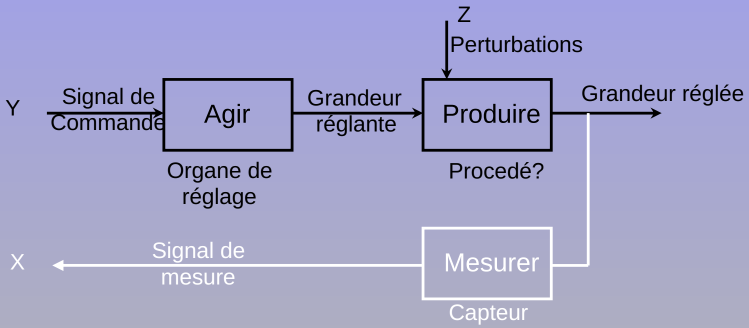
Etude des procédés en BO

LPro Rob&IA

IUT de Béziers

Programme de l'exposé

Structure d'une Boucle Ouverte (rappel)



Définition

Dans un procédé, Les opérations nécessaires à l'élaboration du produit sont réalisées :

Définition

Dans un procédé, Les opérations nécessaires à l'élaboration du produit sont réalisées :

- En permanence dans un **procédé continu**.

Définition

Dans un procédé, Les opérations nécessaires à l'élaboration du produit sont réalisées :

- En permanence dans un **procédé continu**.
- Les unes après les autres dans un **procédé discontinu**.

Définition

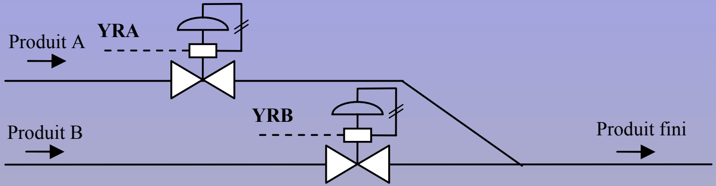
Dans un procédé, Les opérations nécessaires à l'élaboration du produit sont réalisées :

- En permanence dans un **procédé continu**.
- Les unes après les autres dans un **procédé discontinu**.

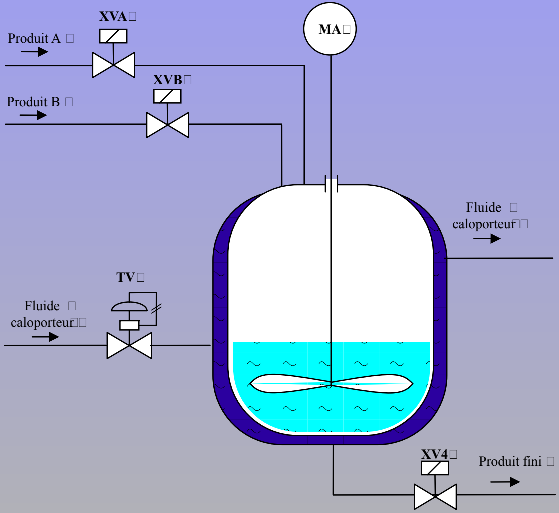
Remarque

Un procédé discontinu est également désigné sous le terme de procédé **Batch**.

Exemple de procédé continu : **Le mélange en ligne**



Exemple de procédé discontinu : **Le réacteur chimique**

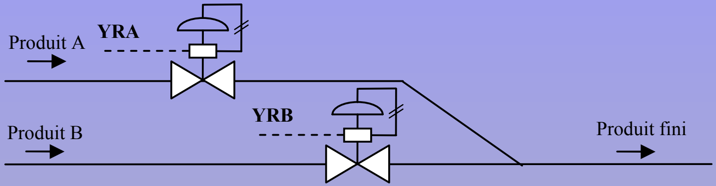


Définition

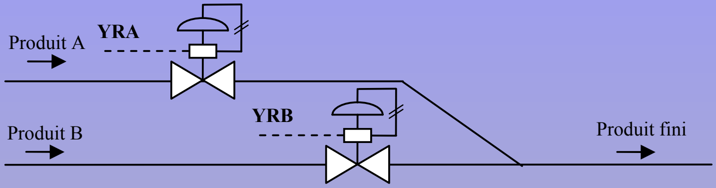
Un procédé est dit **monovariable** si on peut toujours trouver une grandeur réglée qui ne dépende que d'une seule grandeur d'entrée (grandeur réglante), ou d'autres grandeurs réglantes déjà associées à des grandeurs réglées.

