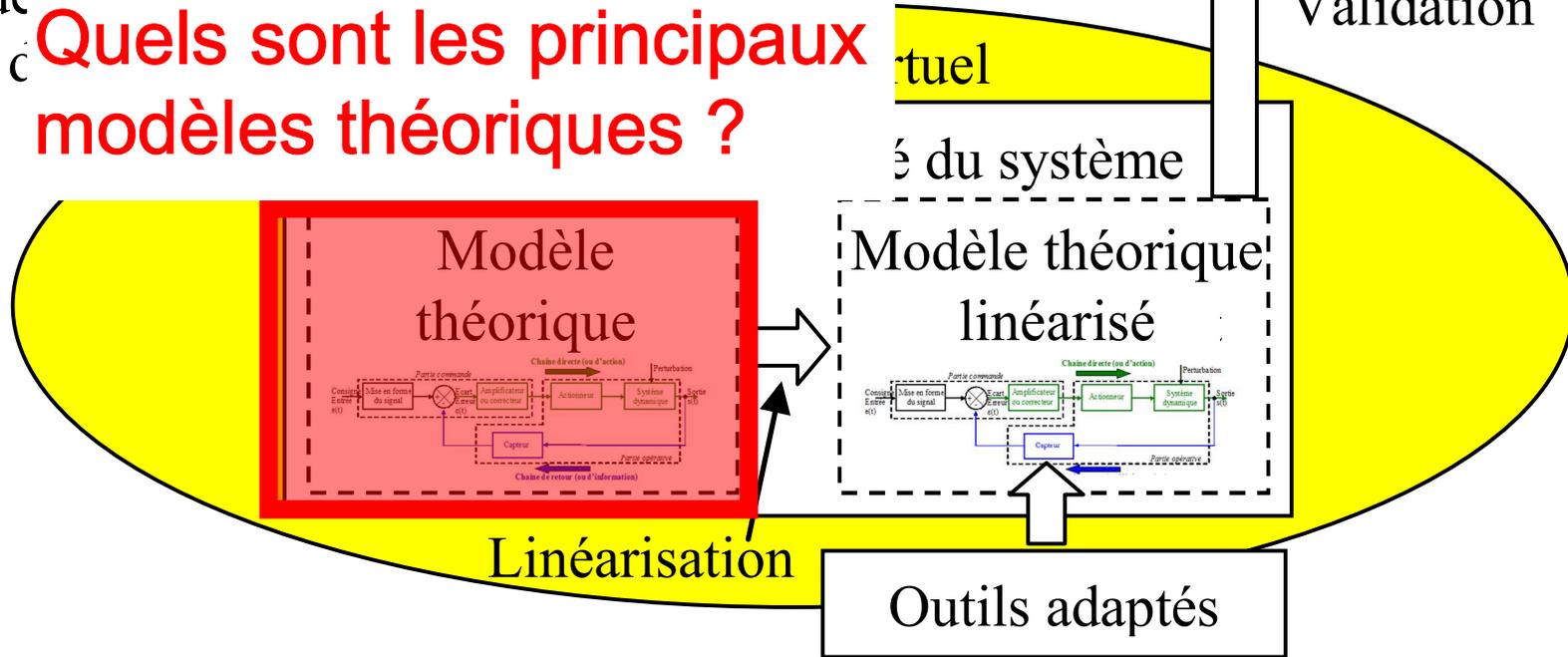
5. Représentation des SLCI par fonction de transfert

2. Les principaux modèles comportementaux



Modélisation
des entrées et
des sorties

Quels sont les principaux modèles théoriques ?



2. Les principaux modèles comportementaux

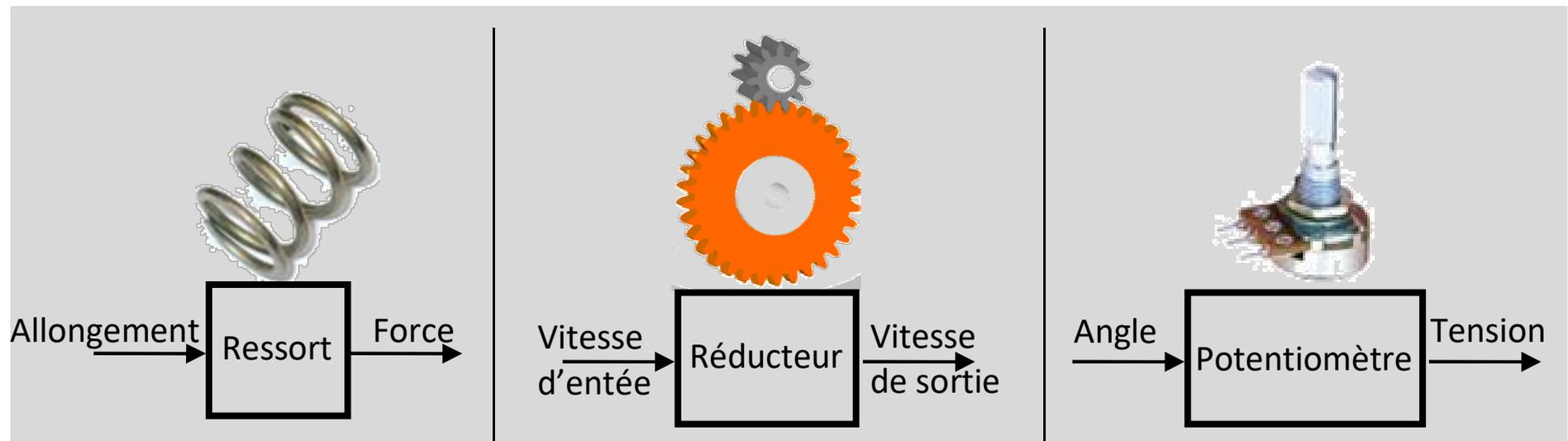


SII - F.MATHURIN

Modèles comportementaux des systèmes les + simples

Système modélisable par un **gain pur**.

$$s(t) = K.e(t) \quad K : \text{gain du système}$$



2. Les principaux modèles comportementaux

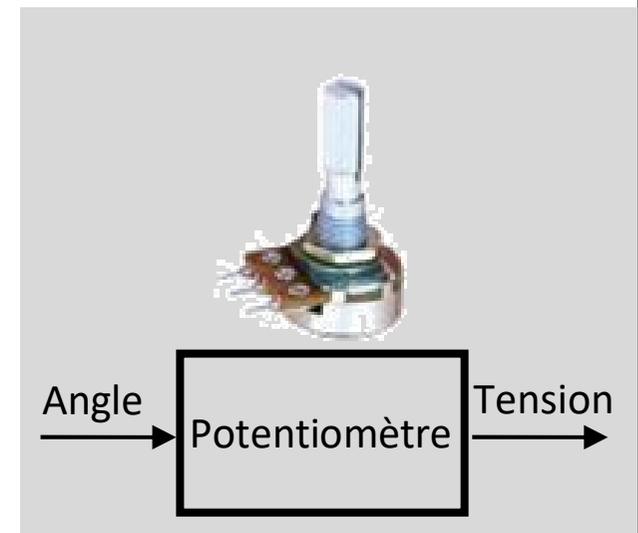
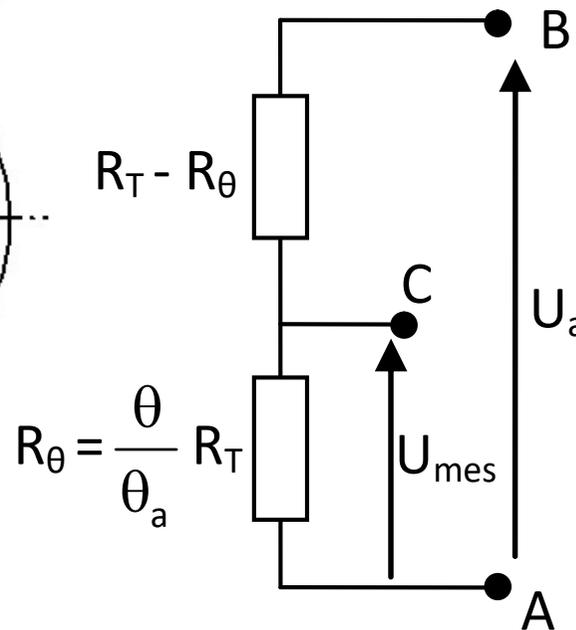
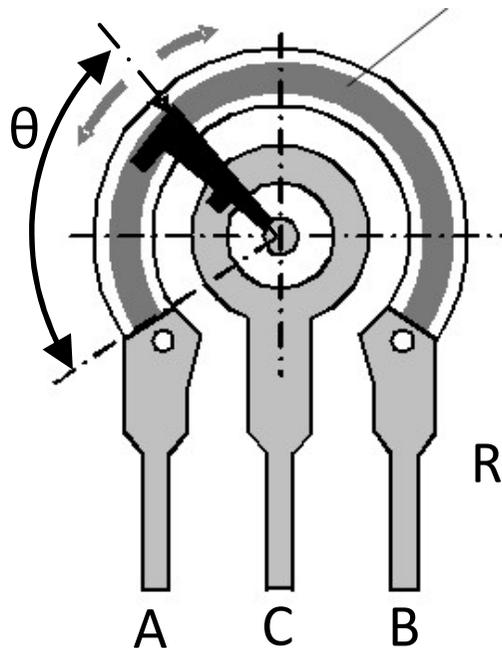


SII - F. MATHURIN

Modèles comportementaux des systèmes les + simples

Systeme modélisable par un **gain pur**.

$$s(t) = K.e(t) \quad K : \text{gain du système}$$



2. Les principaux modèles comportementaux



SII - F.MATHURIN

Modèles comportementaux des systèmes les + simples

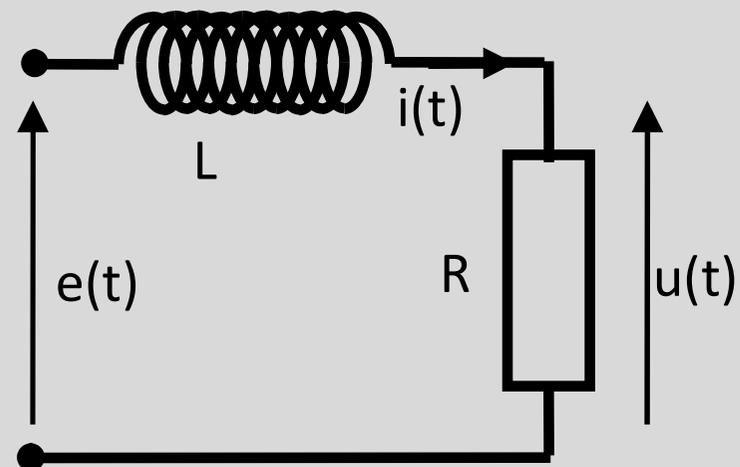
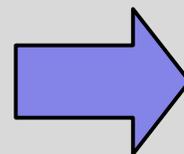
Système modélisable par un 1^{er} ordre.

$$\tau \cdot \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = K \cdot e(t)$$

K : gain statique du système.
 τ : constante de temps.



