Chapitre 4 : Identification

1- Généralités

2- Identification en boucle ouverte

2.1 Méthodologie

2.2 Méthode directe : confrontation de la réponse théorique et expérimentale

2.3 Méthode de Strejc

2.4 Méthode de Broida

2.5 Méthode rapide pour un procédé intégrateur

3- Identification en boucle fermée

3.1 Premier essai

3.2 Deuxième essai

1- Généralités

Identifier un procédé ou système consiste à proposer une structure entre son entrée et sa sortie et à déterminer à partir du couple entrée-sortie, les valeurs des paramètres du modèle. Le modèle ainsi trouvé doit, dans son domaine de validité, se comporter comme la réalité (physique) ou au moins s'en approcher au plus près.

Il existe une multitude de types de modèles, selon les applications. Les plus populaires sont les modèles de connaissance et les modèles de représentation.

☞ Les modèles de connaissance (basés sur les lois de la physique, de la chimie…), donnent une description complète des systèmes et sont utilisés pour la simulation et la conception des procédés. Ce sont souvent des modèles non linéaires, complexes mais fiables.

☞ Les modèles de représentation : pour ces modèles, on ignore tout ou une grande partie des phénomènes mis en jeu (réactions chimiques dans un four à ciment par exemple). Dans ce cas là, on se contente d'une description mathématique sans lien apparent avec la réalité physique). La structure du modèle est fixée à priori, on parle de 'boite noire'.

Le modèle auquel nous nous intéressons est un modèle dynamique linéaire de type <u>fonction de transfert</u> (modèle de représentation) et qui, souvent, décrit le comportement du procédé autour d'un <u>point de fonctionnement particulier</u>; il ne prend en compte que les petites variations autour de ce point.

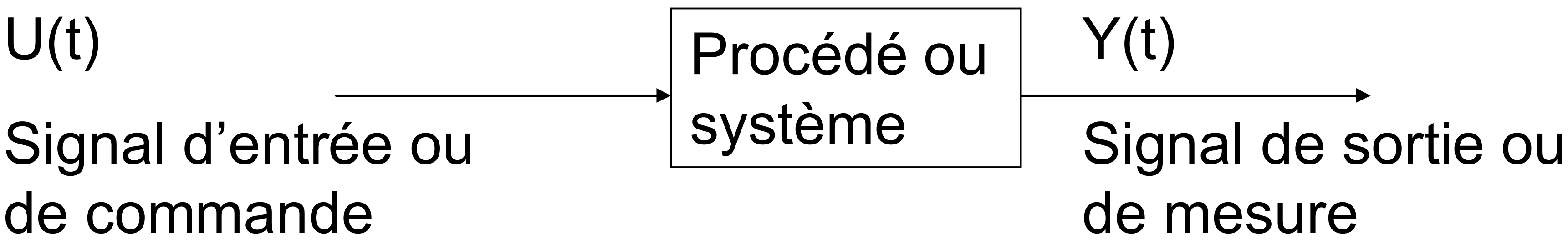
Les régleurs ou automaticiens ont besoin de ce modèle pour concevoir le régulateur et son réglage à mettre en œuvre afin d'atteindre les objectifs décrits dans le cahier des charges de la régulation d'un procédé.

Deux méthodes d'identification sont à considérer : essai en boucle ouverte (le procédé étudié n'est pas asservi ou régulé) et essai en boucle fermée (un régulateur asservit ou régule le système).

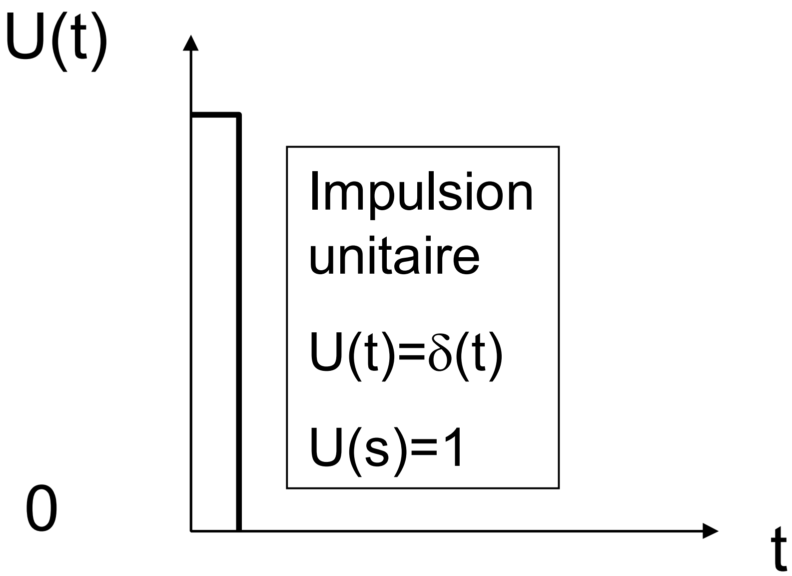
2- Identification en boucle ouverte

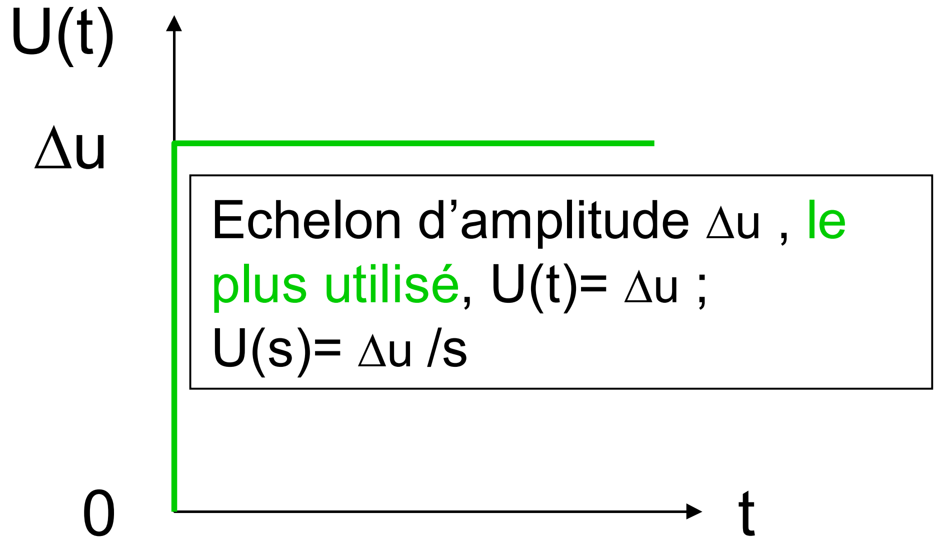
2.1 Méthodologie

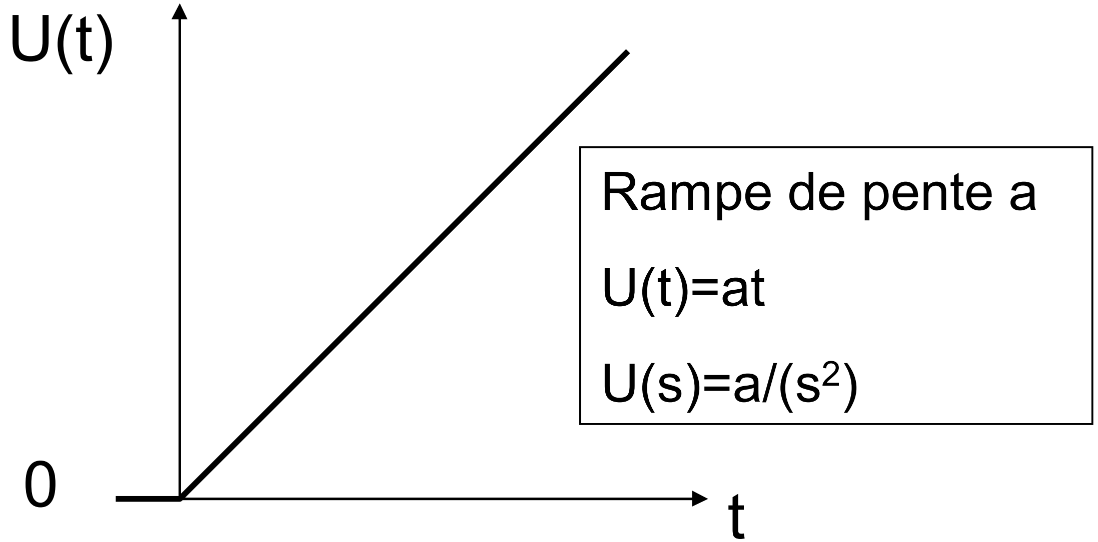
En l'absence de toute perturbation, on envoie un signal d'entrée U(t) connu (impulsion échelon ou rampe) et on enregistre le signal de sortie Y(t) qui est analysé ensuite.



