Identification des procédés industriels

1 Introduction

La fonction de transfert réelle d'un procédé industriel est pratiquement impossible à déterminer. Il est alors nécessaire d'utiliser un modèle qui soit le plus représentatif possible de ce procédé. Identifier un procédé, c'est rechercher à partir d'enregistrements, les paramètres qui caractérisent son modèle.

Parmi les nombreuses méthodes d'identification existantes, nous utilisons des méthodes simples applicables sans matériel spécial et sans connaissances théoriques particulières.

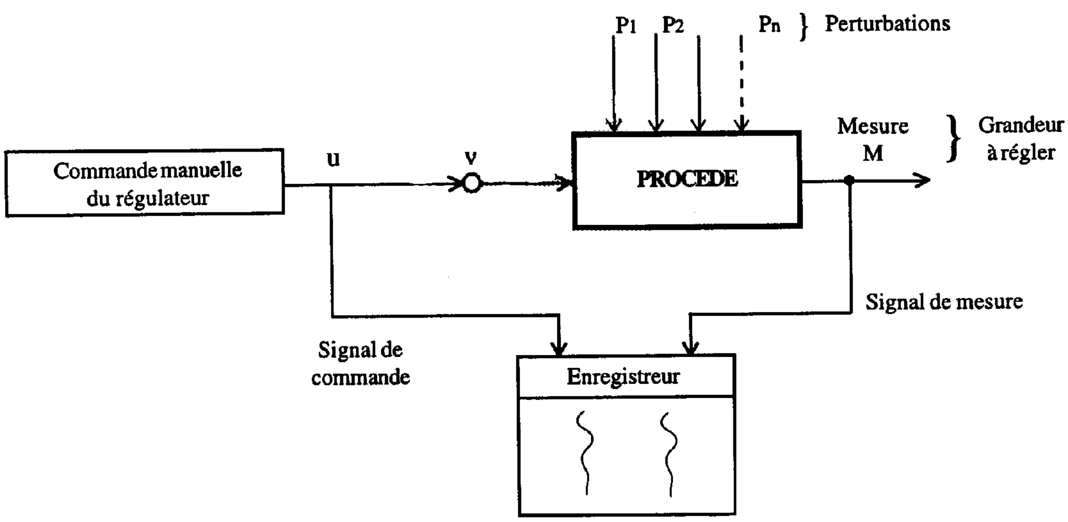
On utilise des méthodes d'identification qui permettent de trouver un modèle de comportement traduisant le plus fidèlement le procédé autour d'un point de fonctionnement.

La connaissance des paramètres caractéristiques d'un procédé peut-être utile en particulier dans les domaines suivants:

- Réglage des actions dans les boucles de régulation ;
- Choix des modes de régulation,
- Modélisation des procédés pour des correcteurs numériques, afin de réaliser des régulations par modèle interne de référence (stage PR3)

2 Méthode d'identification en boucle ouverte

2.1 Mode opératoire :



♦ Stabiliser la mesure **M(t)** au point de fonctionnement choisi ou aux conditions moyennes. Le système pouvant présenter des non-linéarités (voir courbes d'essais statiques), il est important d'analyser au point de fonctionnement futur.

♦ Régulateur en manuel ⇒ boucle ouverte.

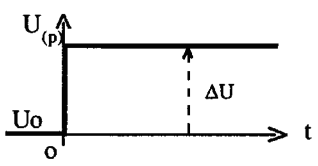
♦ Faire un échelon **ΔU** à l'aide de la commande manuelle sur le signal de vanne. Cet échelon doit être suffisamment grand afin d'obtenir une réponse sur l'enregistrement de la mesure exploitable et suffisamment faible afin de ne pas dépasser les limites de linéarité du procédé.

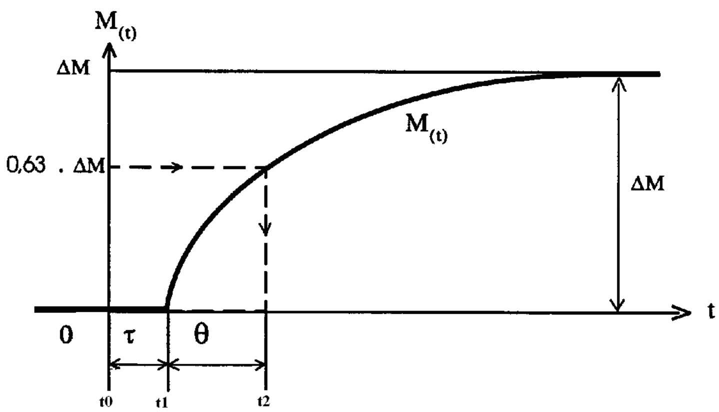
♦ Exploitation graphique de l'enregistrement du signal de mesure **M(t).**