Réal



Modèle

2. Les principaux modèles comportementaux



SII - F.MATHURIN

Modèles comportementaux des systèmes les + simples

Systeme modélisable par un 2^{ème} ordre.

$$\frac{1}{\omega_0^2} \cdot \frac{d^2s(t)}{dt^2} + 2 \frac{z}{\omega_0} \cdot \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = K \cdot e(t)$$

K est le **gain statique du système**.

z est le **coefficient d'amortissement** ($z > 0$).

ω_0 est la **pulsation propre non amortie du système** ($\omega_0 > 0$).

2. Les principaux modèles comportementaux



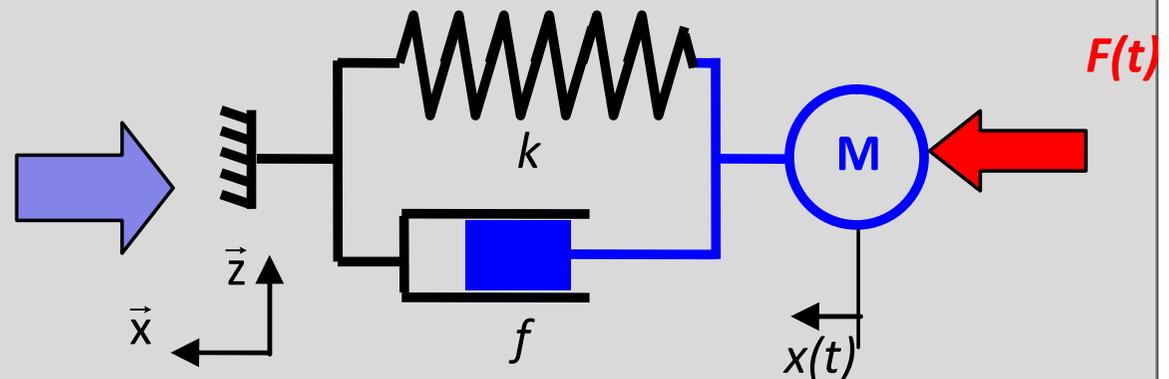
SII - F. MATHURIN

Modèles de comportement des systèmes les + simples

Système modélisable par un 2^{ème} ordre.



Réel : Système d'amortissement d'un quad



Modèle : Schéma de modélisation du système masse-ressort-amortisseur

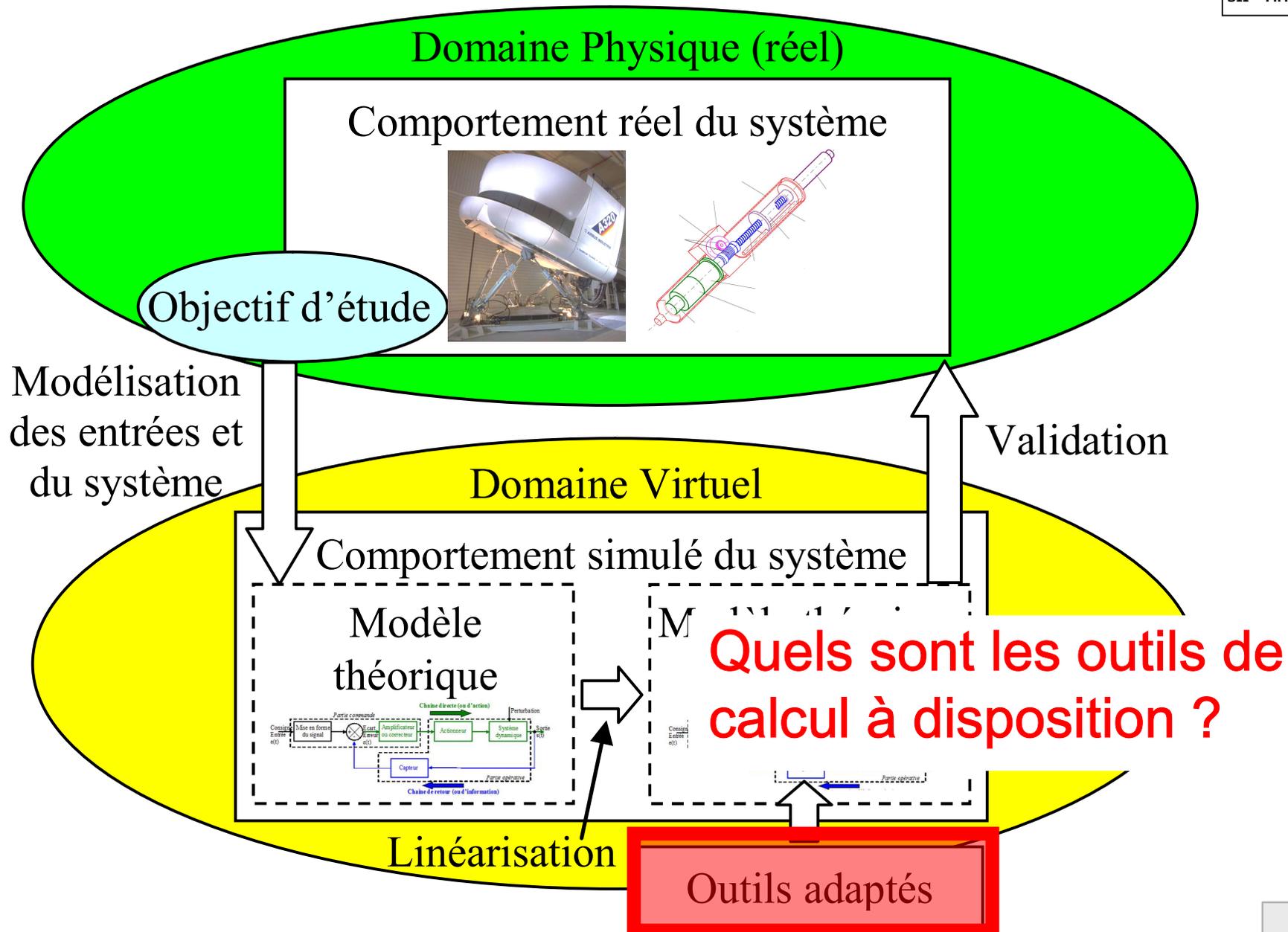


1. Hypothèses de modélisation des SLCI
2. Les principaux modèles comportementaux
- 3. Modèle comportemental général des SLCI et démarche de résolution de l'équation différentielle**
4. Calcul symbolique – Transformée de Laplace et transformée inverse
5. Représentation des SLCI par fonction de transfert