Définition

Un procédé est dit **multivariable** s'il possède plusieurs grandeurs d'entrées (grandeurs réglantes) et plusieurs grandeurs de sortie (grandeurs réglées) et si toute variation faite sur une des entrées provoque une variation de plusieurs sorties.

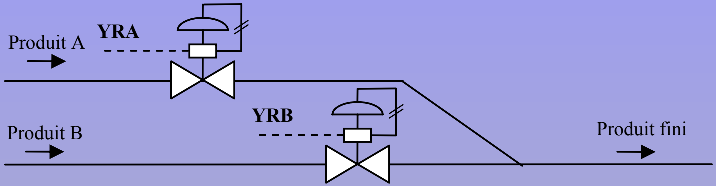


Exemple : Mélange en ligne



Exemple : Mélange en ligne

- Action sur $VR_A \Rightarrow$ Réglage proportion $A \Rightarrow$ *mais aussi* débit total $Q_A + Q_B$

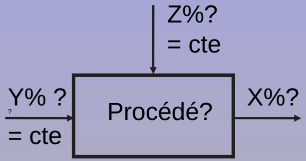


Exemple : Mélange en ligne

- Action sur $VR_A \Rightarrow$ Réglage proportion $A \Rightarrow$ *mais aussi* débit total $Q_A + Q_B$
- Action sur $VR_B \Rightarrow$ débit total $Q_A + Q_B \Rightarrow$ *mais aussi* Réglage proportion A

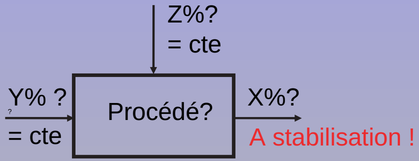
Etude statique des procédés

- X **à stabilisation**
- commande constante Y
- valeur constante de la perturbation Z.

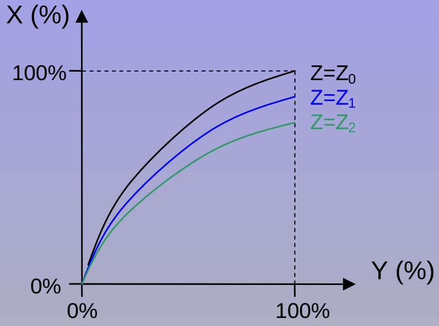


Etude statique des procédés

- X **à stabilisation**
- commande constante Y
- valeur constante de la perturbation Z.



Exemple d'un réseau de caractéristiques statiques



Définition

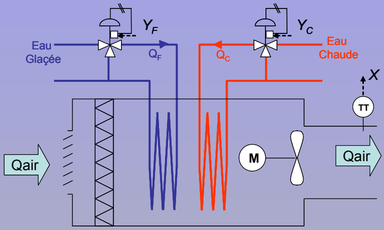
Définition

- Un procédé est dit **direct** si une augmentation de la grandeur réglante produit une augmentation de la grandeur réglée.

Définition

- Un procédé est dit **direct** si une augmentation de la grandeur réglante produit une augmentation de la grandeur réglée.
- Un procédé est dit **inverse** si une augmentation de la grandeur réglante produit une diminution de la grandeur réglée.

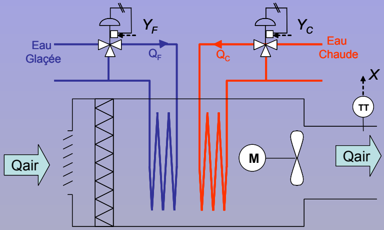
Exemple : Centrale de Traitement de l'Air



Exemple : Centrale de Traitement de l'Air

Cas d'un procédé "Chaud"

$$Y_C \nearrow \Rightarrow Q_C \nearrow \Rightarrow T_{air} \nearrow \Rightarrow X \nearrow$$

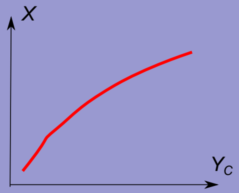


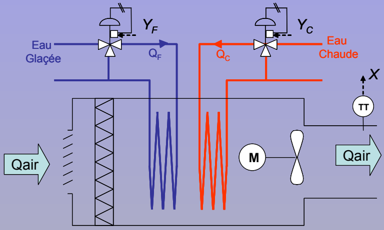
Exemple : Centrale de Traitement de l'Air

Cas d'un procédé "Chaud"

$$Y_C \nearrow \Rightarrow Q_C \nearrow \Rightarrow T_{air} \nearrow \Rightarrow X \nearrow$$

Le procédé est donc *direct*.