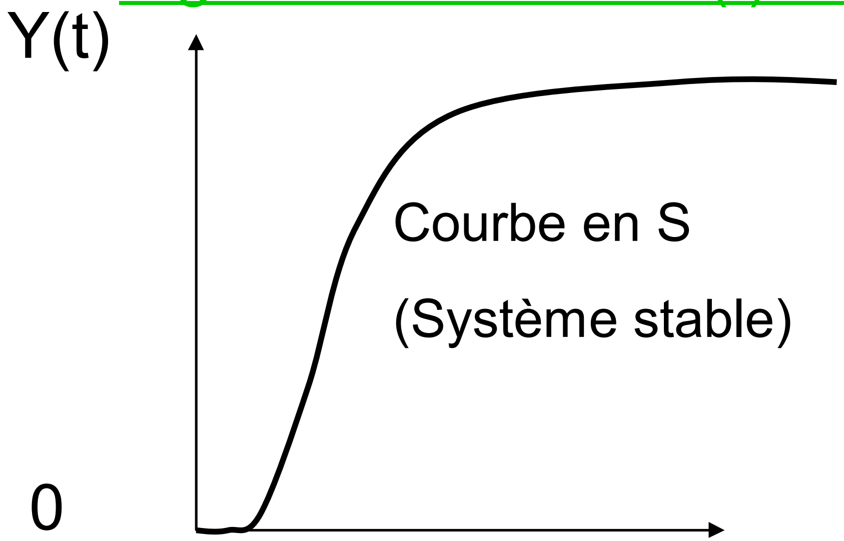
Signaux d'entrées U(t) utilisés

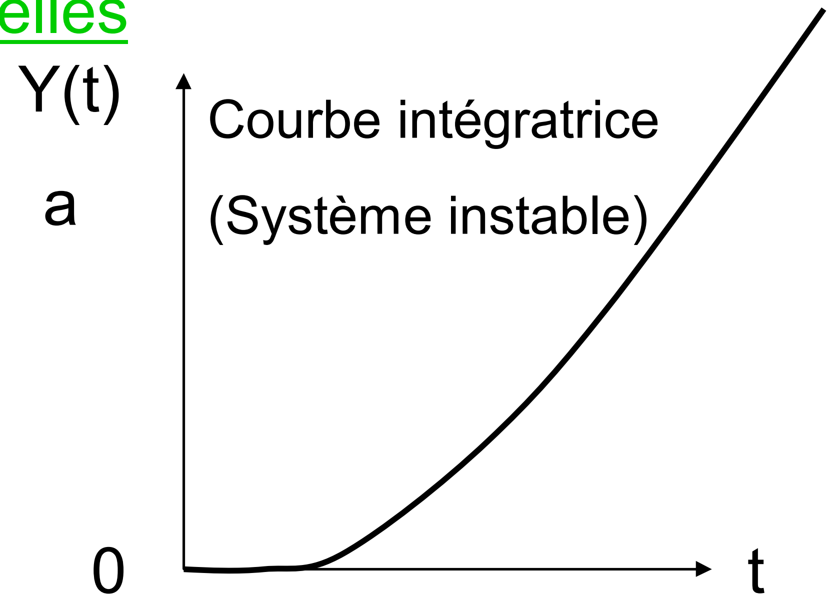


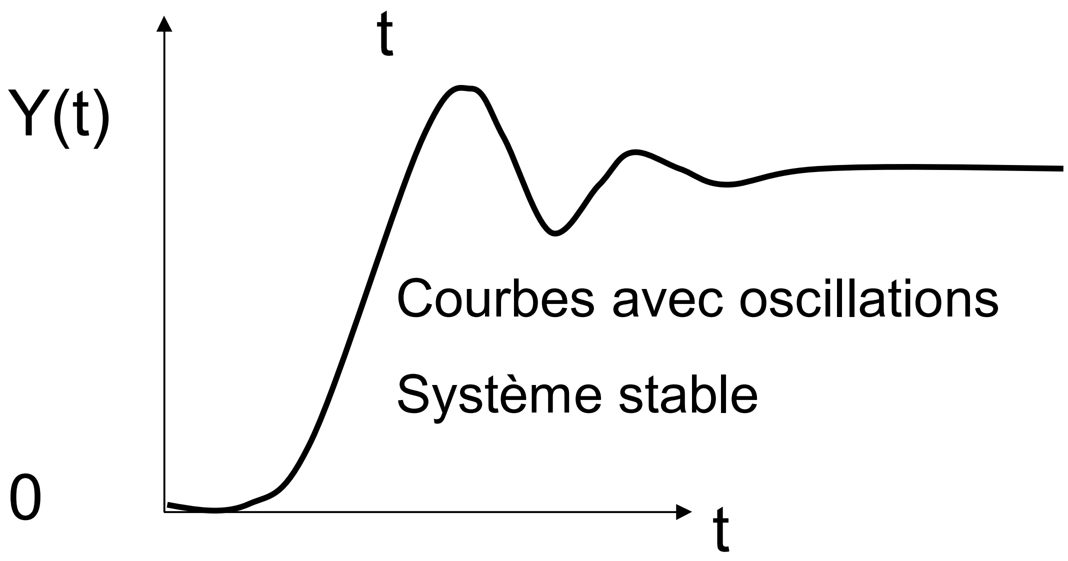




Signaux de sorties Y(t) usuelles

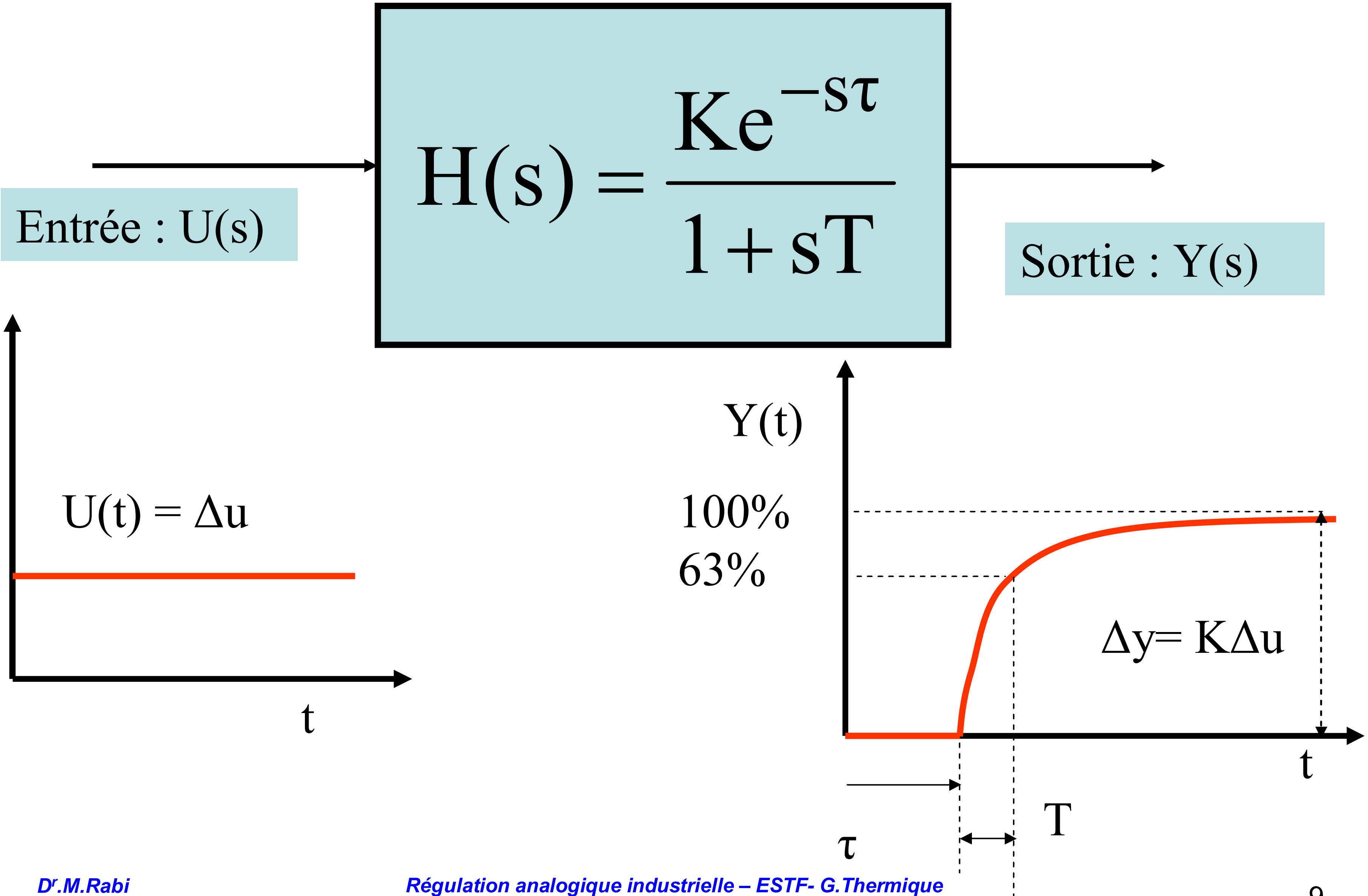




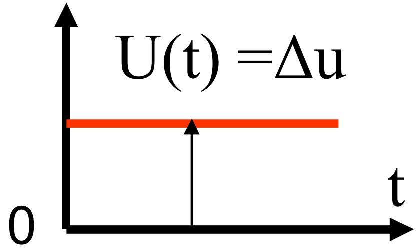


2.2- Méthode directe : confrontation de la réponse théorique et expérimentale

Identification d'un système continu du premier ordre plus retard :