1. Hypothèses de modélisation des SLCI



SII - F.MATHURIN

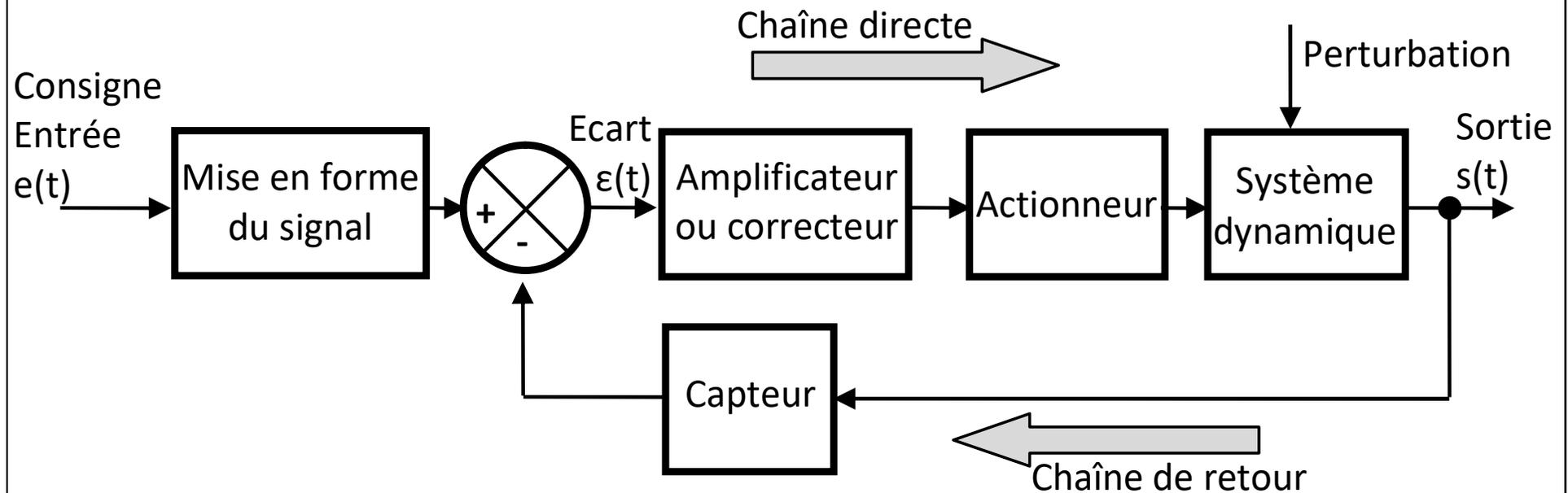


3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



SII - F.MATHURIN

Chaque bloc possède un modèle comportemental

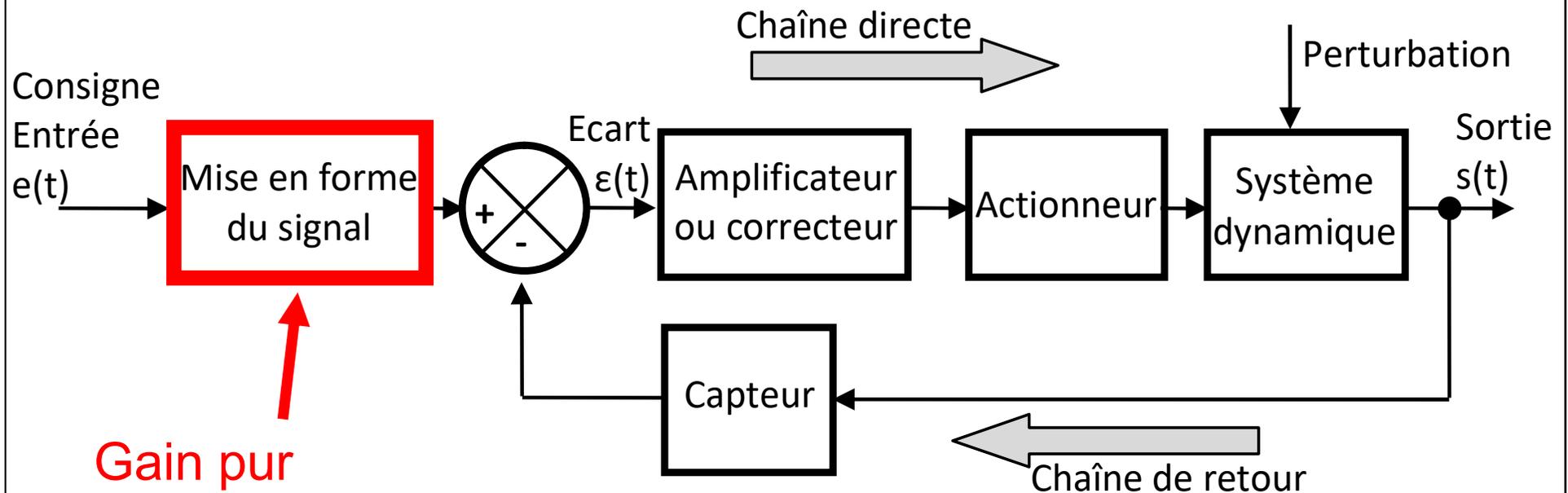


3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



SII - F.MATHURIN

Chaque bloc possède un modèle comportemental



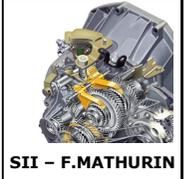
Gain pur

Système du 1^{er} ordre

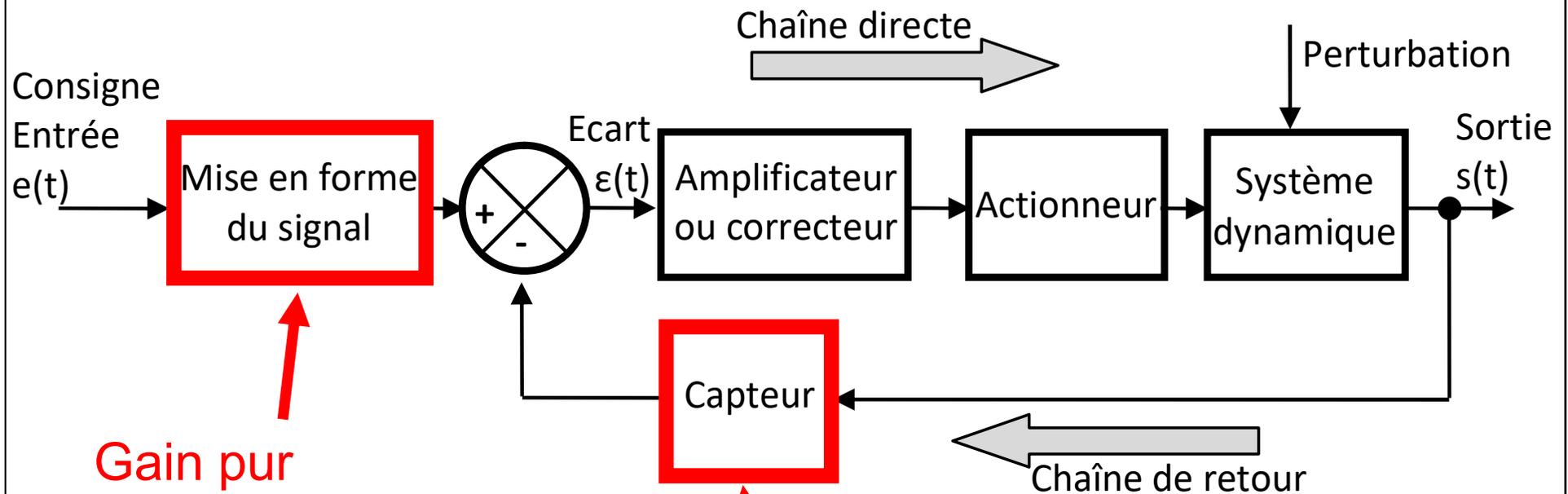
Système du 2^{ème} ordre

Autre modèle ...

3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



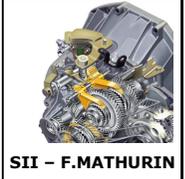
Chaque bloc possède un modèle comportemental



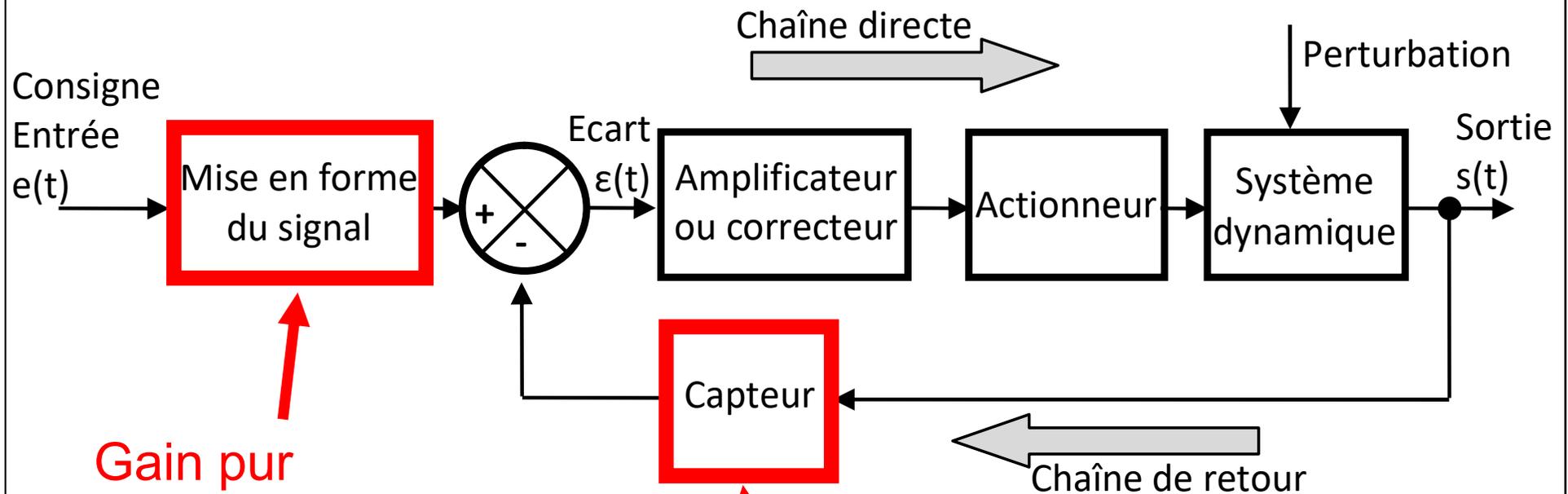
Gain pur
Système du 1^{er} ordre
Système du 2^{ème} ordre
Autre modèle ...

Gain pur
Système du 1^{er} ordre
Système du 2^{ème} ordre
Autre modèle ...

3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



Chaque bloc possède un modèle comportemental



Gain pur
Système du 1^{er} ordre
Système du 2^{ème} ordre
Autre modèle ...

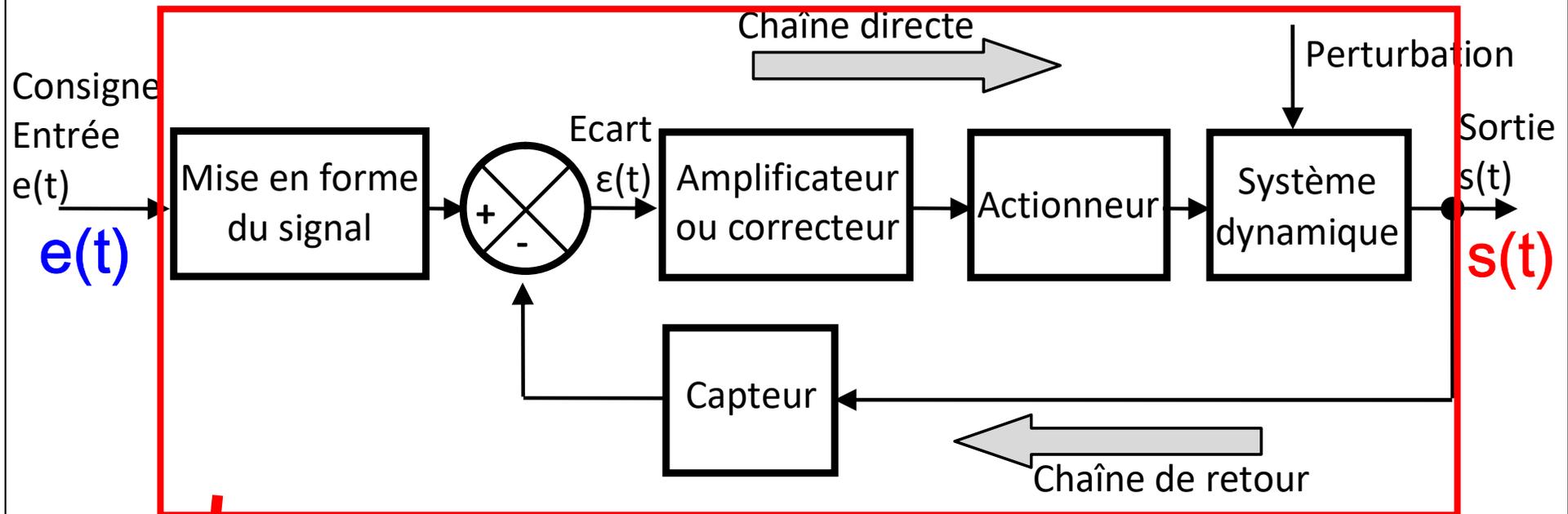
Gain pur
Système du 1^{er} ordre
Système du 2^{ème} ordre
Autre modèle ...

Etc ...