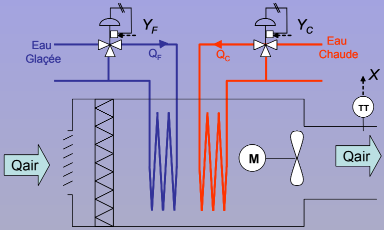




Exemple : Centrale de Traitement de l'Air

Cas d'un procédé "Froid"

$$Y_F \nearrow \Rightarrow Q_F \nearrow \Rightarrow T_{air} \searrow \Rightarrow X \searrow$$

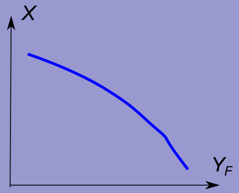


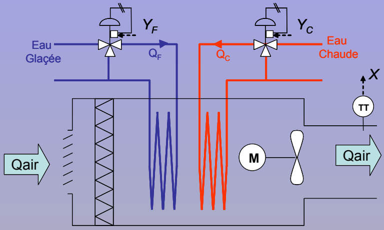
Exemple : Centrale de Traitement de l'Air

Cas d'un procédé "Froid"

$$Y_F \nearrow \Rightarrow Q_F \nearrow \Rightarrow T_{air} \searrow \Rightarrow X \searrow$$

Le procédé est donc *inverse*.





Définition

Définition

- Un procédé est dit **linéaire** si des écarts égaux de la grandeur réglante produisent des écarts égaux de la grandeur réglée.

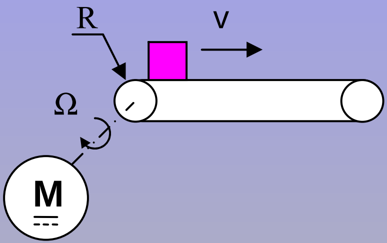
Définition

- Un procédé est dit **linéaire** si des écarts égaux de la grandeur réglante produisent des écarts égaux de la grandeur réglée.
- Un procédé est dit **non-linéaire** si des écarts égaux de la grandeur réglante produisent des écarts inégaux de la grandeur réglée.