$H(s) = \dfrac{Ke^{-s\tau}}{1+sT}$
Entrée : U(s)
Sortie : Y(s)
U(t) = Δu
t
Y(t)
100%
63%
Δy= KΔu
t
T
τ

Identification d'un système continu du deuxième ordre



$$\frac{Ke^{-\tau s}}{1 + 2\zeta \dfrac{s}{\omega_0} + \dfrac{s^2}{\omega_0^2}}$$

Entrée : U(s)

Sortie : Y(s)

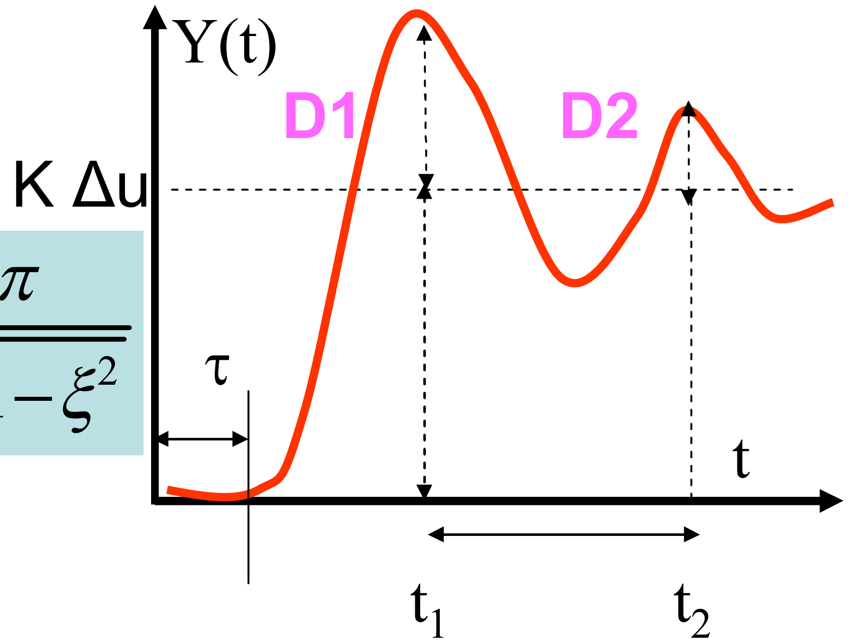
$$\frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} = \frac{1}{2\pi}\ln\frac{D_1}{D_2}$$

ou

$$D_1 = K.e^{\frac{-\zeta\pi}{\sqrt{(1-\zeta^2)}}}$$

$$\tau = t_1 - \frac{T_p}{2}$$

$$t_2 - t_1 = T_p = \frac{2\pi}{\omega_0\sqrt{1-\xi^2}}$$



2.3 Méthode de Strejc-Davoust

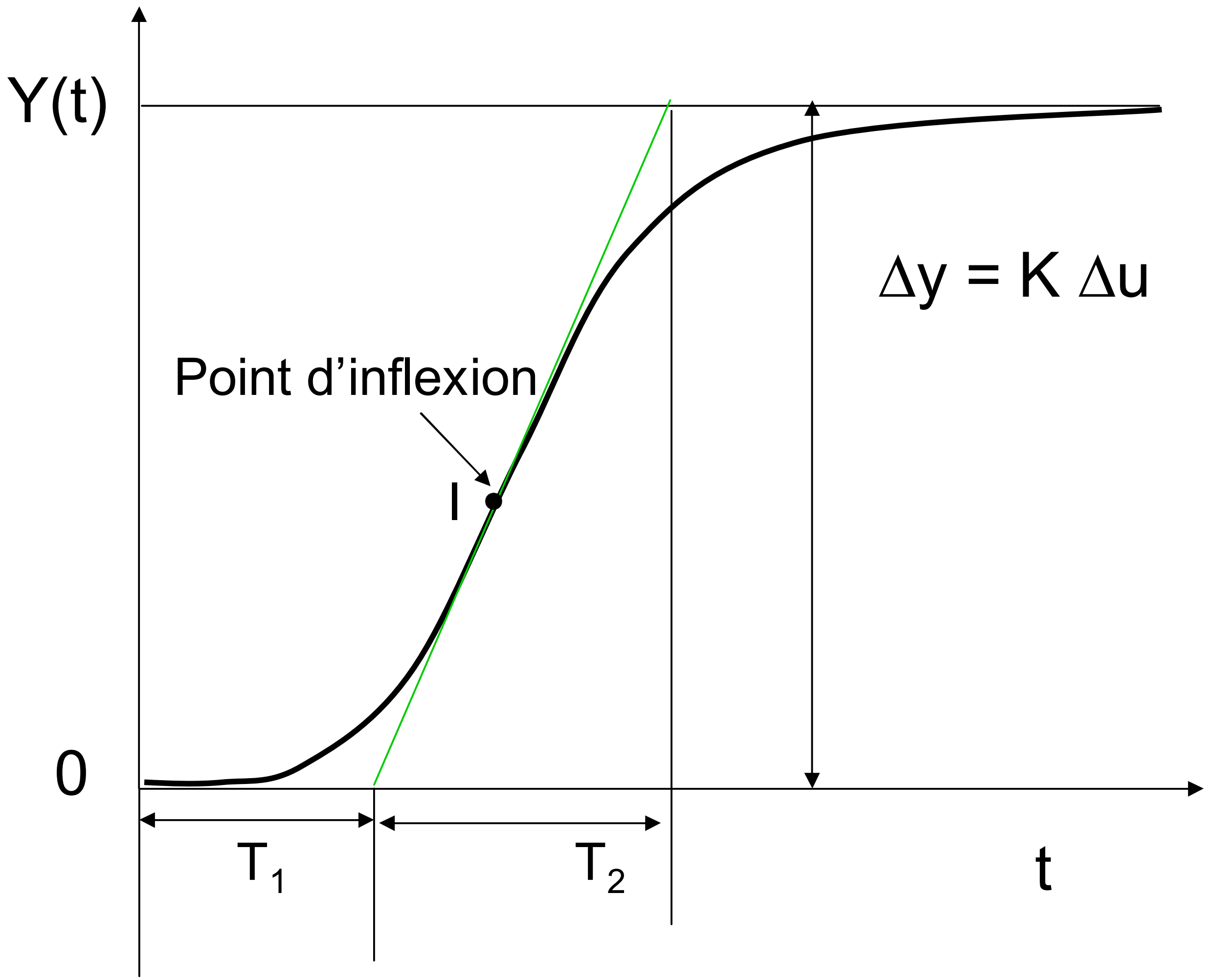
2.3.1 Système naturellement stable ou autorégulant

$$H(s) = K.\frac{e^{-\tau s}}{(1+Ts)^n}$$

Les paramètres à identifier sont donc :

- le gain statique K,
- le retard τ,
- la constante du temps T,
- et l'ordre n.

on dispose de la réponse Y(t) (variation de la sortie) suite à un échelon d'entrée $U(t)=\Delta u$.



- Le gain statique est mesuré directement par K= $\dfrac{\Delta y}{\Delta u}$

•On trace la tangente au point d'inflexion I pour déterminer deux valeurs : T1 et T2 (voir figure)

•Relever T1 et T2 en déduire l'ordre n en utilisant le tableau ci-joint . Entre deux lignes du tableau, on choisit la valeur de n la plus petite.

•Déterminer la constante du temps T à partir du tableau : $\dfrac{T_2}{T}$

•Déterminer le retard τ quand il existe à partir de la différence entre la valeur de T1 mesurée et celle donnée par la colonne du tableau. $\dfrac{T_1}{T_2}$

•Déterminer la constante du temps T à partir du tableau : $\frac{T_2}{T}$

•Déterminer le retard τ quand il existe à partir de la différence entre la valeur de T1 mesurée et celle donnée par la colonne $\frac{T_1}{T_2}$ du tableau.