3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



SII - F.MATHURIN



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

3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



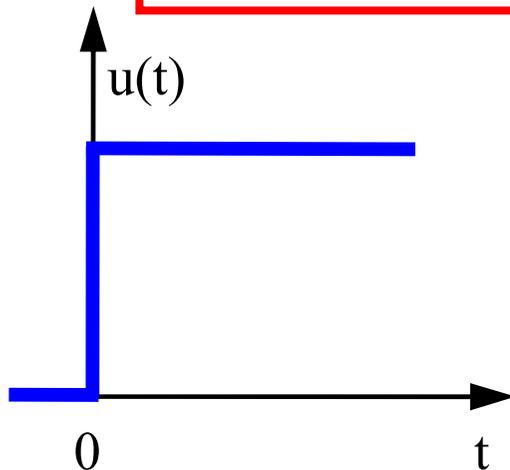
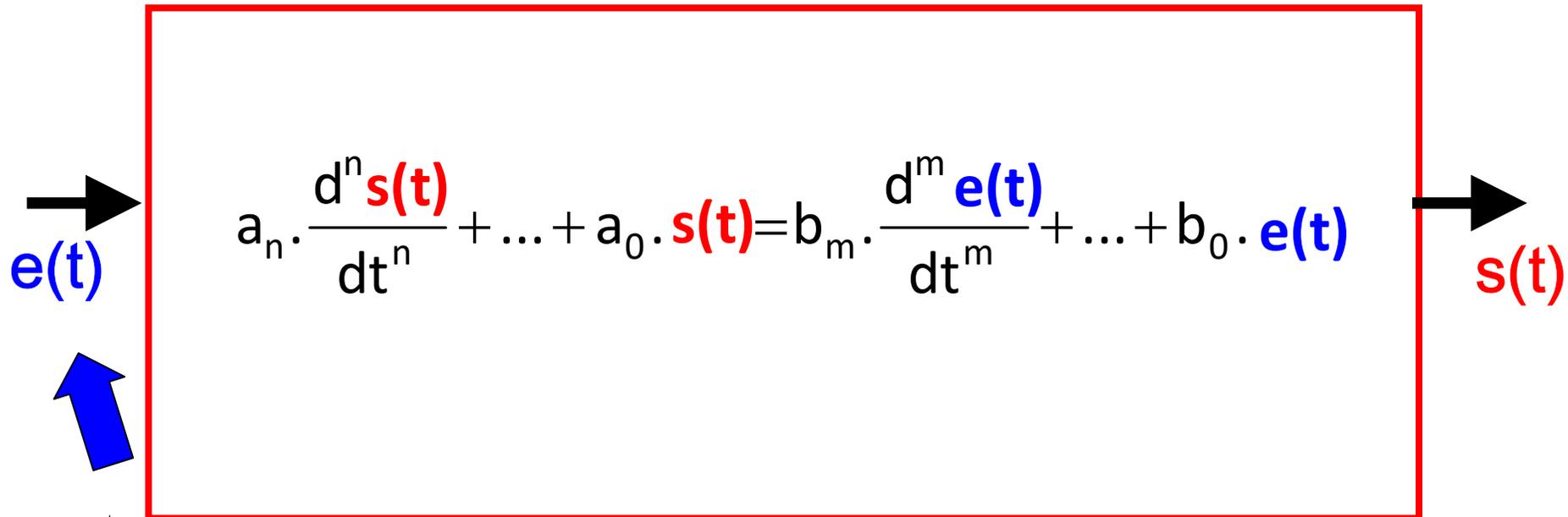
SII - F.MATHURIN

$$\begin{array}{ccc} \xrightarrow{e(t)} & a_n \cdot \frac{d^n s(t)}{dt^n} + \dots + a_0 \cdot s(t) = b_m \cdot \frac{d^m e(t)}{dt^m} + \dots + b_0 \cdot e(t) & \xrightarrow{s(t)} \end{array}$$

3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



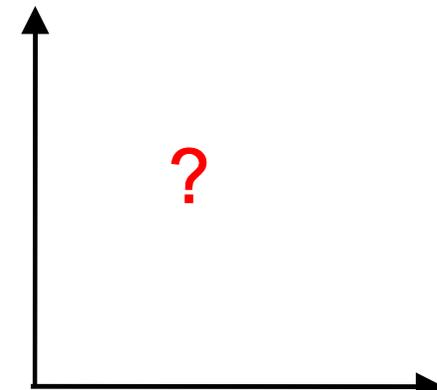
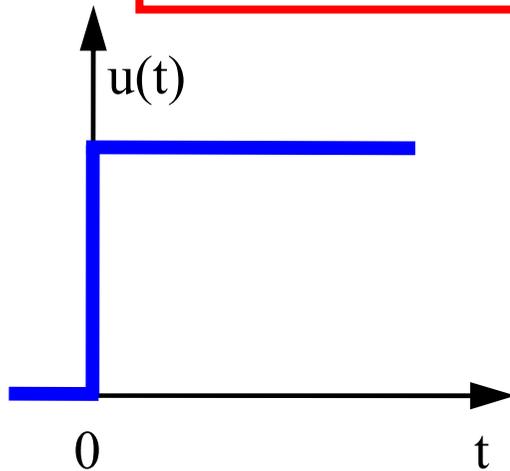
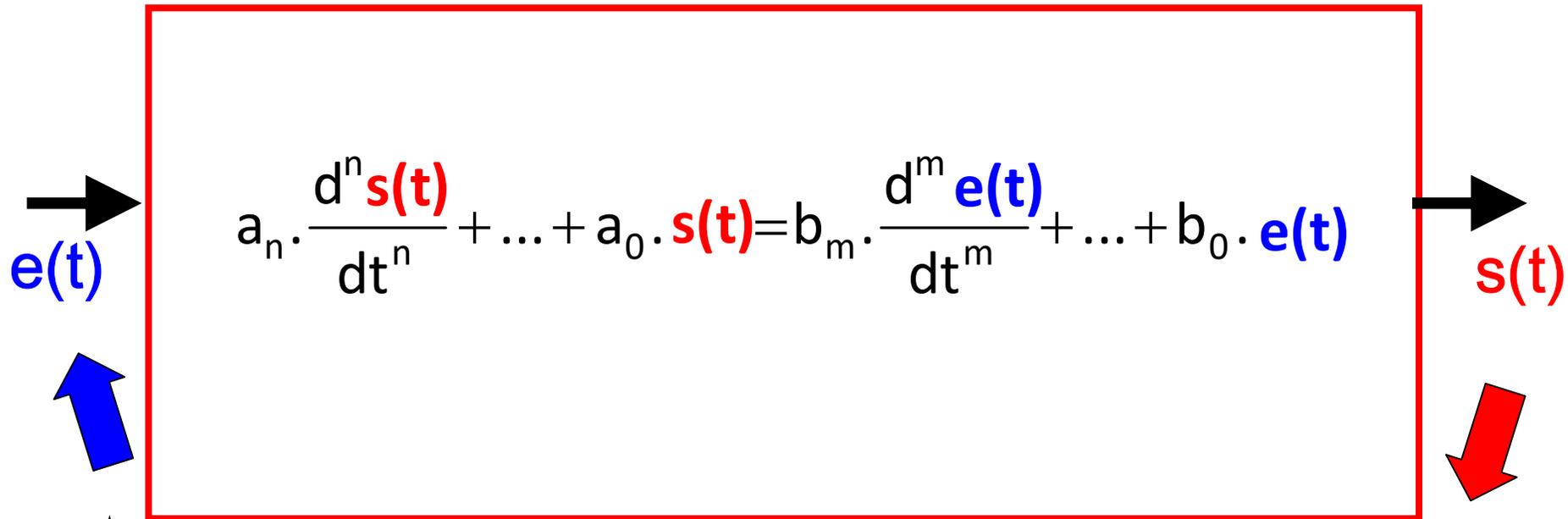
SII - F.MATHURIN



3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



SII - F.MATHURIN

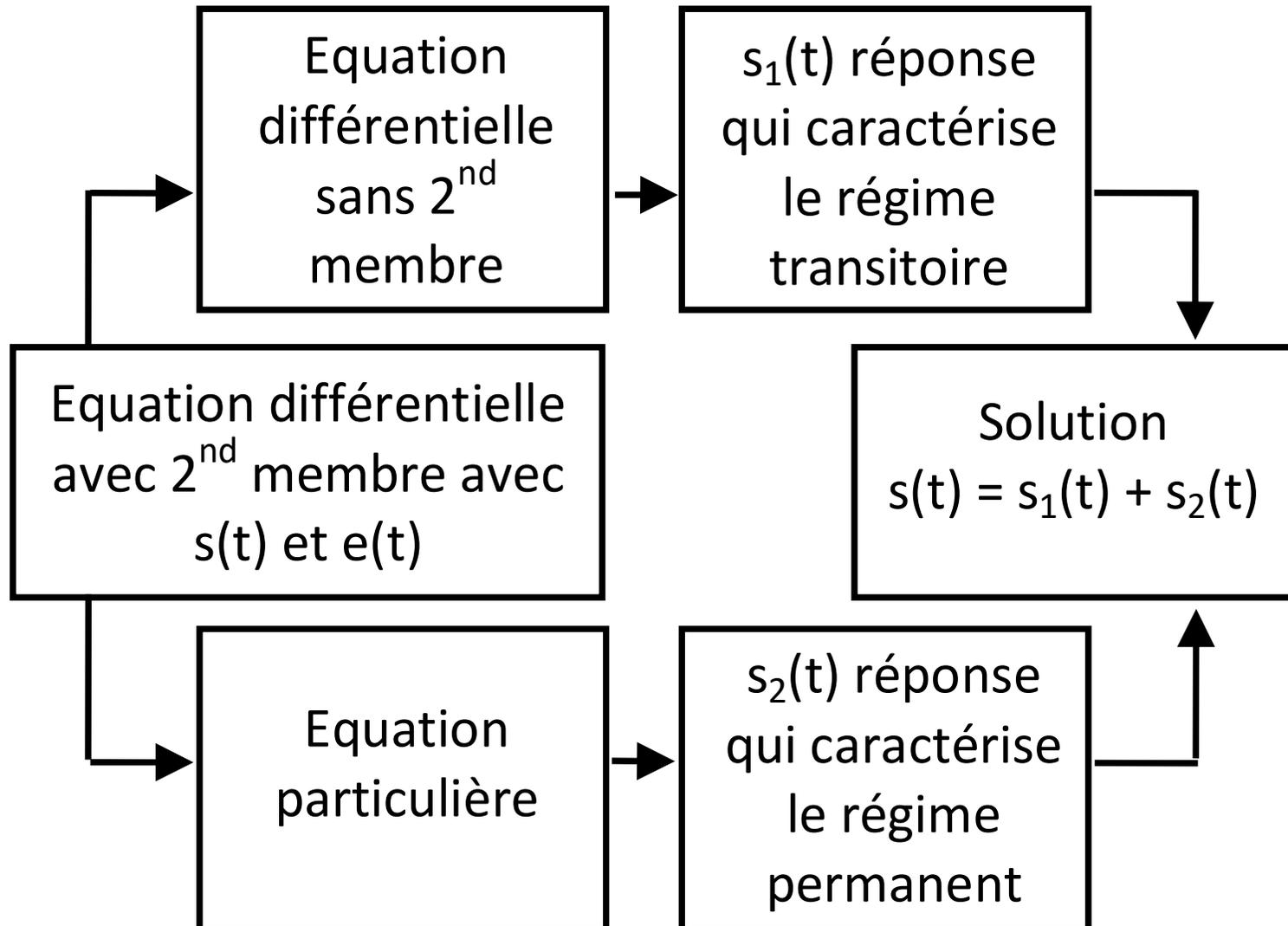


3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.