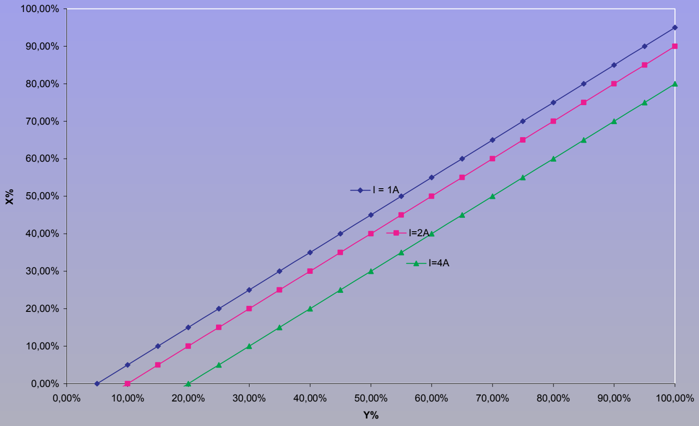
Exemple 1 : Tapis roulant

vitesse d'avance du tapis

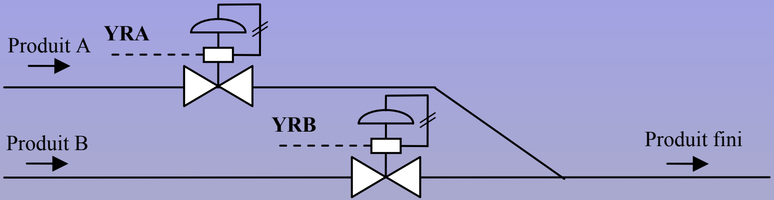
$$v = \frac{R.(U - r.I)}{K_\Phi}$$



Exemple 1 : Tapis roulant

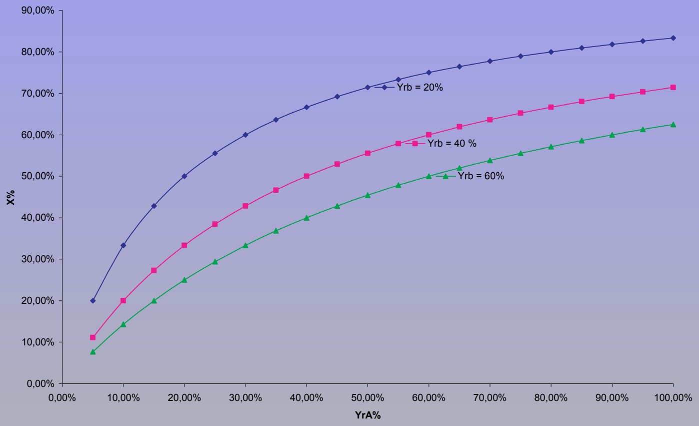


Exemple 2 : Mélange en ligne



$$X\% = \frac{Qa}{(Qa+Qb)} = \frac{Yra}{(Yra+Yrb)}$$

Exemple 2 : Mélange en ligne



Petites variations

$$Y = Y_0 + y \quad \text{et} \quad X = X_0 + x$$

où y et x sont les variations de Y et X autour du point de fonctionnement (Y_0, X_0).

Gain Statique

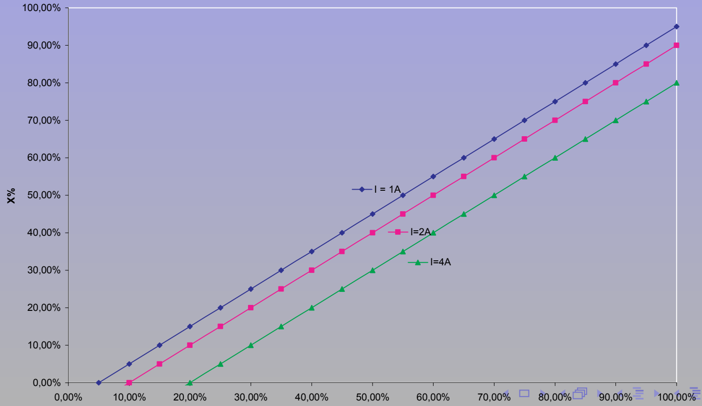
$K_S = \dfrac{\Delta X}{\Delta Y}$, où ΔX et ΔY sont de **petits** écarts autour de (Y_0, X_0).

Sur la caractéristique statique, le gain statique K_S est le coefficient directeur de la tangente au point de fonctionnement.

Exercice d'application

Sur la caractéristique statique du tapis roulant $I = 1A$, et sur la caractéristique statique du mélange en ligne $Y_{RB} = 20\%$, déterminer la valeur du gain statique pour :

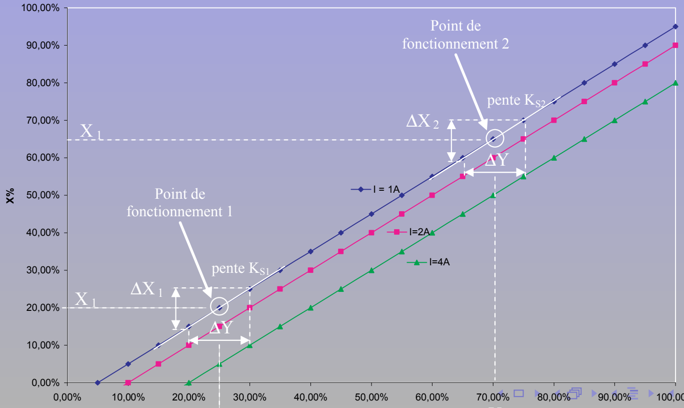
- $Y_1 = 25\%$;
- $Y_2 = 70\%$;



Exercice d'application

Sur la caractéristique statique du tapis roulant $I = 1A$, et sur la caractéristique statique du mélange en ligne $Y_{RB} = 20\%$, déterminer la valeur du gain statique pour :