Tableau pour estimer l’ordre, la constante de temps et le retard du modèle de Strejc (système autoréglant

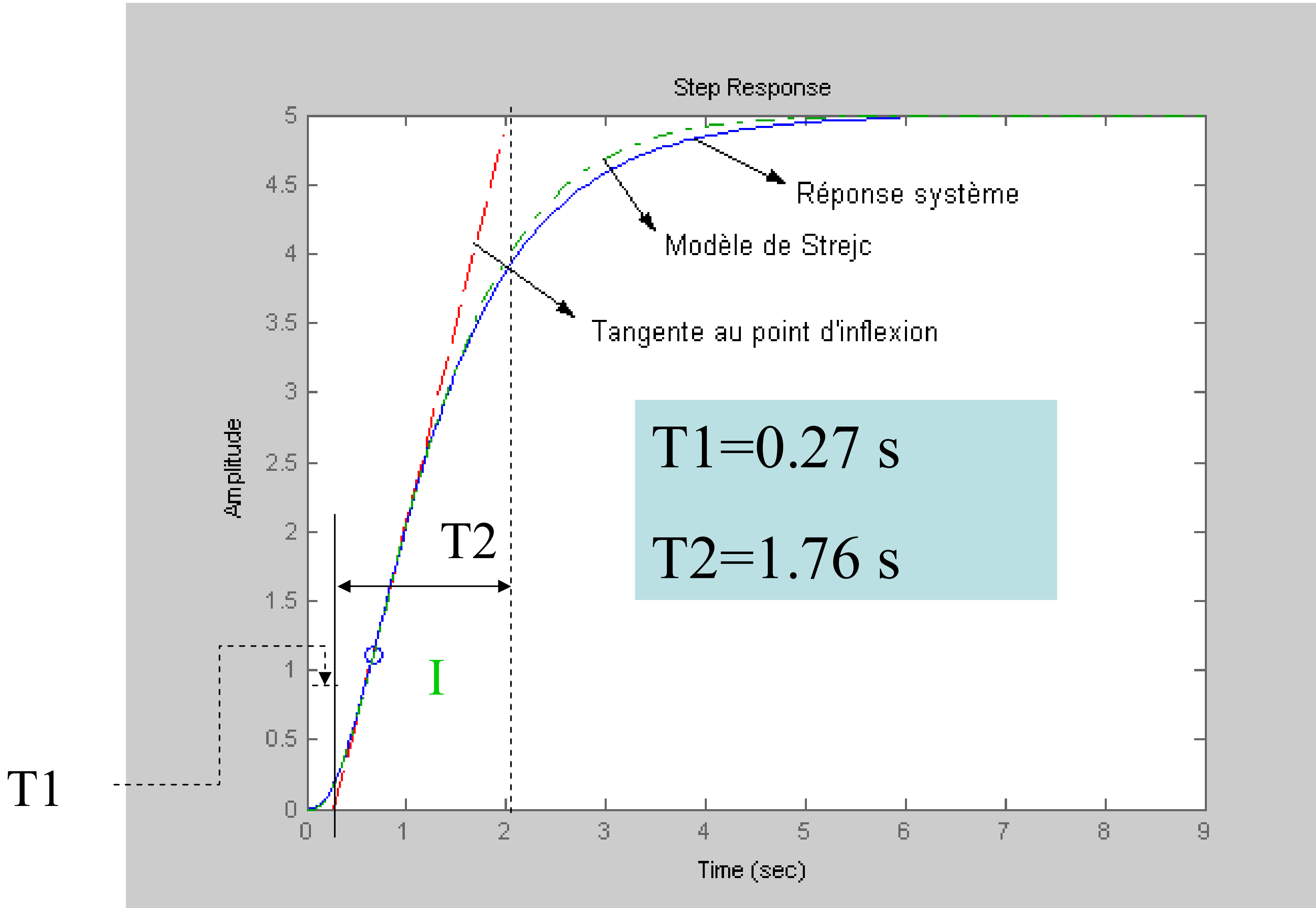
n	$\frac{T_1}{T}$	$\frac{T_2}{T}$	$\frac{T_1}{T_2}$
1	0	1	0
2	0.28	2.72	0.1
3	0.8	3.7	0.22
4	1.42	4.46	0.32
5	2.10	5.12	0.41
6	2.81	5.70	0.49

Exemple d'application de la méthode de Strejc

Soit le système de F.T :

$$H(s)=\frac{100}{(s+4)(s+5)(s+1)}$$

Sa réponse indicielle ($\Delta u = U(t) = 1$)est sur la figure suivante en trait plein bleu :


Step Response
Amplitude
Time (sec)
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Réponse système
Modèle de Strejc
Tangente au point d'inflexion
T1=0.27 s
T2=1.76 s
T2
I
T1

•Le Gain statique est mesuré directement par la valeur finale de la sortie : K=5=Δy/(Δu =1).

•On trace la tangente au point d'inflexion I et on mesure : T1 =0.27s et T2 =1.76s

•D'après le tableau, avec $\frac{T_1}{T_2} = 0.15$, un ordre n=2 semble convenir.

•La constante de temps T est évaluée à partir de

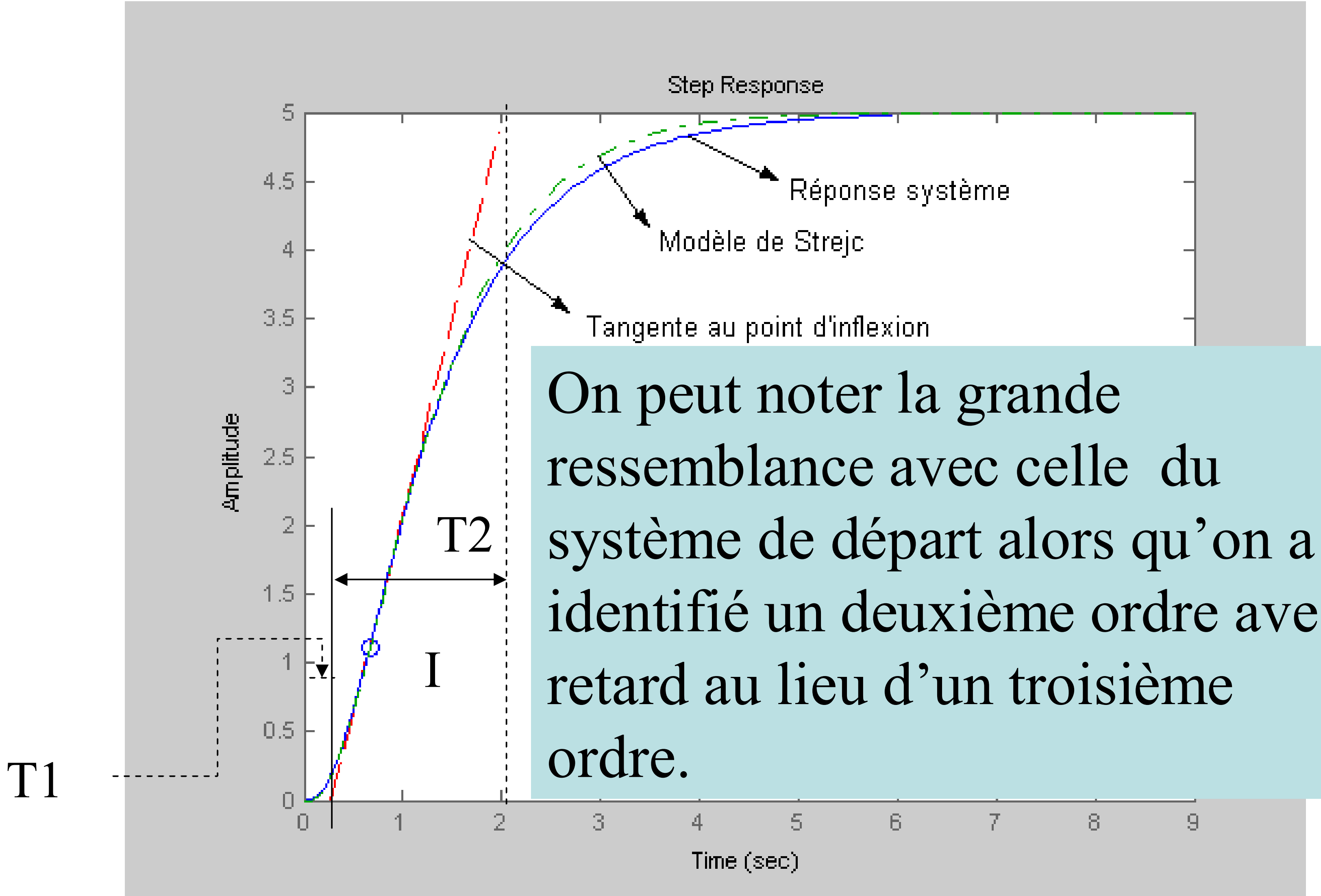
$\frac{T_2}{T} = 2.72$ au tableau. Cela donne **T = 0.65s.**

•D'après le tableau , $\frac{T_1}{T} = 0.28$, ce qui donnerait une

valeur de T1 = 0.18. Or On mesure T1 =0.27s. On peut en déduire le retard **τ = 0.27-0.18=0.09s**

La méthode identifie la réponse indicielle comme étant proche de celle du système suivant :

$$H(s) = 5.\frac{e^{-0.09s}}{(1+0.65s)^2}$$



On peut noter la grande ressemblance avec celle du système de départ alors qu'on a identifié un deuxième ordre avec retard au lieu d'un troisième ordre.