2.2 Procédés naturellement stable : Types de réponses :

2.2.1 Procédé à dominante du premier ordre avec retard :

La fonction de transfert **:** $$HR(p) = \frac{Gs.e^{-\tau p}}{1+\theta .p}$$





Echelon sur la commande de la vanne ***Réponse de la mesure***

A partir des constructions fournies, on calcule :

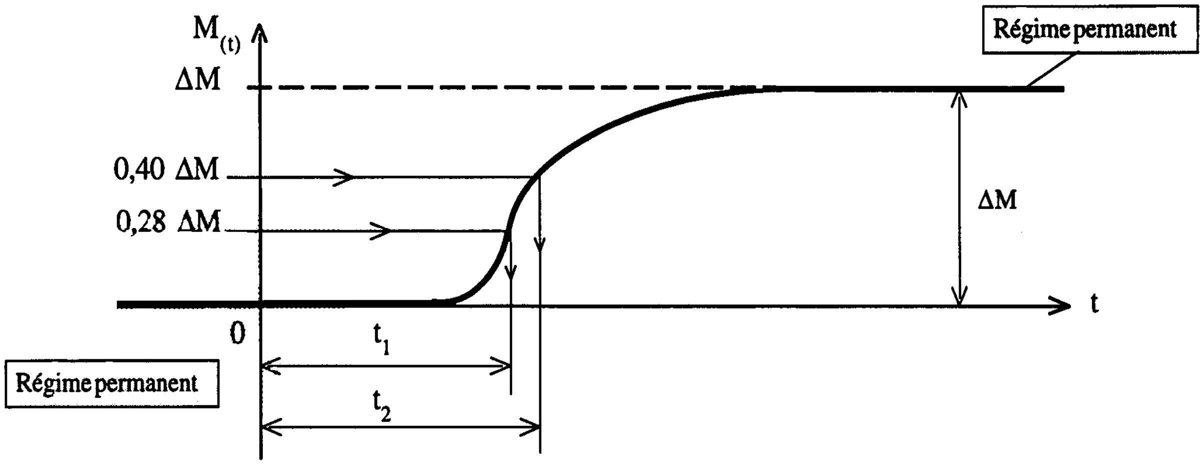
- Le gain statique : **Gs = ΔM/ ΔU** ;
- Le retard : **τ = t1 - t0** ;
- La constante de temps : **θ = t2 - t1**.

2.1.2 Procédé du nième ordre avec retard :

La figure suivante montre la construction graphique à réaliser, cette construction est basée sur la méthode mise au point par **V.BROIDA** : recherche des temps **t1** et **t2** correspondants à **28%** et **40%** de la variation ΔM.

$$HR(p) = \frac{Gs.e^{-\tau p}}{(1+\theta 1.p)(1+\theta 2.p).....(1+\theta n.p)} = \frac{Gs.e^{-\tau p}}{(1+\theta.p)}$$

Allure générale du signal de mesure



Le problème d'identification consistera donc à déterminer les paramètres suivants

θ : **Constante du temps** (sec.) , τ: Temps **de retard pur** (sec.)

Afin de déterminer des valeurs de ces paramètres, Broïda fait correspondre la réponse indicielle à identifier et la fonction de transfert du 1[er] ordre affectée d'un retard en deux points t1 et t2 d'ordonnées correspondant à 28% et 40% de la valeur finale de la sortie du système.

$$M(t) = \Delta M.(1 - e^{-\frac{t-\tau}{\theta}})$$

Il suit de cette hypothèse, les systèmes d'équation suivants :

$$1 - e^{-\frac{t1-\tau}{\theta}} = 0.28 \Rightarrow e^{-\frac{t1-\tau}{\theta}} = 1 - 0.28 = 0.72 \Rightarrow \quad e^{-\frac{t1}{\theta}}.e^{\frac{\tau}{\theta}} = 0.72$$

$$1 - e^{-\frac{t2-\tau}{\theta}} = 0.40 \Rightarrow e^{-\frac{t2-\tau}{\theta}} = 1 - 0.4 = 0.6 \Rightarrow \quad e^{-\frac{t2}{\theta}}.e^{\frac{\tau}{\theta}} = 0.6$$