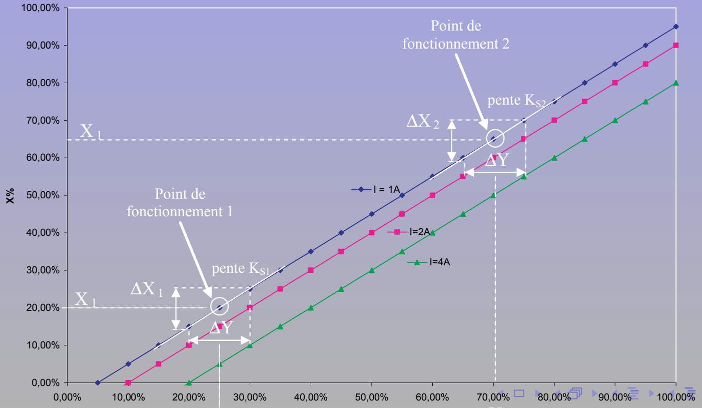
- $Y_1 = 25\%$;
- $Y_2 = 70\%$;



Exercice d'application

Sur la caractéristique statique du tapis roulant $I = 1A$, et sur la caractéristique statique du mélange en ligne $Y_{RB} = 20\%$, déterminer la valeur du gain statique pour :

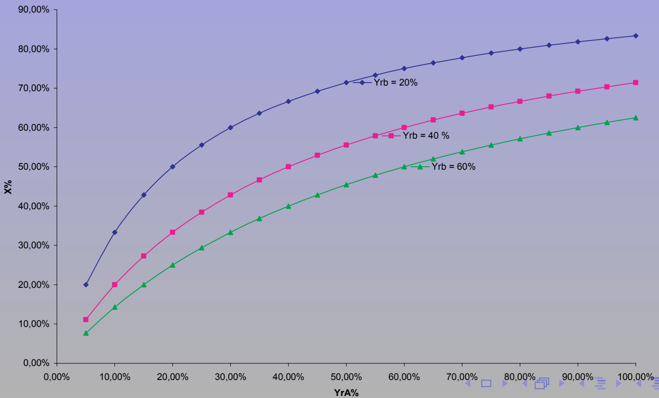
- $Y_1 = 25\%$ Tapis : $K_S1 = 1$;
- $Y_2 = 70\%$ Tapis : $K_S2 = 1$;



Exercice d'application

Sur la caractéristique statique du tapis roulant $I = 1A$, et sur la caractéristique statique du mélange en ligne $Y_{RB} = 20\%$, déterminer la valeur du gain statique pour :

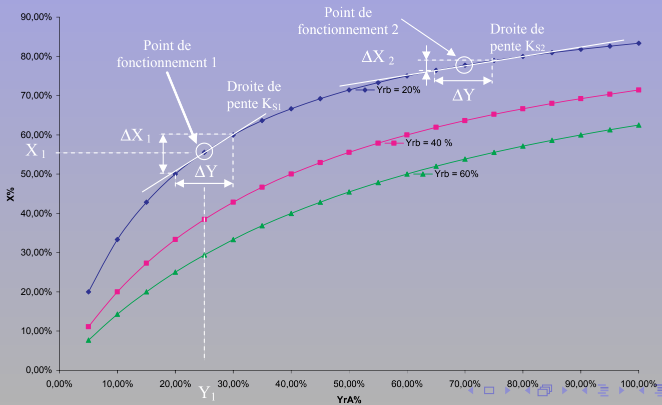
- $Y_1 = 25\%$ Tapis : $K_S 1 = 1$;
- $Y_2 = 70\%$ Tapis : $K_S 2 = 1$;



Exercice d'application

Sur la caractéristique statique du tapis roulant $I = 1A$, et sur la caractéristique statique du mélange en ligne $Y_{RB} = 20\%$, déterminer la valeur du gain statique pour :