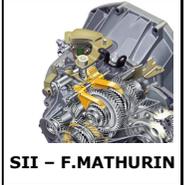


SII - F.MATHURIN

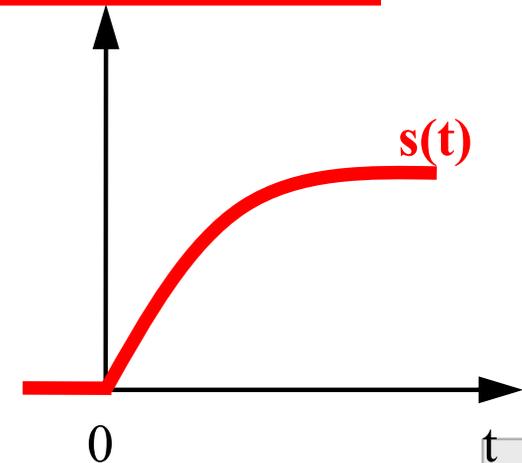
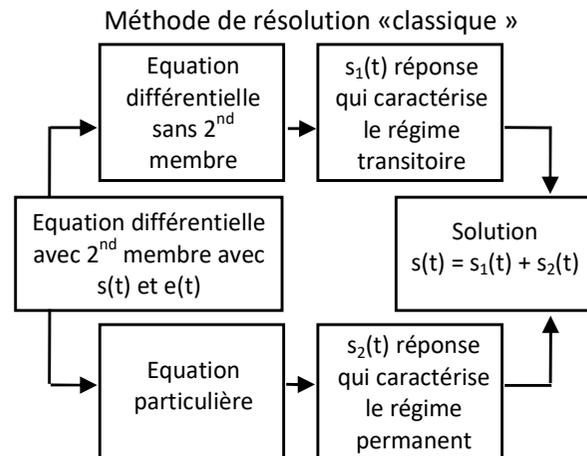
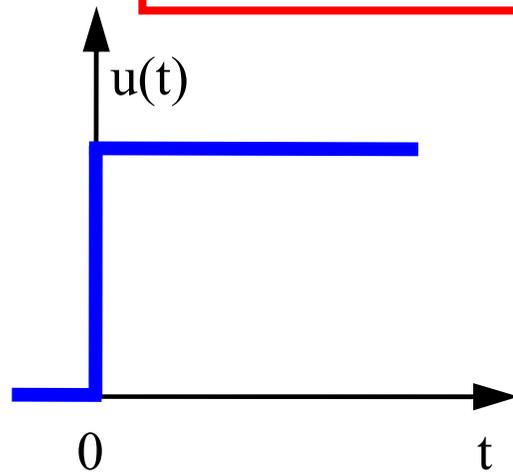
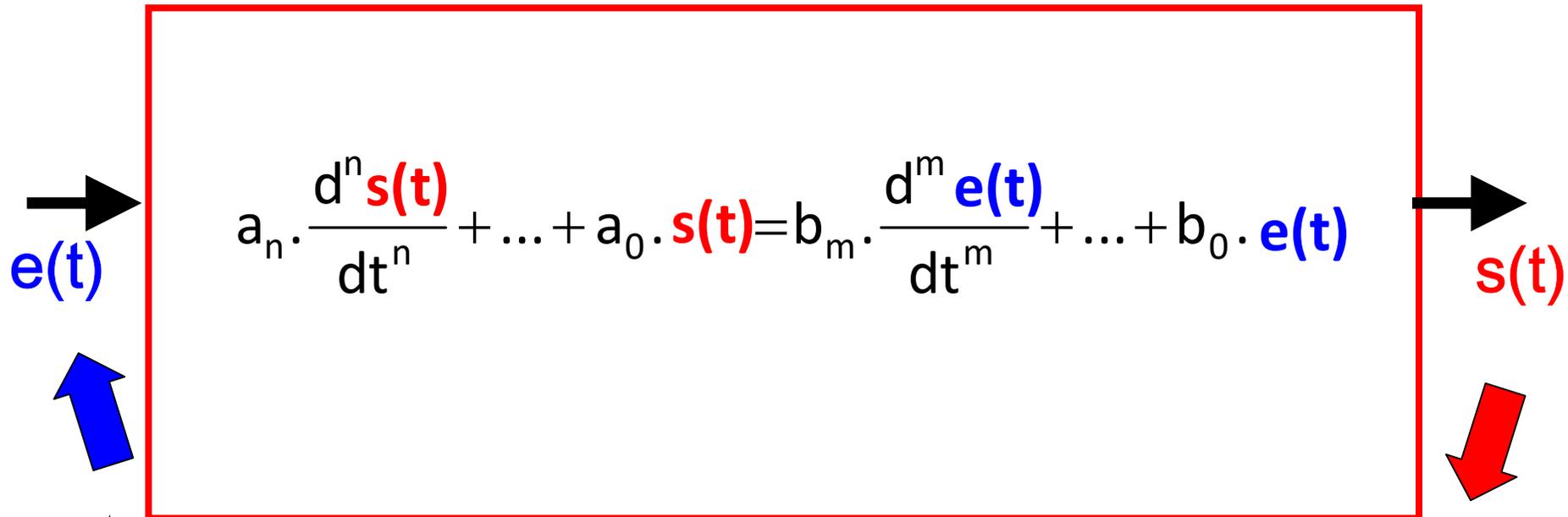
Méthode de résolution «classique »



3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



Chaque bloc possède un modèle de comportement



3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



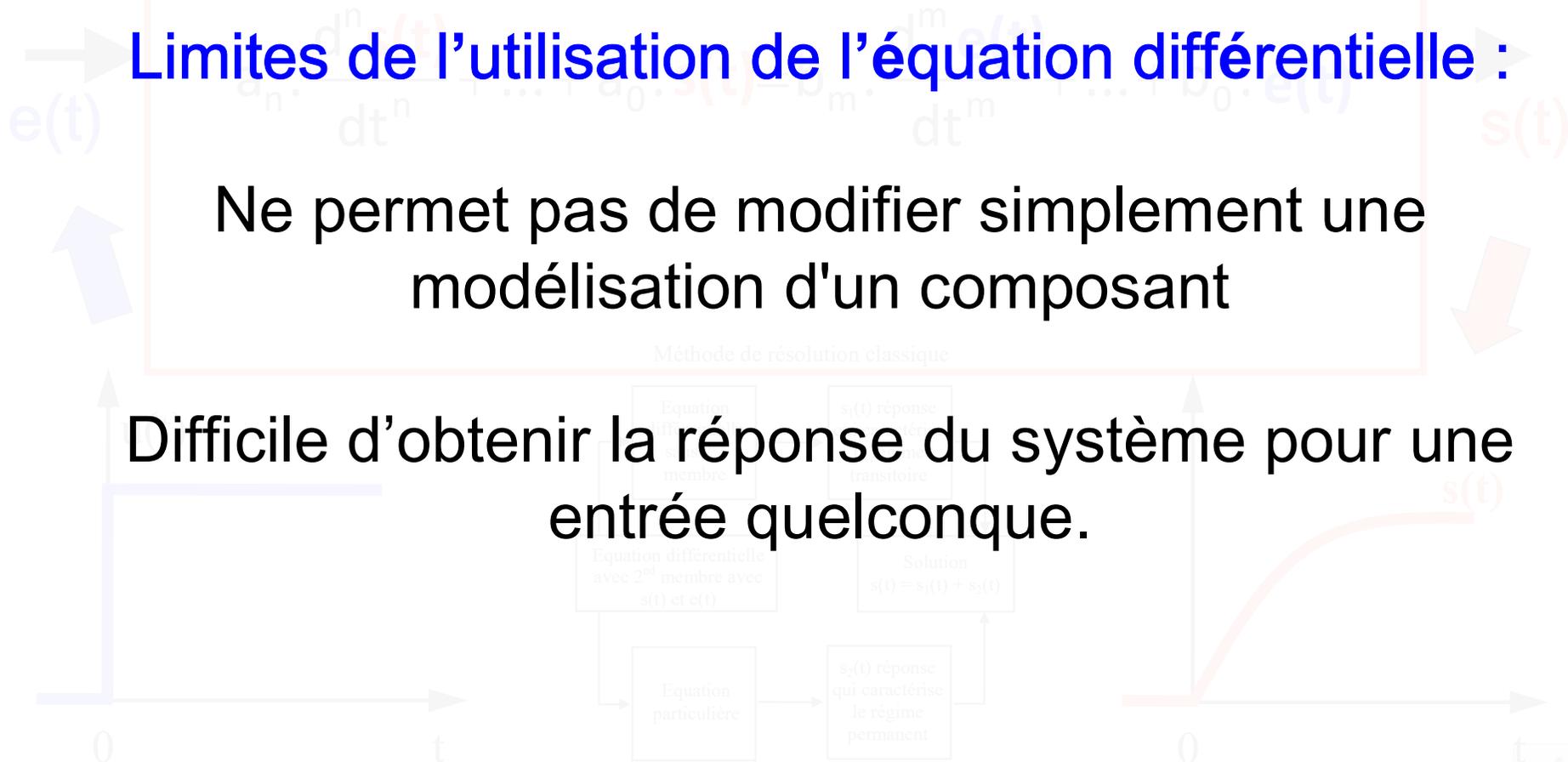
SII - F.MATHURIN

Chaque bloc possède un modèle de comportement

→ Limites de l'utilisation de l'équation différentielle :

Ne permet pas de modifier simplement une modélisation d'un composant

Difficile d'obtenir la réponse du système pour une entrée quelconque.