D’où

$$\frac{e^{-\frac{t1}{\theta}}.e^{\frac{\tau}{\theta}}}{e^{-\frac{t2}{\theta}}.e^{\frac{\tau}{\theta}}}=\frac{0.72}{0.6}=1.2 \Rightarrow \frac{e^{\frac{t1}{\theta}}}{e^{\frac{t2}{\theta}}}=e^{\frac{-(t1-t2)}{\theta}}=1.2 \Rightarrow \boxed{\theta=\frac{(t2-t1)}{\ln(1.2)}=5.5.(t2-t1)}$$

De même

$$1-e^{-\frac{t1-\tau}{\theta}}=0.28 \Rightarrow e^{-\frac{t1-\tau}{\theta}}=1-0.28=0.72 \Rightarrow e^{-\frac{t1}{\theta}}.e^{\frac{\tau}{\theta}}=0.72$$

$$\Rightarrow e^{\frac{\tau}{\theta}}=\frac{0.72}{e^{\frac{-t1}{\theta}}}=\frac{0.72}{e^{\frac{t1}{5.5(t1-t2)}}} \Rightarrow$$

$$\frac{\tau}{\theta}=\ln(0.72)-\frac{t1}{5.5(t1-t2)}=-0.328-\frac{t1}{5.5(t1-t2)} \Rightarrow$$

$$\tau=-0.328.5.5.(t2-t1)+t1=-1.8.(t2-t1)+t1 \;=2.8.t1-1.8.t2$$

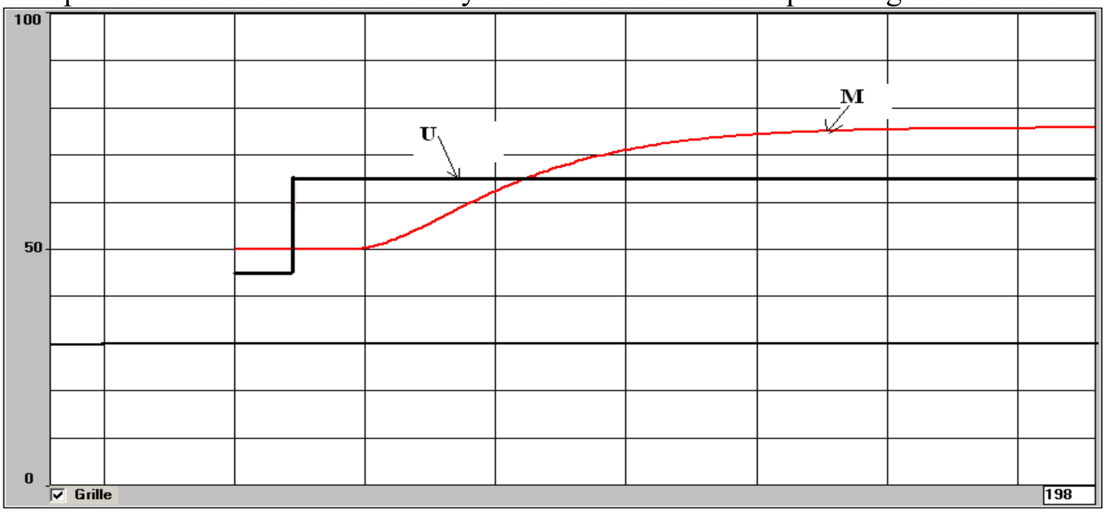
Donc $\boxed{\tau=2.8.t1-1.8.t2}$

2.1.3 Calcul des paramètres du modèle :

- Constante de temps	**$\theta = 5,5\ (t_2 - t_1)$**
- Temps mort	**$\tau = 2,8\ t_1 - 1,8\ t_2$**
- Gain statique	**$Gs = \frac{\Delta M}{\Delta U}$**

2.1.4 Exemple :

La réponse en boucle ouverte d'un système stable est donnée par la figure suivante :



En régime permanent :

ΔU= 20 % ; ΔM= 26 % d'où Gs = 26/20 = 1.3
A **28%** de **ΔM (7.28 %)** correspond **t1 = 50 s**
A **40%** de **ΔM (10.4 %)** correspond **t2 = 56 s**

Les calculs de θ et τ donnent alors :