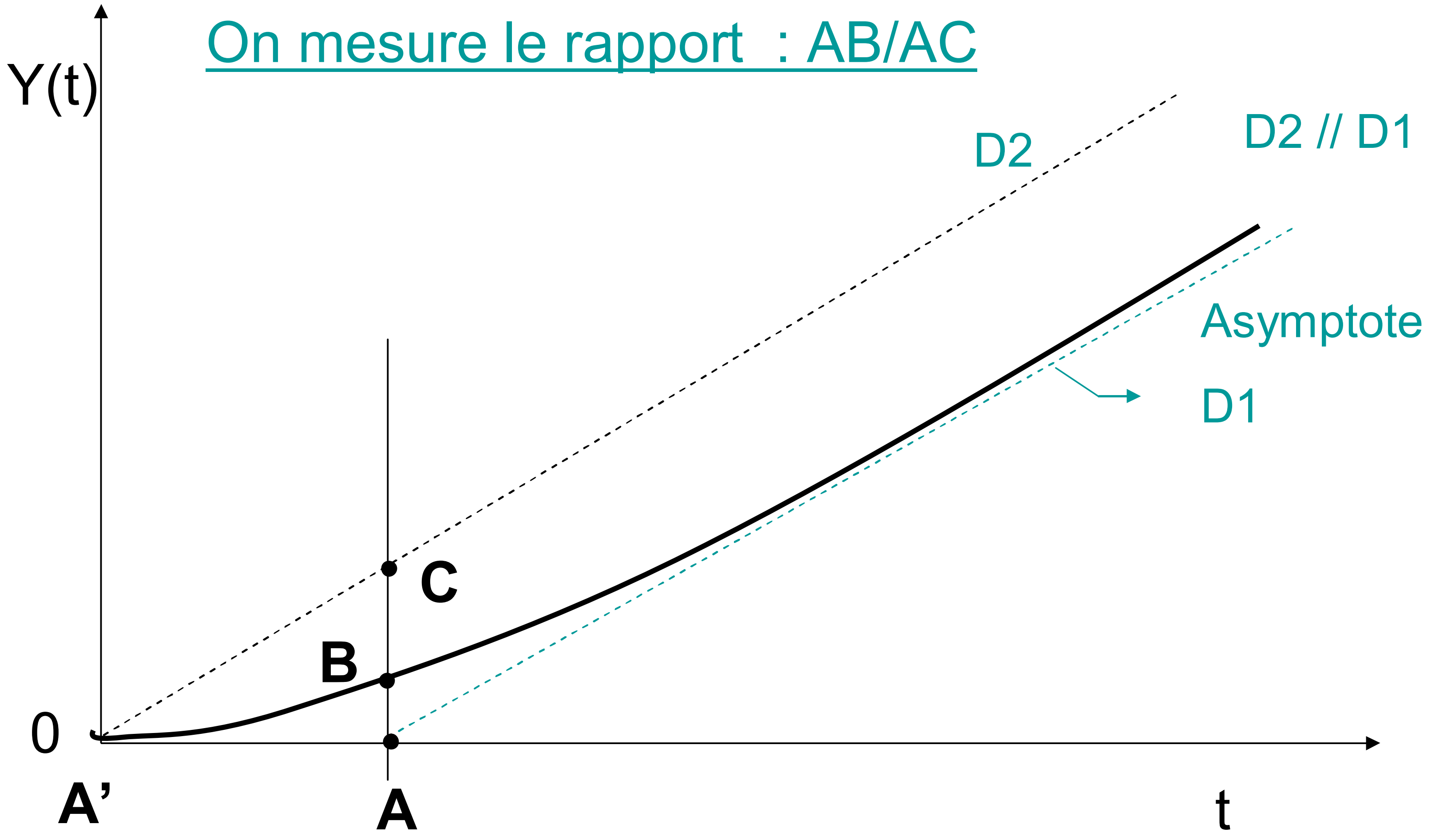
2.3.2 Système intégrateur

$$H(s) = k.\frac{e^{-\tau s}}{s(1+Ts)^n}$$

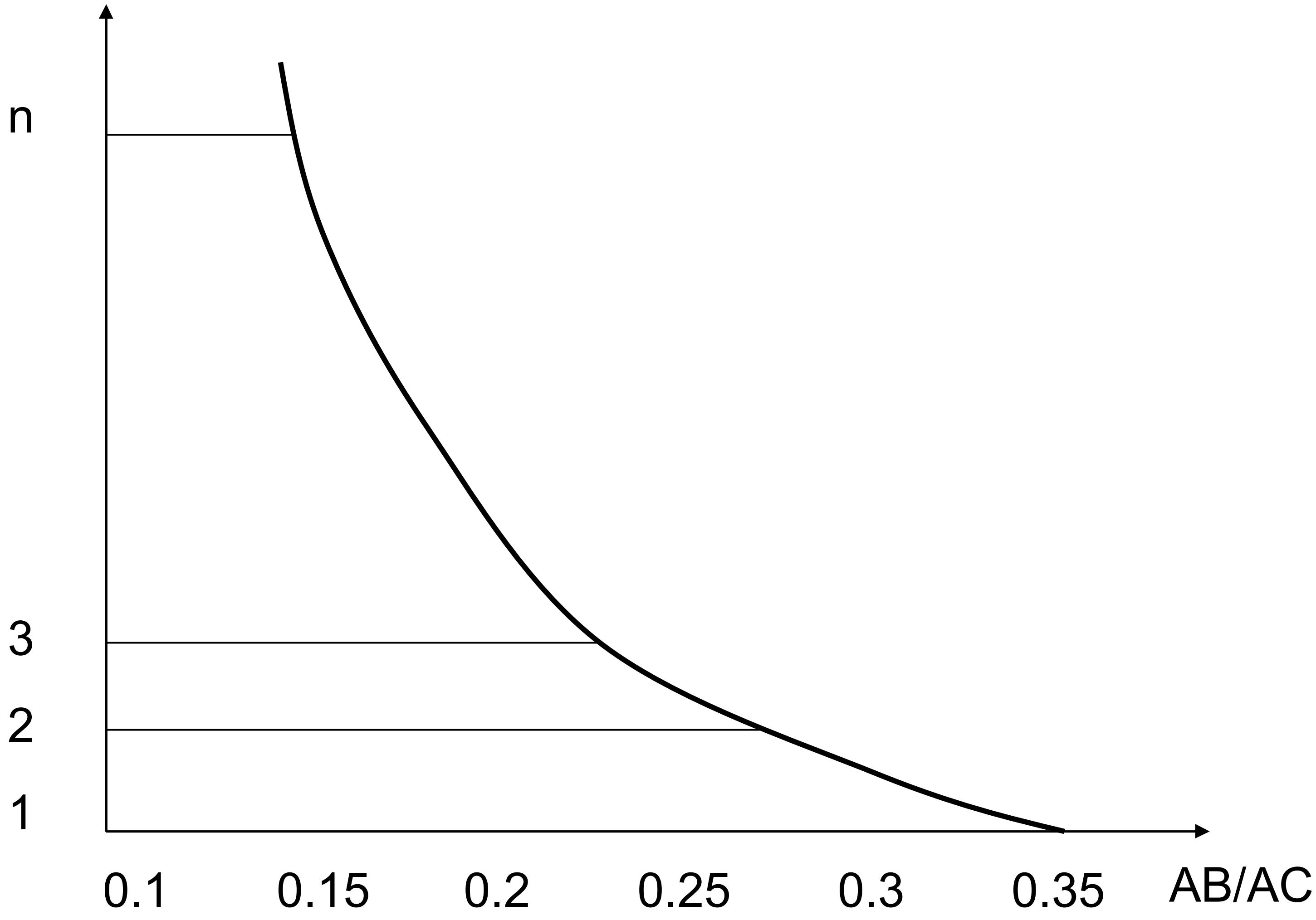
Les paramètres à identifier sont donc :

- le coefficient d'intégration k,
- le retard τ,
- la constante du temps T,
- et l'ordre n.

Réponse Y(t) du système intégrateur suite à un échelon Δu :



Ce rapport permet de déterminer n (figure), voir TD .



-Si n est entier , calculer T=A’A/n et le temps mort τ est nul.