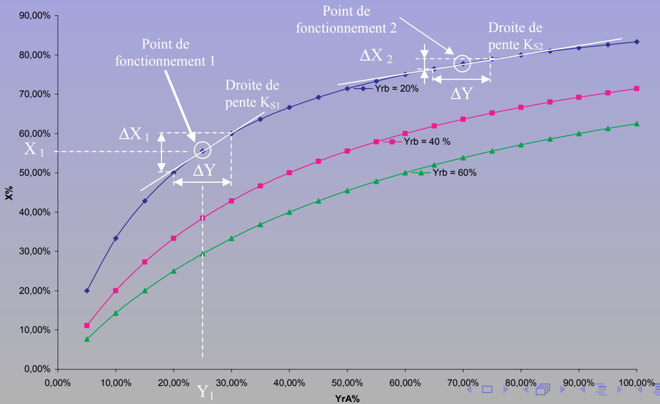
- $Y_1 = 25\%$ Tapis : $K_S1 = 1$;
- $Y_2 = 70\%$ Tapis : $K_S2 = 1$;



Exercice d'application

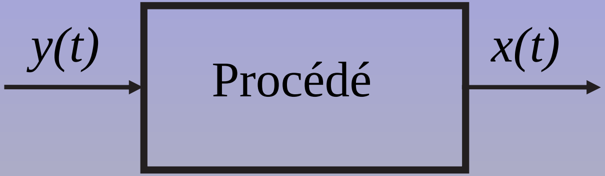
Sur la caractéristique statique du tapis roulant $I = 1A$, et sur la caractéristique statique du mélange en ligne $Y_{RB} = 20\%$, déterminer la valeur du gain statique pour :

- $Y_1 = 25\%$ Tapis : $K_S1 = 1$; Mélange : $K_S1 = 1$
- $Y_2 = 70\%$ Tapis : $K_S2 = 1$; Mélange : $K_S2 = 0,25$

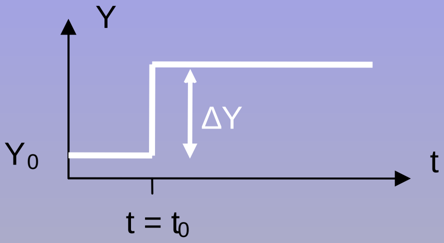


Etude temporelle des procédés

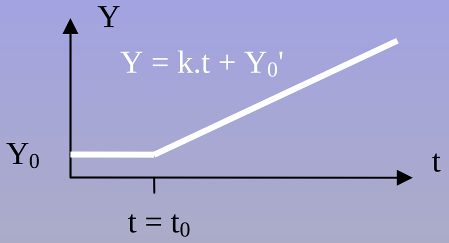
réponse $x(t)$ du procédé auquel on a appliqué une **petite variation** $y(t)$ du signal de commande Y. Cette étude nécessite l'enregistrement de $x(t)$ en fonction du temps.



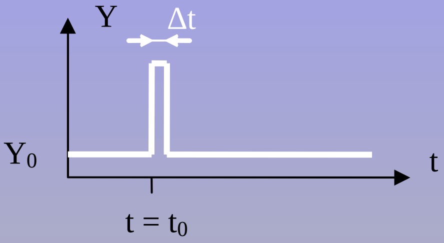
Echelon



Rampe



Impulsion



Définition

Définition

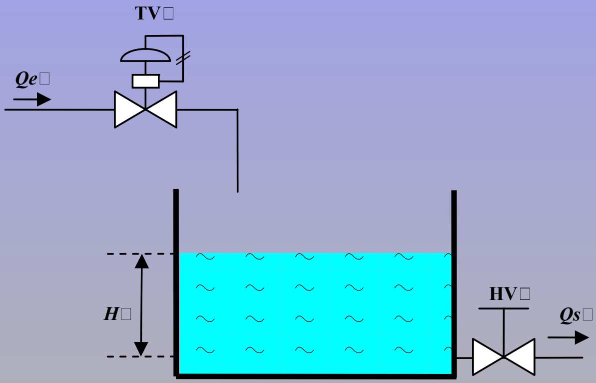
- Un procédé est dit **stable** quand il tend à revenir à une position d'équilibre suite à une perturbation.

Définition

- Un procédé est dit **stable** quand il tend à revenir à une position d'équilibre suite à une perturbation.
- Un procédé est dit **instable** quand il tend à s'écarter indéfiniment d'une position d'équilibre suite à une perturbation.