θ = 5.5(t2-t1) = 5.5.6 = 33 s
τ = 2.8.t1 – 1.8.t2 = 39.2 s

La fonction de transfert du procédé est :

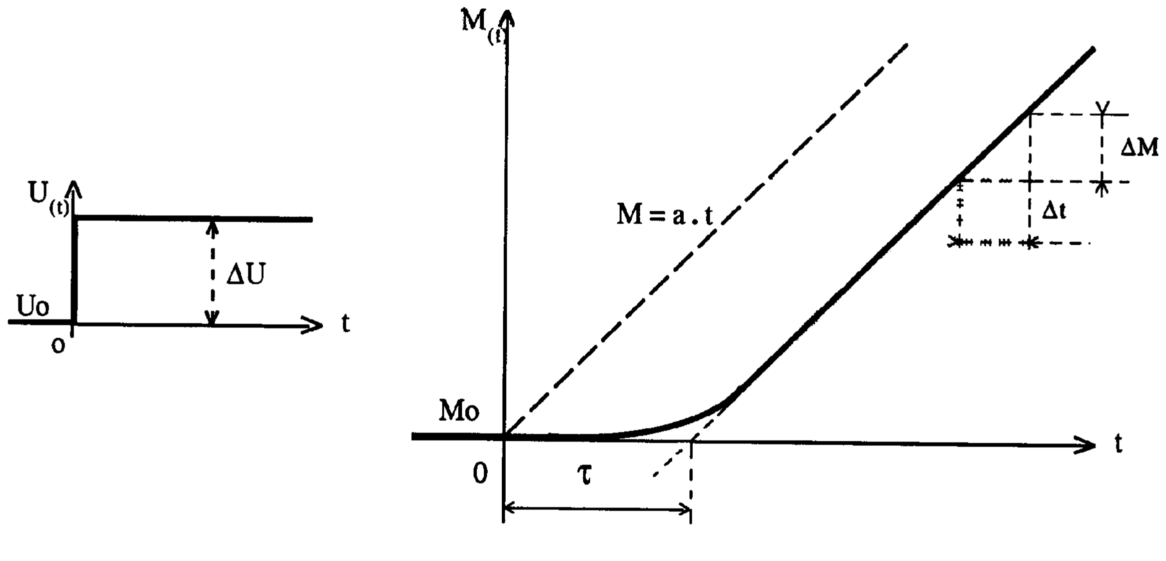
$$HR(p) = \frac{1.3.e^{-39.2p}}{(1+33.p)} =$$

2.3 Procédés naturellement instables:

Quelle que soit la méthode employée, les paramètres du modèle du procédé à identifier sont ceux d'un intégrateur pur avec retard : **k** et τ.

La fonction de transfert de ce modèle est la suivante :

$$HR(p) = \frac{k.e^{-\tau p}}{p.(1+\theta 1.p)(1+\theta 2.p).....(1+\theta n.p)} = \frac{k.e^{-\tau p}}{p}$$



- Le temps mort du modèle est déterminé graphiquement

- Coefficient d'intégration du procédé : $\mathbf{k} = \dfrac{\Delta M\%}{\Delta U\%.\Delta t}$

Remarque :

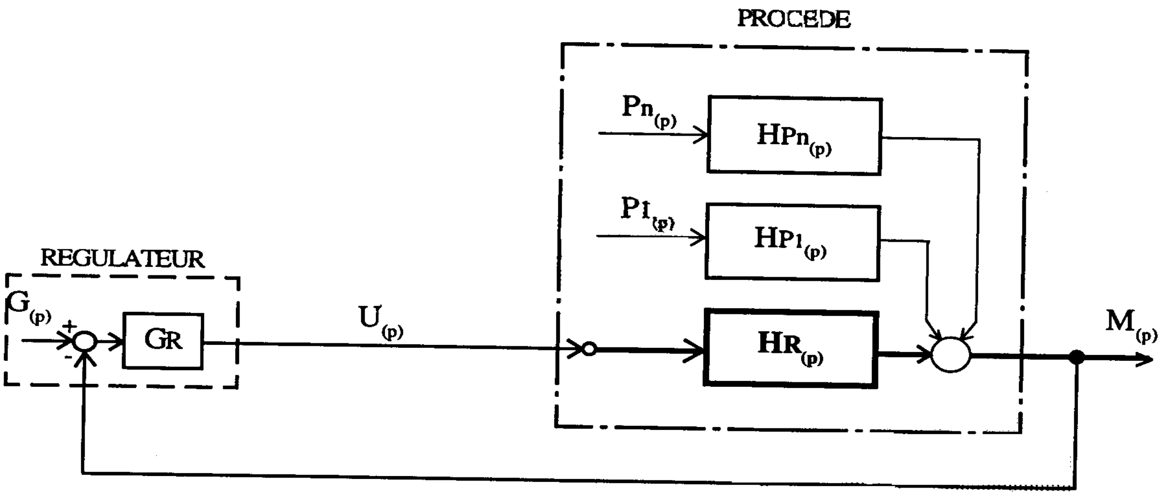
- Cette méthode d'identification en boucle ouverte doit être utilisée avec précautions, compte-tenu du caractère instable du procédé.