-Si n n’est pas entier , déterminer le nouveau rapport AB/AC correspondant à la partie entière de n. Pour cela déplacer D2 parallèlement à D1 vers D1 pour obtenir ce nouveau rapport. Le temps mort τ est égale à la translation effectuée par D2. Calculer T à partir de A’A = τ +nT

Calculer le coefficient d’intégration k :

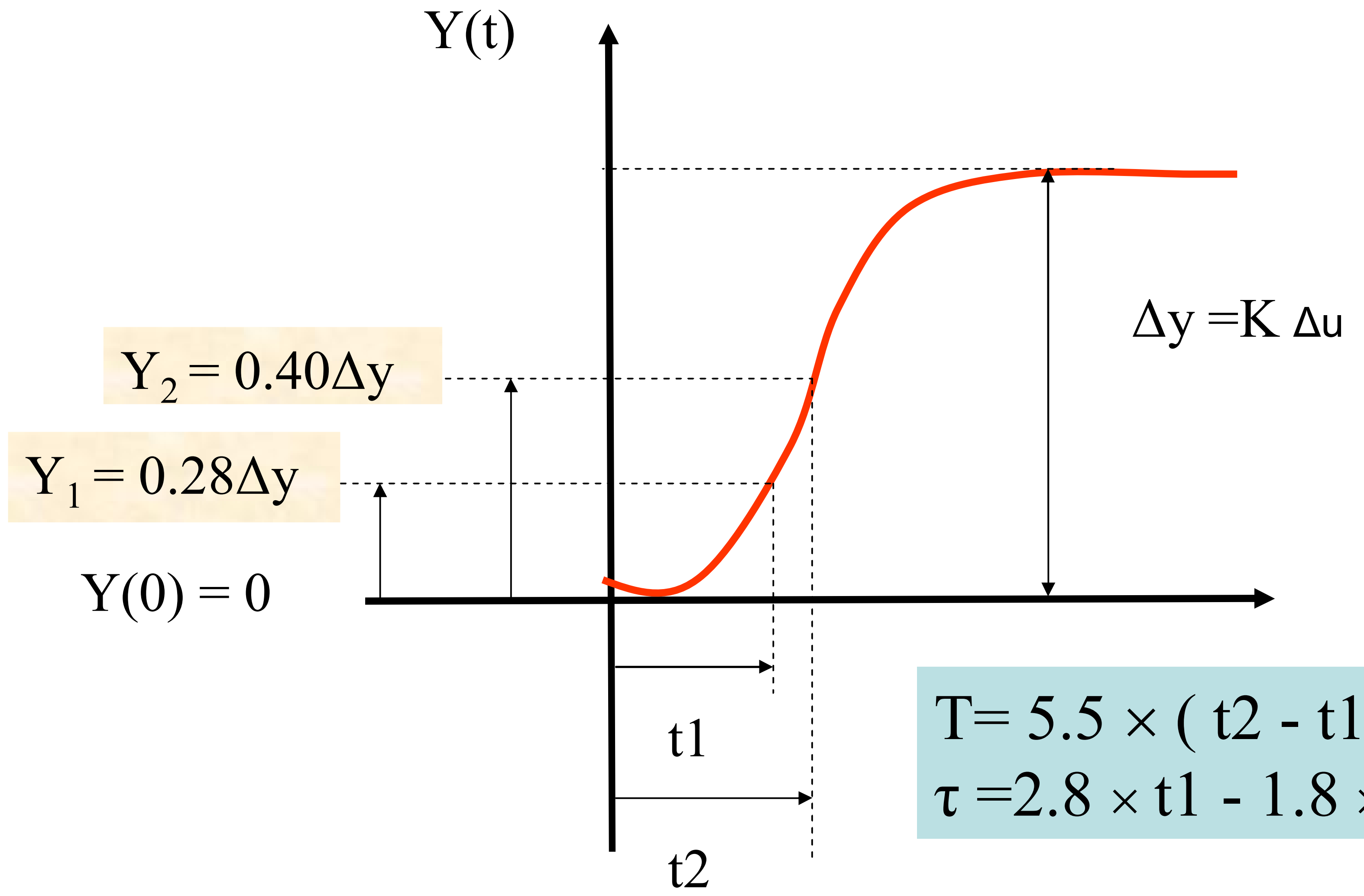
$$\boxed{k = \frac{\left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right)}{\Delta u} = \frac{\left(\frac{AC}{A'A}\right)}{\Delta u}}$$

2.4 Méthode de Broïda

Système naturellement stable ou autoréglant

Le modèle proposé pour approcher le comportement du système est un premier ordre plus retard pur. Sa FT est :

$$H(s) = K\frac{e^{-\tau s}}{1 + Ts}$$



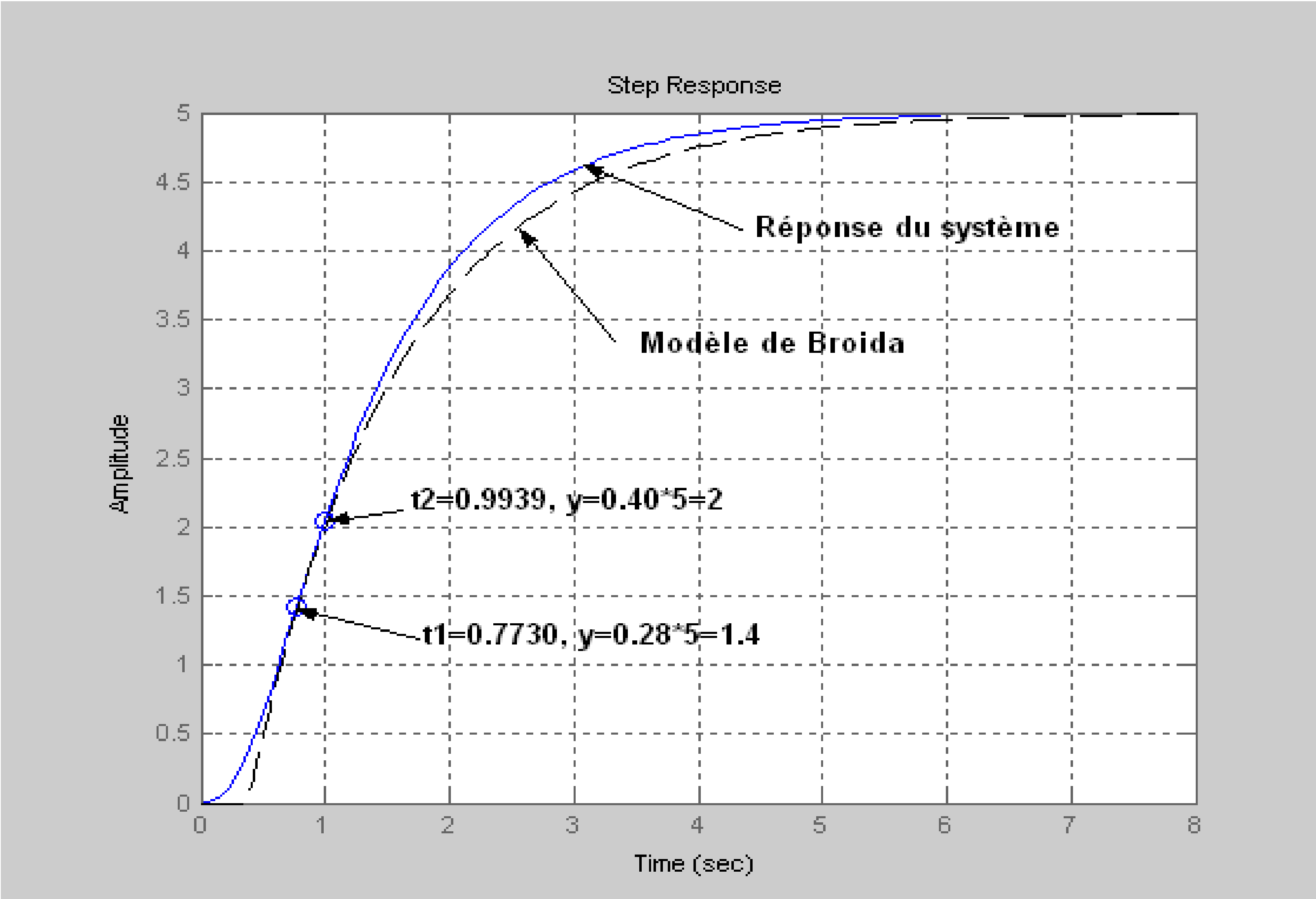
$$T = 5.5 \times (t2 - t1)$$
$$\tau = 2.8 \times t1 - 1.8 \times t2$$

Le modèle de Broïda donne un modèle correct si $T > 4.\tau$

Exemple d'application de la méthode de Broïda

On reprend le système précédent de F.T :