Bac de stockage

Cas n° 1 : Vidange par gravité



Bac de stockage

Cas n° 1 : Vidange par gravité

A l'équilibre (niveau stable), on a : $Q_e = Q_s$

Que se passe-t-il lorsque l'on ouvre légèrement la vanne TV ?

$$Q'_e = Q_e + \Delta Q_e \quad : \text{Le niveau monte.}$$

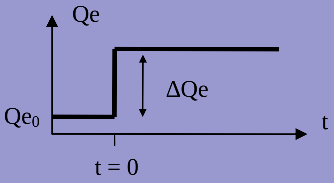
Bac de stockage

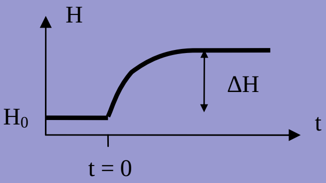
Cas n° 1 : Vidange par gravité

formule de Torricelli

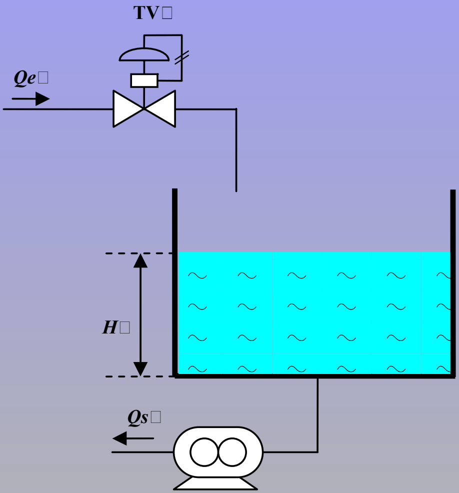
$Q_s = S_{HV}\sqrt{2gH}$ ▸ *Détail*

Etude de la réponse temporelle du procédé à un échelon de commande :





Bac de stockage



Bac de stockage

Cas n° 2 : Vidange par pompage

A l'équilibre (niveau stable) , on a toujours : $Q_e = Q_s$

Que se passe-t-il lorsque l'on ouvre légèrement la vanne TV ?

$$Q'_e = Q_e + \Delta Q_e \quad : \text{Le niveau monte.}$$

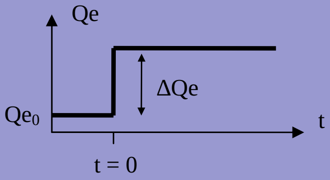
Bac de stockage

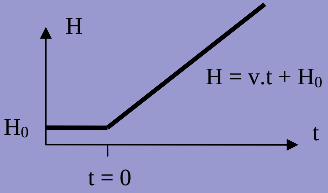
Cas n° 2 : Vidange par pompage

Le débit de sortie restant constant, le niveau monte à une vitesse constante. Si la cuve a une section constante S, alors :

$$h = \frac{\Delta Q_e}{S} \cdot t$$

Etude de la réponse temporelle du procédé à un échelon de commande :





Bac de stockage

Cas n° 2 : Vidange par pompage

Le niveau s'écarte indéfiniment de sa position d'équilibre et le système est **instable**.

Remarque : Ce type de réponse à un échelon est caractéristique d'un procédé dit **intégrateur**

classe et ordre d'un procédé

classe et ordre d'un procédé

- Système d'ordre n et de classe 0 (aucune intégration)

$$a_n \frac{d^n}{dt^n} x(t) + \ldots + a_1 \frac{d}{dt} x(t) + x(t) = K y_r(t)$$

classe et ordre d'un procédé

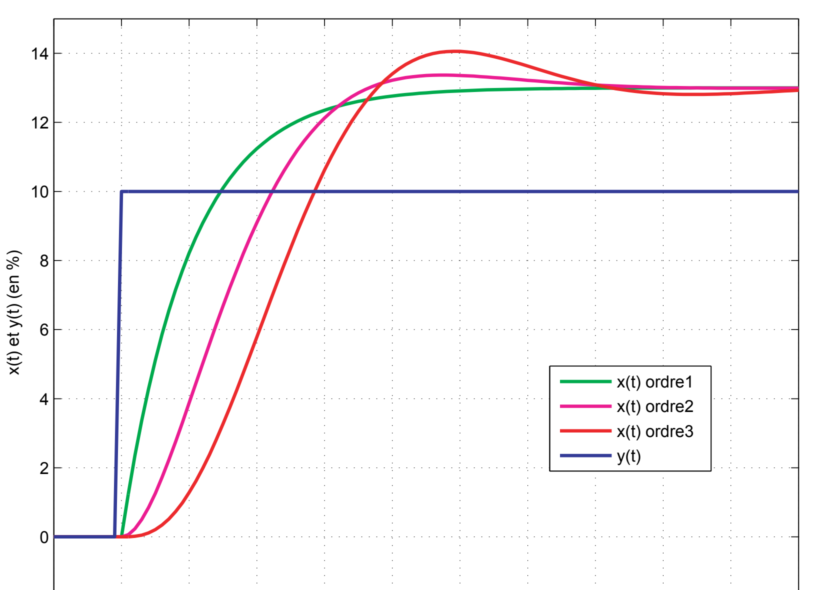
- Système d'ordre n et de classe 0 (aucune intégration)