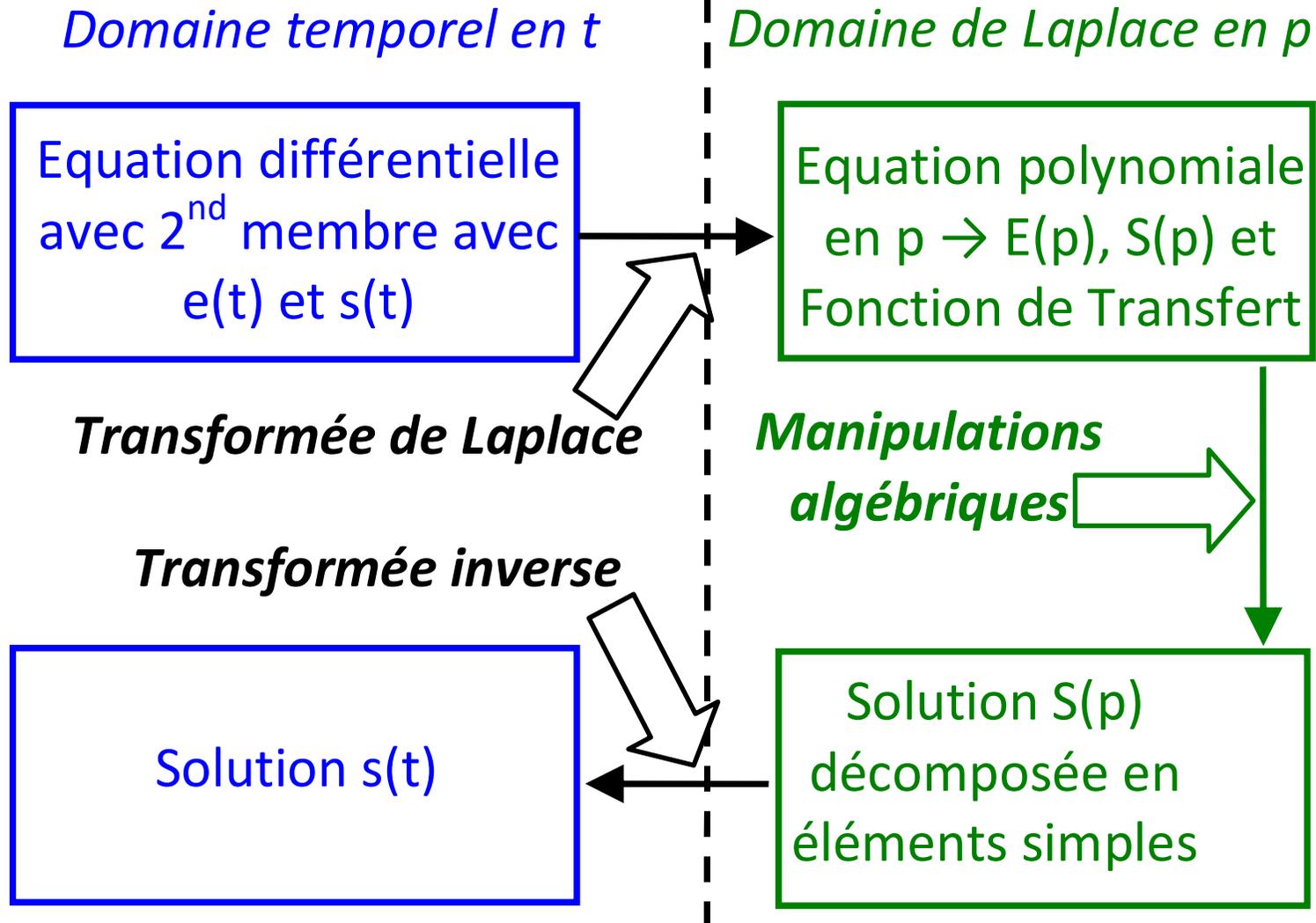


3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



SII - F.MATHURIN

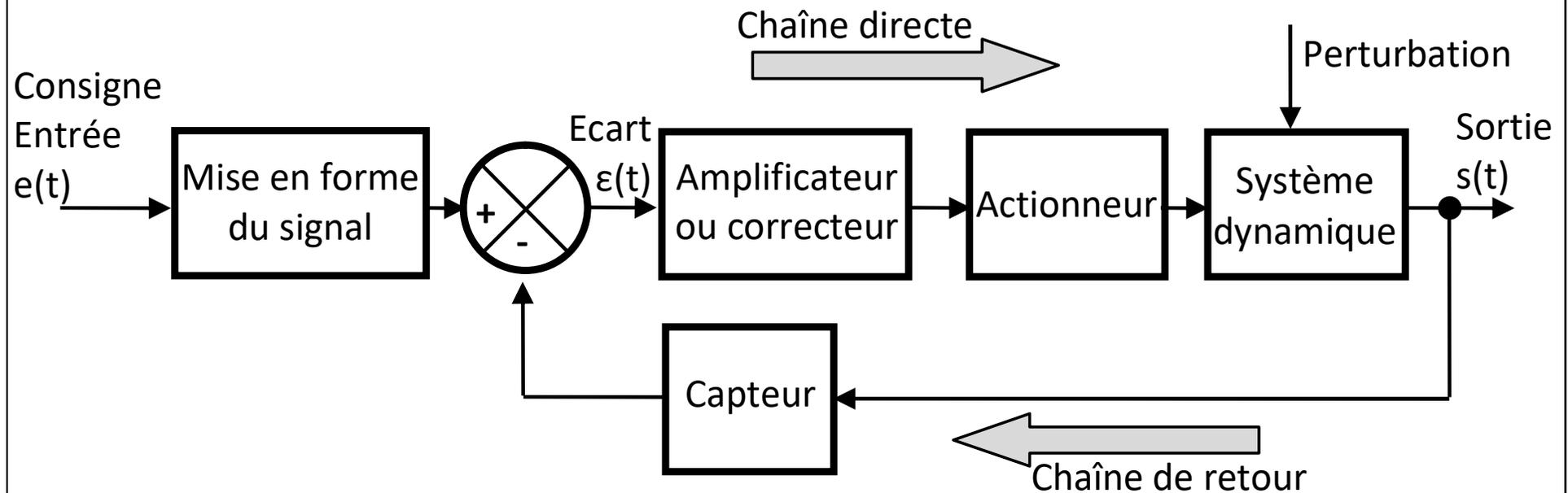
Méthode de résolution en automatique



3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



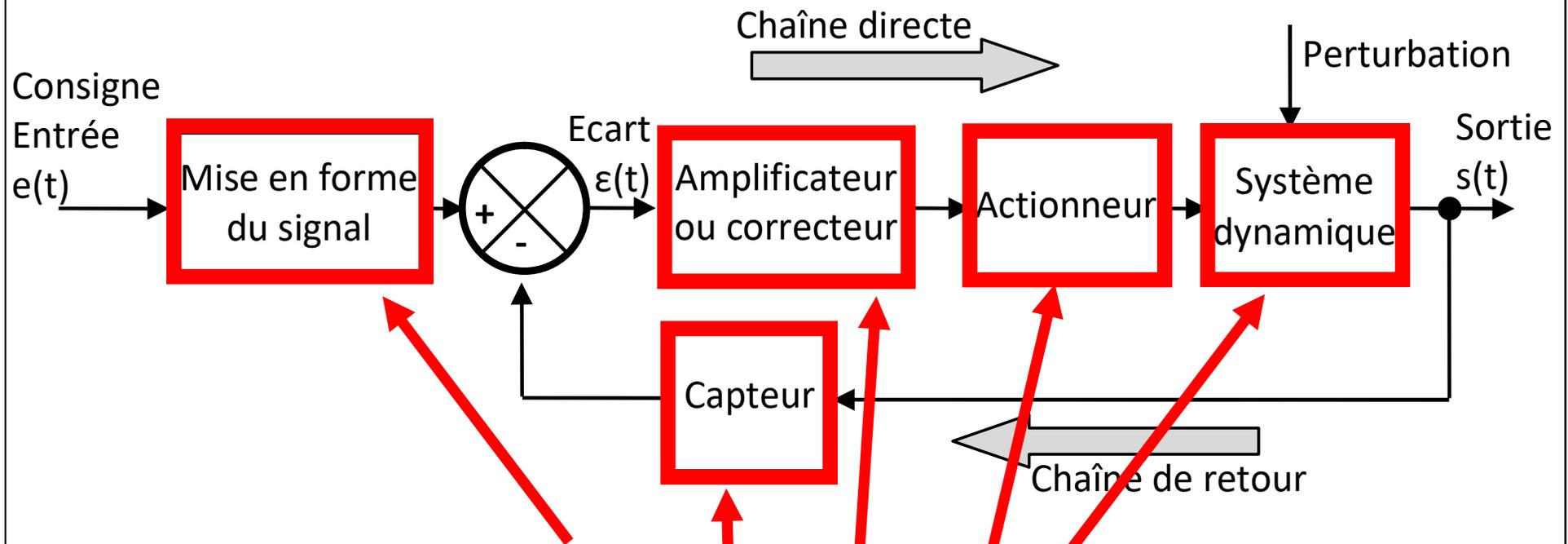
SII - F.MATHURIN



3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



SII - F.MATHURIN

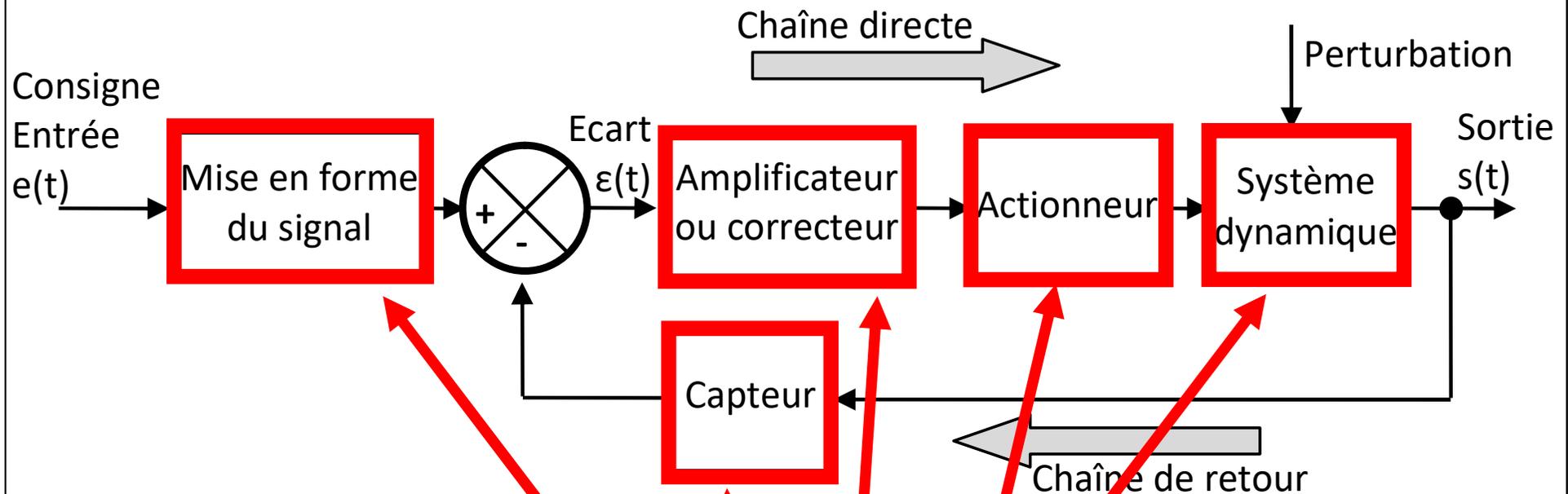


On applique la transformée de Laplace sur chaque équation différentielle de chacun des blocs

3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



SII - F.MATHURIN



On applique la transformée de Laplace sur chaque équation différentielle de chacun des blocs

équation polynomiale de l'ensemble du système

3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



SII - F.MATHURIN

Méthode de résolution en automatique

Domaine temporel en t

Domaine de Laplace en p

Equation différentielle
avec 2nd membre avec
e(t) et s(t)

Equation polynomiale
en p \rightarrow E(p), S(p) et
Fonction de Transfert

Transformée de Laplace

*Manipulations
algébriques*

Transformée inverse

Solution s(t)