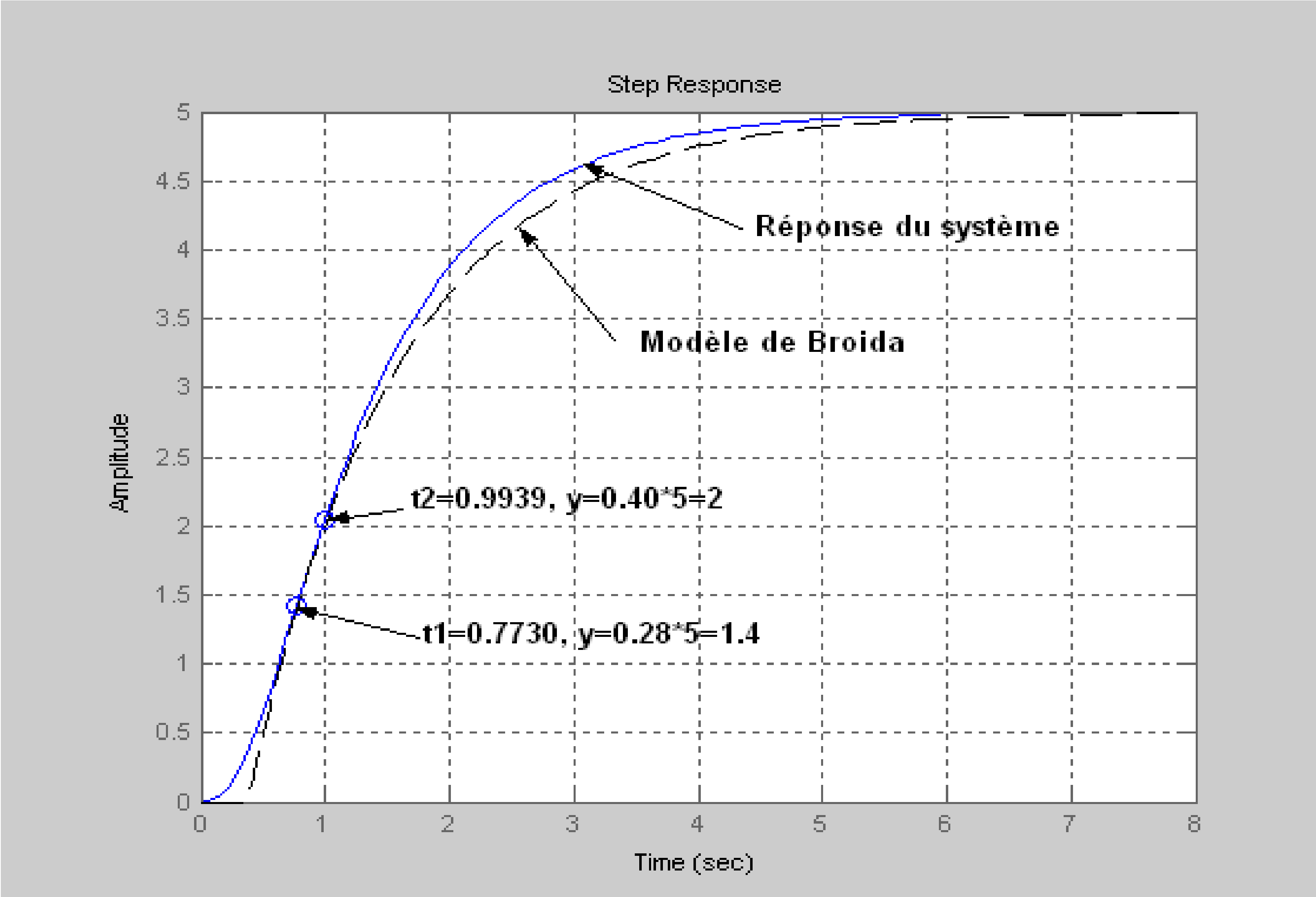
$$H(s) = \frac{100}{(s+4)(s+5)(s+1)}$$


Step Response
Amplitude
Time (sec)
Réponse du système
Modèle de Broida
t2=0.9939, y=0.40*5=2
t1=0.7730, y=0.28*5=1.4
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
0
1
2
3
4
5
6
7
8

Le gain K est déterminé comme dans la méthode de Strejc. La méthode de Broïda donne le modèle suivant :

$$H(s) = \frac{5\,e^{-0.375s}}{1+1.21s}$$

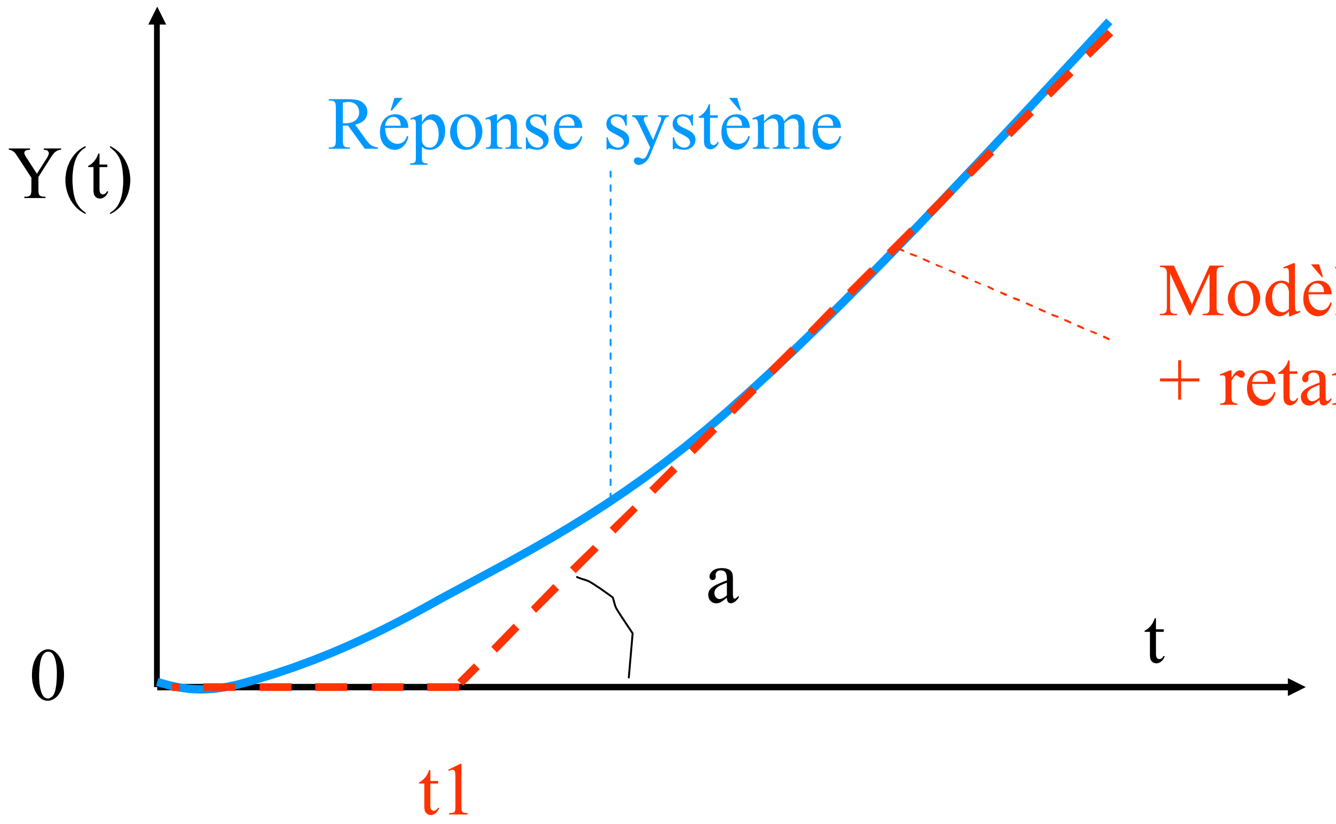
On trace les courbes de réponse du système réel et du modèle de Broida et on obtient :



La concordance des deux points d'intersection est bien vérifiée

2.5 Méthode rapide pour un procédé intégrateur

La réponse à un échelon d'un procédé intégrateur est une rampe, en régime permanant, L'asymptote de cette réponse est une droite d'équation $Y(t)= a\ (t - t1)$ de pente a et qui coupe l'axe en t1:



On identifie la réponse du système réel à la réponse d'un système intégrateur pur avec retard c'est-à-dire de fonction de transfert :

$$H(s) = \frac{k\, e^{-\tau s}}{s}$$

Les paramètres de ce système sont donnés par :