- Pour restabiliser le procédé, passer le régulateur en automatique et en proportionnelle seule, avec un gain assurant la stabilité.

3 Méthode d'identification en boucle fermée

3.1 Procédés naturellement stables

3.1.1 Schéma fonctionnel :



3.1.2 Modèle recherché :

On approximera le procédé à une fonction de transfert du premier ordre avec retard. C'est une identification paramétrique car on choisit à priori un modèle et on cherche par cette méthode, les paramètres de la fonction de transfert du modèle.

$$HR(p) = \frac{Gs.e^{-\tau p}}{(1+\theta 1.p)(1+\theta 2.p).....(1+\theta n.p)} = \frac{Gs.e^{-\tau p}}{(1+\theta.p)}$$

3.1.3 Mode opératoire :

La méthode d'identification en boucle fermée nécessite deux essais :

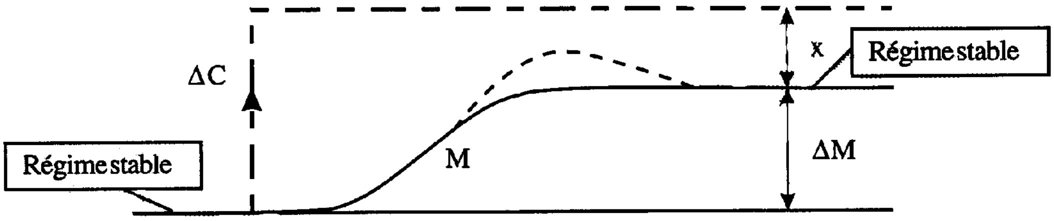
- Premier essai : Recherche du gain statique **Gs**

- Deuxième essai : Recherche des paramètres dynamiques θ et τ.

- ***Premier essai : Recherche du gain statique Gs***

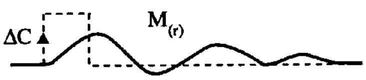
  - ♦ Se placer au point de fonctionnement et stabiliser la mesure. Egaler la consigne à la mesure (**C = M**)
  - ♦ Le régulateur en automatique et en action proportionnelle seule
  - ♦ Faire un échelon sur la consigne **ΔC**
  - ♦ Relever la variation de mesure **ΔM** et l'écart x (**x = C – M**)
  - ♦ Calculer le gain statique **Gs**.

$$\boxed{\mathbf{Gs} = \frac{\Delta \mathbf{M}}{\mathbf{x.\ GR}}}$$

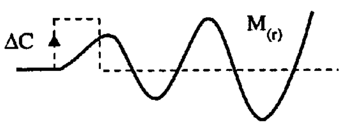


Deuxième essai : Recherche des paramètres dynamiques θ et τ

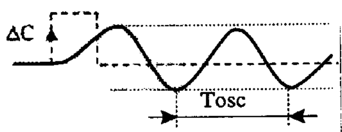
- ♦ Au point de fonctionnement
- ♦ Régulateur en automatique et en action proportionnelle seule.
- ♦ Augmenter progressivement le gain du régulateur en faisant de petits échelons sur la consigne jusqu'à l'obtention du « pompage » régulier de la mesure.