Solution S(p)
décomposée en
éléments simples

équation
polynomiale
de l'ensemble
du système

3. Modèle de comportement des SLCI et démarche de résolution de l'équa. Diff.



SII - F.MATHURIN

Méthode de résolution en automatique

Domaine temporel en t

Domaine de Laplace en p

Equation différentielle
avec 2nd membre avec
 $e(t)$ et $s(t)$

Equation polynomiale
en $p \rightarrow E(p), S(p)$ et
Fonction de Transfert

Transformée de Laplace

*Manipulations
algébriques*

Transformée inverse

Solution $s(t)$

Solution $S(p)$
décomposée en
éléments simples

équation
polynomiale
de l'ensemble
du système

Calculs sur les polynômes pour déterminer
la réponse $s(t)$ du système à l'entrée $e(t)$

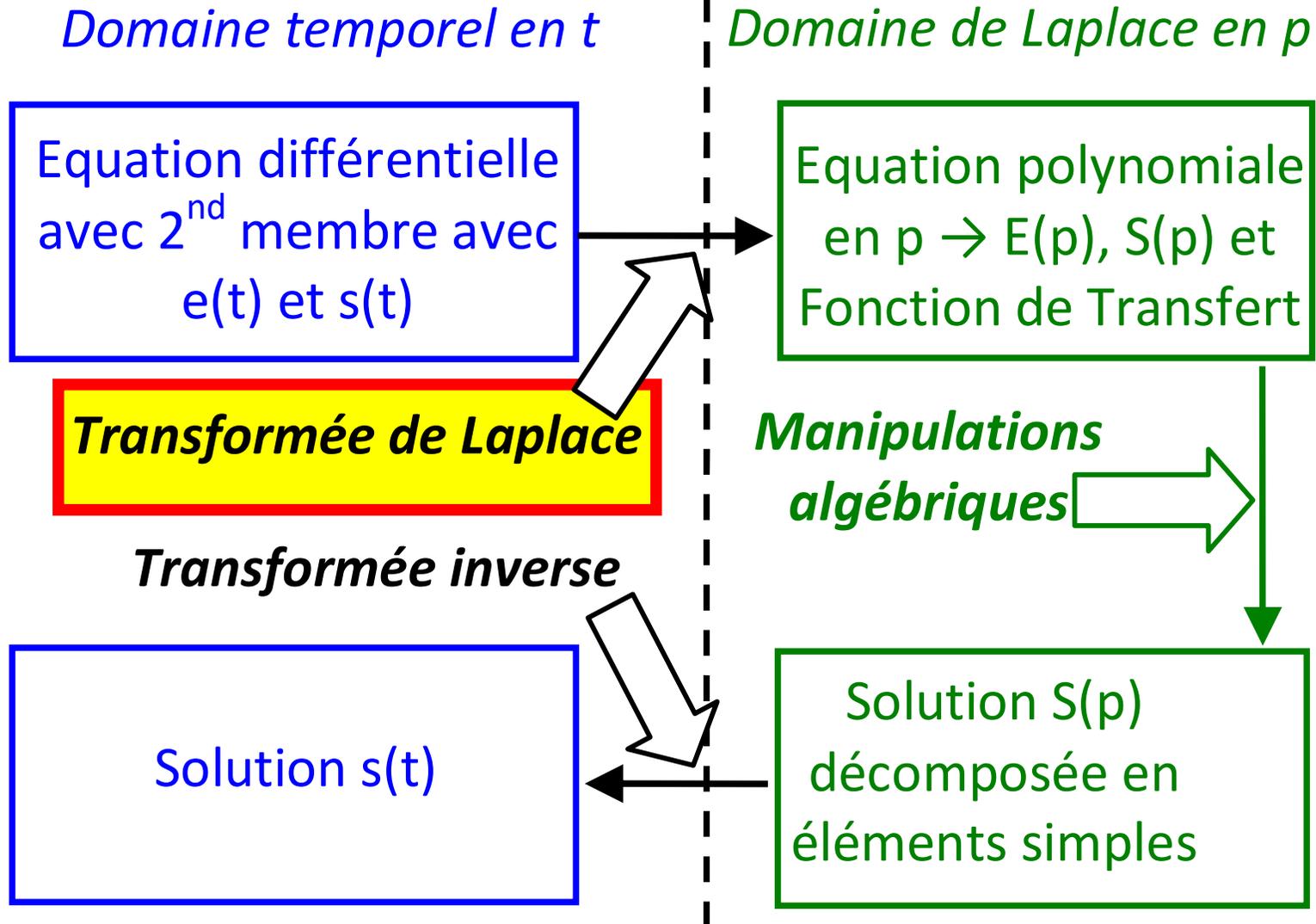


1. Hypothèses de modélisation des SLCI
2. Les principaux modèles comportementaux
3. Modèle comportemental général des SLCI et démarche de résolution de l'équation différentielle
- 4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse**
5. Représentation des SLCI par fonction de transfert



4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse

Méthode de résolution en automatique



4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F.MATHURIN

4.1. Définition de la transformée de Laplace

La transformée de Laplace de la fonction $f(t)$, telle que $f(t)=0$ pour $t<0$ est :

$$\mathcal{L} (f(t)) = F(p) = \int_0^{\infty} f(t).e^{-pt}.dt$$

où p est une variable complexe.

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F. MATHURIN

4.1. Définition de la transformée de Laplace

La transformée de Laplace de la fonction $f(t)$, telle que $f(t)=0$ pour $t<0$ est :

$$\mathcal{L}(f(t)) = F(p) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} \cdot dt$$

où p est une variable complexe.



Notation avec des majuscules :

$$e(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} E(p), \quad s(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} S(p), \quad C(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} C(p)$$

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F.MATHURIN

4.1. Définition de la transformée de Laplace

La transformée de Laplace de la fonction $f(t)$, telle que $f(t)=0$ pour $t<0$ est :

$$\mathcal{L}(f(t)) = F(p) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} \cdot dt$$

où p est une variable complexe.



Notation avec des majuscules :

$$e(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} E(p), \quad s(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} S(p), \quad C(t) \xrightarrow{\mathcal{L}} C(p)$$

Exemple : Transformée de Laplace de l'échelon unitaire

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



4.2. Transformées de Laplace de fonctions usuelles

f(t) avec f(t)=0 pour t<0	F(p)	f(t) avec f(t)=0 pour t<0	F(p)
$\delta(t)$ impulsion de Dirac	1	t.u(t) fonction rampe	$\frac{1}{p^2}$
u(t) échelon unitaire	$\frac{1}{p}$	$t^n.u(t)$	$\frac{n!}{p^{n+1}}$
$e^{-at}.u(t)$	$\frac{1}{p+a}$	$t^n e^{-at}.u(t)$	$\frac{n!}{(p+a)^{n+1}}$
$\sin(\omega t).u(t)$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$	$\cos(\omega t).u(t)$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$
$e^{-at}.\sin(\omega t).u(t)$	$\frac{\omega}{(p+a)^2 + \omega^2}$	$e^{-at}.\cos(\omega t).u(t)$	$\frac{p+a}{(p+a)^2 + \omega^2}$

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F.MATHURIN

4.3. Propriétés essentielles

Conditions de Heaviside : $f(0^+) = 0, f'(0^+) = 0, f''(0^+) = 0, \dots$

→ conditions initiales nulles

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F.MATHURIN

4.3. Propriétés essentielles

Conditions de Heaviside : $f(0^+) = 0, f'(0^+) = 0, f''(0^+) = 0, \dots$

→ conditions initiales nulles

Unicité :

A une fonction $f(t)$ correspond une fonction $F(p)$ unique,

A une fonction $F(p)$ correspond une fonction $f(t)$ unique.

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F. MATHURIN

4.3. Propriétés essentielles

Conditions de Heaviside : $f(0^+) = 0, f'(0^+) = 0, f''(0^+) = 0, \dots$

→ conditions initiales nulles

Unicité :

A une fonction $f(t)$ correspond une fonction $F(p)$ unique,

A une fonction $F(p)$ correspond une fonction $f(t)$ unique.

Linéarité :

$\mathcal{L}(x_1(t)) = X_1(p), \mathcal{L}(x_2(t)) = X_2(p), A$ et B deux ctes

$\mathcal{L}(A.x_1(t) + B.x_2(t)) = A.\mathcal{L}(x_1(t)) + B.\mathcal{L}(x_2(t)) = A.X_1(p) + B.X_2(p)$

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F.MATHURIN

4.3. Propriétés essentielles : Transformée de la dérivée

Pour la dérivée première : $\mathcal{L} \left(\frac{d}{dt} f(t) \right) = p.F(p) - f(0^+)$

Pour la dérivée seconde : $\mathcal{L} \left(\frac{d^2}{dt^2} f(t) \right) = p^2.F(p) - p.f(0^+) - \frac{d}{dt} f(0^+)$

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F.MATHURIN

4.3. Propriétés essentielles : Transformée de la dérivée

Dériver par rapport à t dans le domaine temporel revient à multiplier par p dans le domaine symbolique dans les conditions de Heaviside :

$$\frac{d^n}{dt^n} \rightarrow \times p^n$$

Exemple : transformation de l'équation différentielle $a_2 \frac{d^2x(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_0x(t) = 0$

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F.MATHURIN

4.3. Propriétés essentielles : Transformée de l'intégrale

Dans les conditions de Heaviside, intégrer dans le domaine temporel revient à diviser par p dans le domaine symbolique :

$$\int \rightarrow \times \frac{1}{p}$$

Exemple : Passage d'une vitesse à une position (intégrateur)