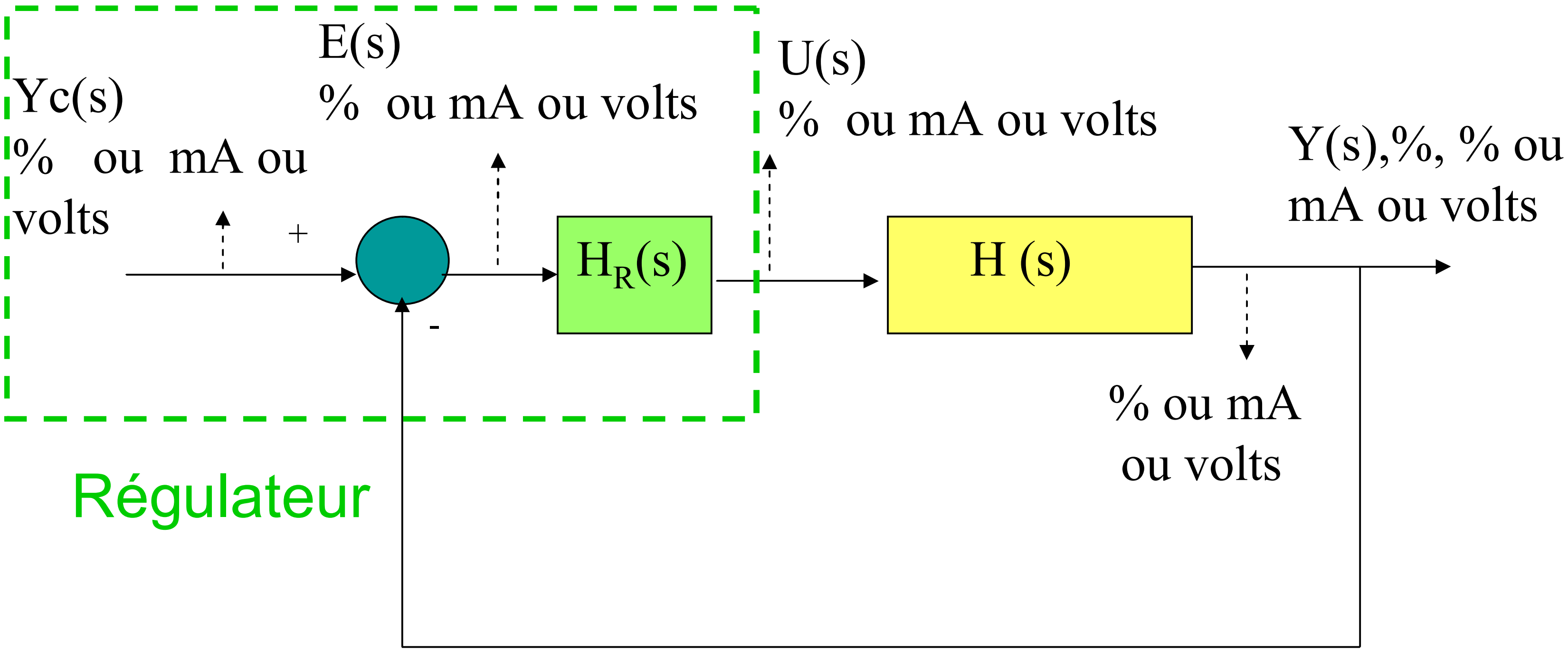
$$k = \frac{a}{\Delta u}$$

et $\tau = t1$

où Δu est l'amplitude de l'échelon appliqué en entrée

3- Identification en boucle fermée

Le procédé à identifier est de fonction de transfert H(s) contrôlé par un régulateur de fonction de transfert $H_R(s)$



3.1 Premier essai

Ce premier essai pour savoir si le procédé est naturellement stable ou s'il est intégrateur.

On parte du régime nominal , c'est-à-dire nous avons <u>mesure = consigne</u> au départ. Ensuite on configure le régulateur pour être seulement <u>proportionnel</u> soit $H_R(s) = K_R$ avec un gain faible K_R = 1 ou 0.5 et on crée un échelon de consigne Δy_c.

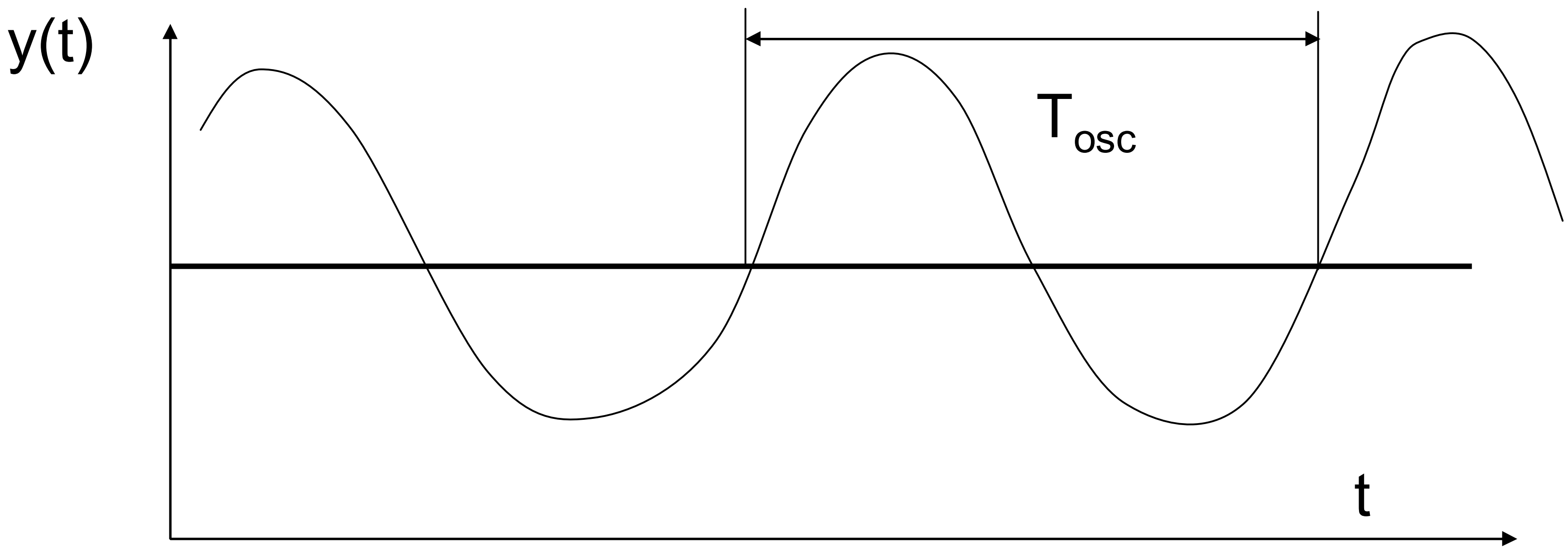
- Si la mesure ne rejoint pas la consigne, il reste un écart statique ou de position ε_p. Dans ce cas le procédé est naturellement <u>stable</u> de gain statique K et on montre (voir chapitre 5) que :

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta y_c}{K_R K + 1}$$

-Si la mesure rejoint la consigne le procédé étudié est naturellement <u>instable.</u>

3.2 Deuxième essai

On augmente petit à petit le gain du régulateur et on crée à chaque fois une perturbation de consigne $+\Delta y_c$ qu'on maintient quelques secondes puis on remet la consigne à sa valeur initiale c'est-à-dire on crée $-\Delta y_c$. On continue l'expérience jusqu'à mettre le procédé en <u>oscillations juste entretenues</u> et on enregistre le signal de sortie y(t).



Lorsque le procédé asservi fonctionne en régime harmonique, le gain K_R est appelé gain critique du régulateur K_{RC} et la période d'oscillations est T_{osc}.

On montre (voir critères de stabilité au chapitre 5) :

La condition d'amplitude :

$$\left|FTBO\ (j\omega_{osc}) = K_{RC}.H(j\omega_{osc})\right| = 1$$

La condition de phase :

$$Arg(FTBO(j\omega_{osc}) = K_{RC}.H(j\omega_{osc})) = -\pi$$

A partir de ces deux équations, on trouve les paramètres du modèle imposé..

Exemple : procédé naturellement stable :

On prend le modèle de Strejc sans retard $\tau = 0$, il vient alors :

$$FTBO(s) = K_R H(s) = K_R \frac{K}{(1+Ts)^n} \Rightarrow FTBO(j\omega) = K_R \frac{K}{(1+jT\omega)^n}$$

Donc lorsque on obtient le pompage on note $K_{RC}=K_R$ et on mesure à partir de la période des oscillations $\omega=\omega_{osc}$ ($\omega_{osc} = \frac{2\pi}{T_{osc}}$) ,on peut écrire :

$$\frac{K_{RC} K}{(\sqrt{(1+\omega_{osc}{}^2 .T^2)})^n} = 1 \quad ; \quad \varphi(\omega_{osc}) = -n .\arctan(\omega_{osc} T) = -\pi$$

Le gain K est normalement déterminé par une réponse indicielle en BO ou en BF. La résolution des équations donne l'ordre n et la constante du temps par :

$$K_{RC}K = \left(\frac{1}{\cos(\pi/n)}\right)^n \quad ; \quad T = \frac{1}{\omega_{osc}}\tan(\pi/n)$$

Si on prend le modèle du Broïda :

$$H(s) = \frac{K.e^{-\tau s}}{(1+Ts)} \Rightarrow FTBO(j\omega) = \frac{K_R.K.e^{-j\tau\omega}}{(1+j\omega T)}$$

Par la même procédure que précédemment, on obtient :

$$\frac{K_{RC}K}{(\sqrt{(1+\omega_{osc}{}^{2}.T^{2}})} = 1 \quad ; \quad \varphi(\omega_{osc}) = -\omega_{osc}\tau - \arctan(\omega_{osc}T) = -\pi$$

Ce qui conduit à :

$$T = \frac{1}{\omega_{osc}}\sqrt{(K_{RC}.K)^{2} - 1}$$

$$\tau = \frac{1}{\omega_{osc}}(\pi - \arctan(\sqrt{(K_{RC}.K)^{2} - 1}))$$