GR trop petit ou
BP% trop grand

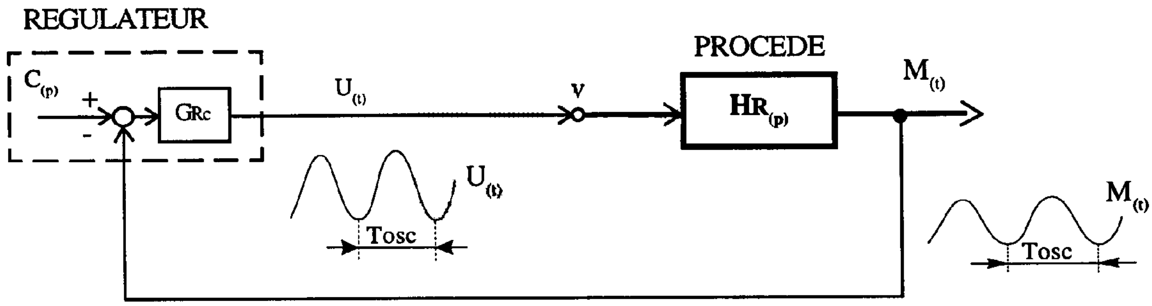


GR trop grand ou
BP% trop petite



GR correct
BP% correcte

♦ Relever la valeur du gain critique du régulateur (**GRc**) qui occasionne le pompage et la période des oscillations (**Tosc**) de la mesure $M_{(r)}$ [ou du signal de commande la vanne $U_{(t)}$].



Calculer Les paramètres dynamiques du modèle θ et τ

- **Gain de boucle critique GBc**

$$GBc = GRc.Gs$$

- **Constante de temps du modèle θ**

$$\theta = \frac{Tosc}{2.\pi}\sqrt{GBc^2 - 1}$$

- **Temps mort ou retard du modèle τ**

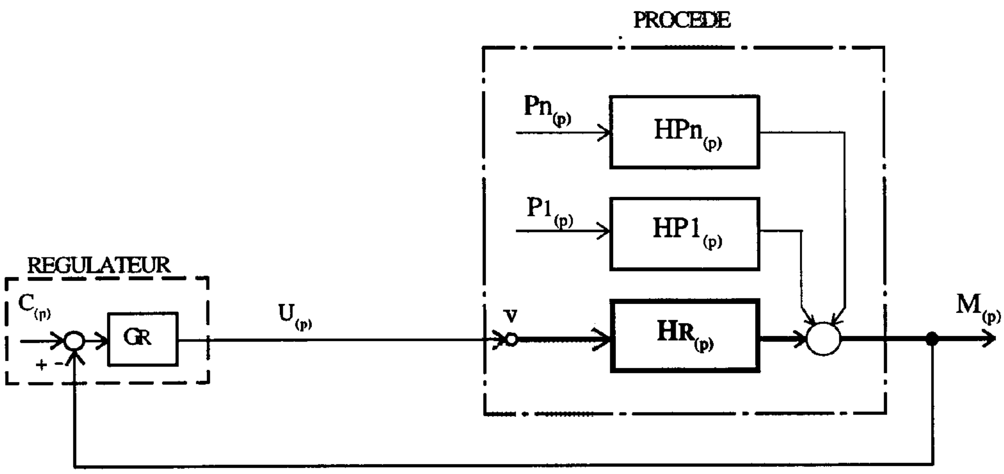
$$\tau = \frac{Tosc}{2.\pi}.(1 - \frac{\arctan g(\sqrt{GBc^2 - 1})}{\pi})$$ Si arc tg est exprimé en radiants

$$\tau = \frac{Tosc}{2.\pi}.(1 - \frac{\arctan g(\sqrt{GBc^2 - 1})}{180})$$ Si arc tg est exprimé en degrés

Si GBc >>1, on peut appliquer $\tau = \frac{Tosc}{4}$

3.2 Procédés naturellement instables :

3.2.1 Schéma fonctionnel :



3.2.2 Modèle recherché :

On approximera le procédé à une fonction de transfert intégrateur pur avec retard.

$$HR(p) = \frac{k.e^{-\tau p}}{p.(1+\theta 1.p)(1+\theta 2.p).....(1+\theta n.p)} = \frac{k.e^{-\tau p}}{p}$$

Mode opératoire :

- Se placer au point de fonctionnement
- Le régulateur en automatique et en action proportionnelle seule
- Augmenter progressivement le gain du régulateur en faisant de petits échelons sur la consigne jusqu'à l'obtention du pompage régulier de la mesure.
- Relever la valeur du gain critique du régulateur (**GRc**) qui occasionne le pompage et la période des oscillations (**Tosc**) de la mesure M(t). [ou du signal de commande de la vanne u(t)].
- Calculer les paramètres k et τ du modèle

- Coefficient d'intégration k : $k = \frac{2.\pi}{Tosc.GRc}$

- Temps mort ou retard du modèle τ : $\tau = \frac{Tosc}{4}$