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



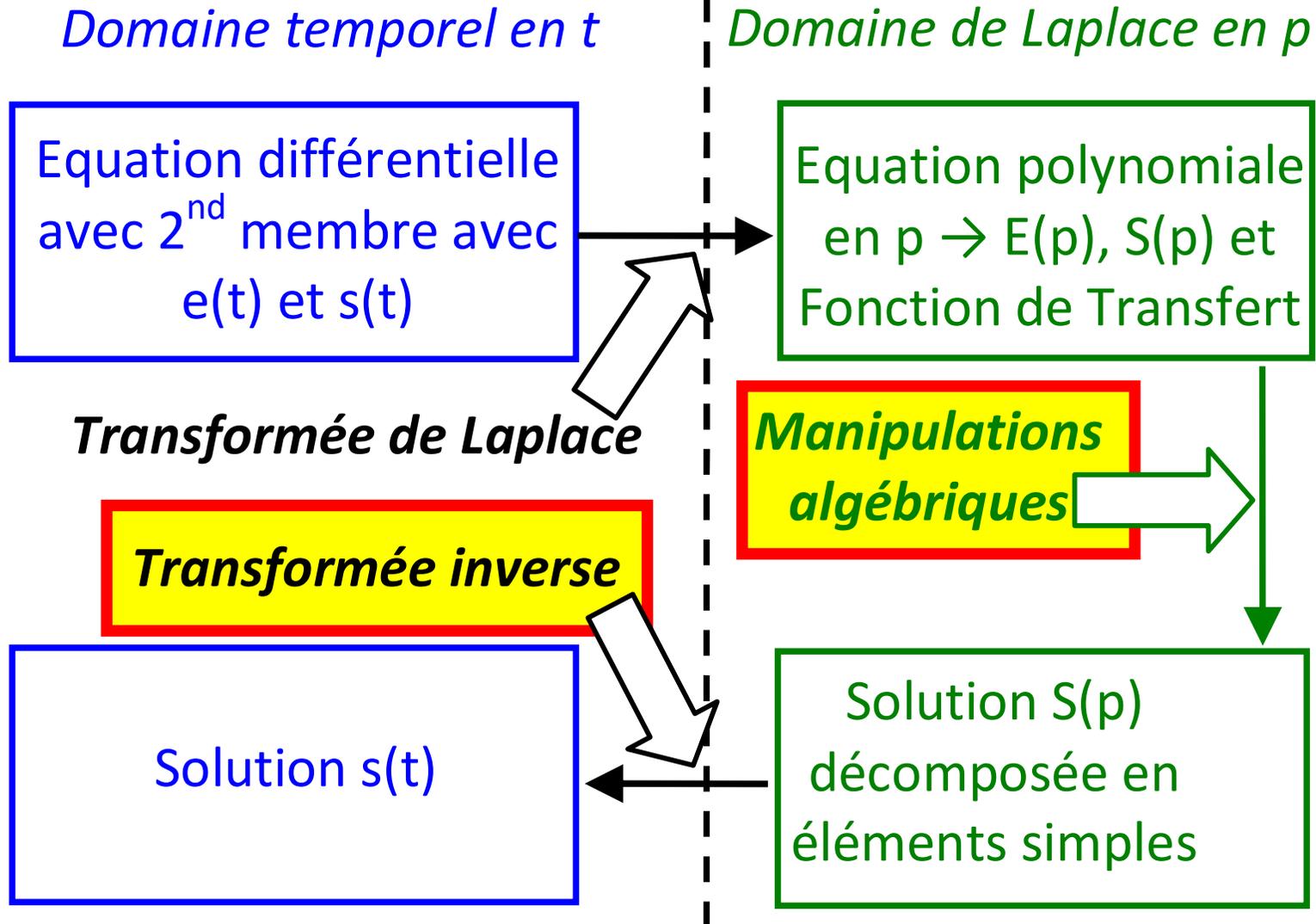
SII - F.MATHURIN

Application : exercice 1 TD 04



4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse

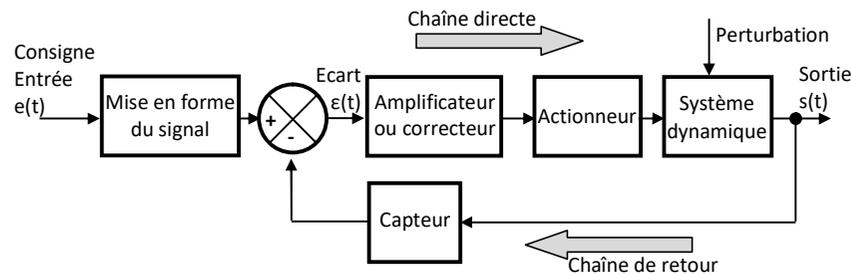
Méthode de résolution en automatique



4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



Exemple



Domaine de Laplace en p

$$F(p) = \frac{p + 2}{(p + 5)(p + 10)}$$

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse

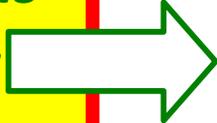


SII - F.MATHURIN

Exemple

Domaine de Laplace en p

$$F(p) = \frac{p + 2}{(p + 5)(p + 10)}$$

**Manipulations
algébriques** 

Solution $S(p)$
décomposée en
éléments simples

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse

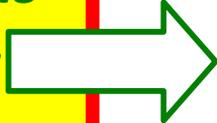


SII - F.MATHURIN

Exemple

Domaine de Laplace en p

$$F(p) = \frac{p+2}{(p+5)(p+10)}$$

**Manipulations
algébriques** 

$$\frac{A}{p+5} + \frac{B}{p+10} \quad \begin{array}{l} A = -\frac{3}{5} \\ B = \frac{8}{5} \end{array}$$

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



Exemple

Domaine de Laplace en p

$f(t)$ avec $f(t)=0$ pour $t<0$	$F(p)$	$f(t)$ avec $f(t)=0$ pour $t<0$	$F(p)$
$\delta(t)$ impulsion de Dirac	1	$t.u(t)$ fonction rampe	$\frac{1}{p^2}$
$u(t)$ échelon unitaire	$\frac{1}{p}$	$t^n.u(t)$	$\frac{n!}{p^{n+1}}$
$e^{-at}.u(t)$	$\frac{1}{p+a}$	$t^n.e^{-at}.u(t)$	$\frac{n!}{(p+a)^{n+1}}$
$\sin(\omega t).u(t)$	$\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$	$\cos(\omega t).u(t)$	$\frac{p}{p^2 + \omega^2}$
$e^{-at}.\sin(\omega t).u(t)$	$\frac{\omega}{(p+a)^2 + \omega^2}$	$e^{-at}.\cos(\omega t).u(t)$	$\frac{p+a}{(p+a)^2 + \omega^2}$

$$F(p) = \frac{p + 2}{(p + 5)(p + 10)}$$

Manipulations algébriques

$$\frac{A}{p + 5} + \frac{B}{p + 10} \quad \begin{matrix} A = -\frac{3}{5} \\ B = \frac{8}{5} \end{matrix}$$

Transformée inverse

Solution $s(t)$

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



Exemple

Domaine de Laplace en p

$$F(p) = \frac{p + 2}{(p + 5)(p + 10)}$$

Manipulations algébriques

$$\frac{A}{p + 5} + \frac{B}{p + 10} \quad \begin{array}{l} A = -\frac{3}{5} \\ B = \frac{8}{5} \end{array}$$

Transformée inverse

$$f(t) = -\frac{3}{5} \cdot e^{-5t} + \frac{8}{5} \cdot e^{-10t}$$

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F.MATHURIN

4.4. Théorèmes pratiques :

- Théorème de la valeur initiale : $\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} p.F(p)$
- Théorème de la valeur finale : $\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{p \rightarrow 0} p.F(p)$

$$G(p) = e^{-Tp} . F(p)$$

e^{-Tp} : opérateur retard

4. Calcul symbolique - Transformée de Laplace et transformée inverse



SII - F.MATHURIN

Méthodes de décomposition en éléments simples des dénominateurs des fonctions $F(p)$:

- Méthodes de décomposition pour des racines réelles
 - Racines simples
 - Racines multiples
- Méthodes de décomposition pour des racines complexes
 - Racines simples conjuguées
 - Racines multiples conjuguées

(Applications dans les exercices de TD)



1. Hypothèses de modélisation des SLCI
2. Les principaux modèles comportementaux
3. Modèle comportemental général des SLCI et démarche de résolution de l'équation différentielle
4. Calcul symbolique – Transformée de Laplace et transformée inverse

5. Représentation des SLCI par fonction de transfert

5. Représentation des SLCI par fonction de transfert



SII - F.MATHURIN



On appelle fonction de transfert $H(p)$ d'un système la relation dans le domaine symbolique telle que :

$$H(p) = \frac{S(p)}{E(p)}$$

Elle caractérise le comportement intrinsèque du système et ne dépend ni de l'entrée, ni de la sortie.

Cas du gain pur



SII - F.MATHURIN

Équation temporelle : $s(t) = K.e(t)$

K : gain statique du système

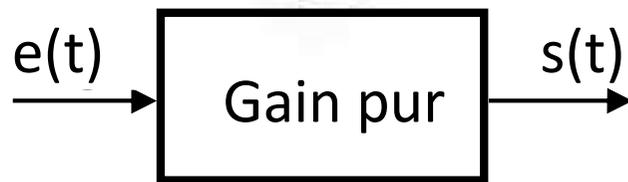


Schéma bloc organique



Schéma bloc

$$\text{Fonction de transfert : } H(p) = \frac{U(p)}{\alpha(p)} = K$$



Cas du système du 1^{er} ordre

$$\text{Équation temporelle : } \tau \cdot \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = K \cdot e(t)$$

K : gain statique du système

τ : constante de temps

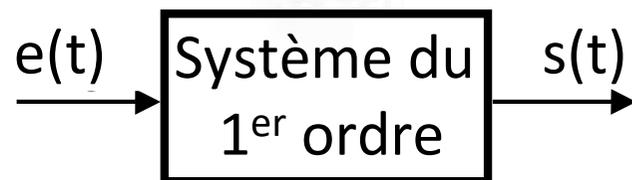


Schéma bloc organique

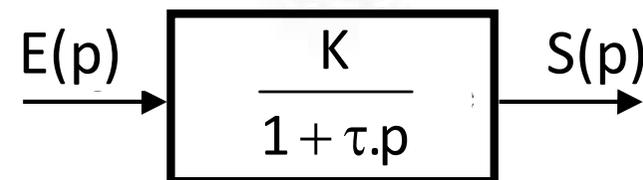


Schéma bloc

$$\text{Fonction de transfert : } G(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K}{1 + \tau \cdot p}$$

Cas du système du 2^{ème} ordre



SII - F.MATHURIN

$$\text{Équation temporelle : } \frac{1}{\omega_0^2} \cdot \frac{d^2s(t)}{dt^2} + 2 \frac{z}{\omega_0} \cdot \frac{ds(t)}{dt} + s(t) = K \cdot e(t)$$

K : gain statique du système.

z : coefficient d'amortissement ($z > 0$).

ω_0 : pulsation propre non amortie du système ($\omega_0 > 0$).

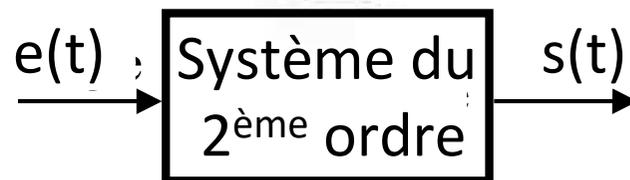


Schéma bloc organique

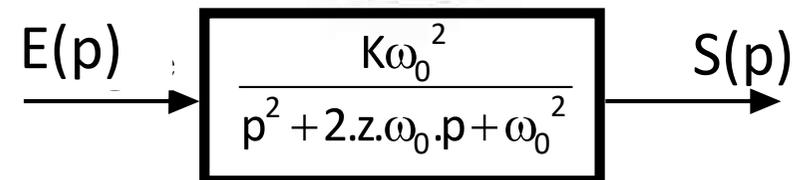


Schéma bloc

$$\text{Fonction de transfert : } G(p) = \frac{S(p)}{E(p)} = \frac{K\omega_0^2}{p^2 + 2 \cdot z \cdot \omega_0 \cdot p + \omega_0^2}$$