$$a_n \frac{d^n}{dt^n} x(t) + \ldots + a_1 \frac{d}{dt} x(t) + x(t) = K y_r(t)$$

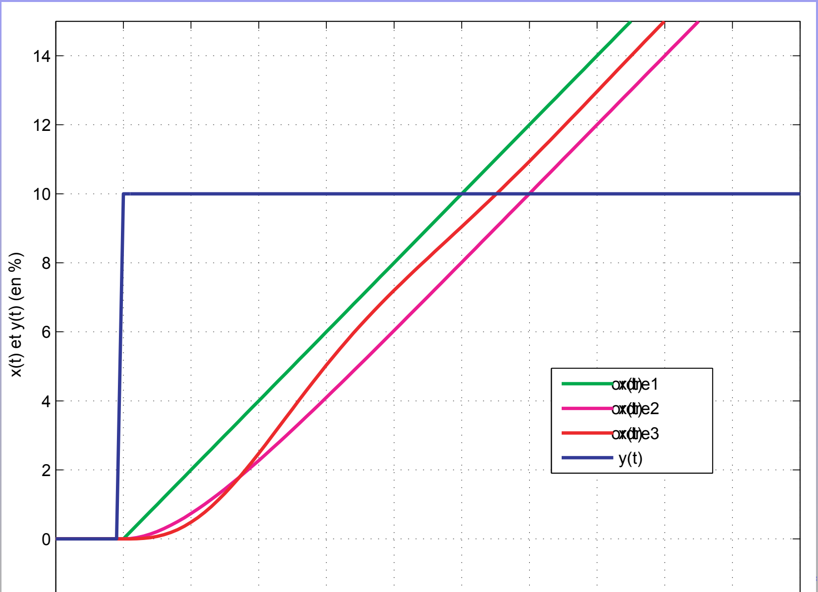
- Système d'ordre $n+1$ et de classe 1 (une intégration)

$$a_n \frac{d^n}{dt^n} x(t) + \ldots + a_1 \frac{d}{dt} x(t) + x(t) = K \int y_r(t) dt$$

Réponse d'un procédé stable d'ordre 1,2 ou 3 à un échelon



Réponse d'un procédé instable d'ordre 1,2 ou 3 à un échelon



Définition

Le temps de réponse en boucle ouverte tr_{BO}d'un procédé stable est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de l'application d'un échelon de commande de l'instant où la mesure :

Définition

Le temps de réponse en boucle ouverte tr_{BO}d'un procédé stable est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de l'application d'un échelon de commande de l'instant où la mesure :

- rentre dans une fourchette comprise entre $\pm 5\%$

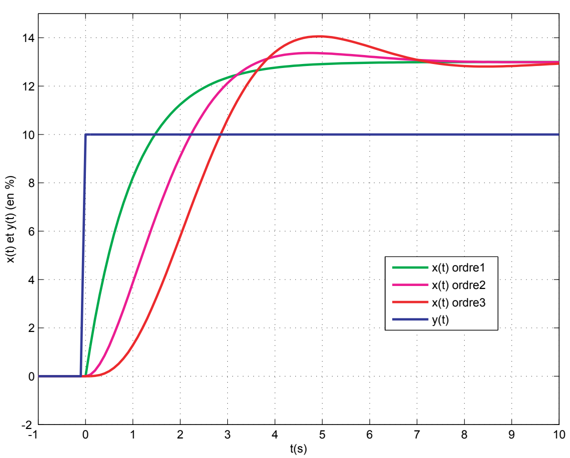
Définition

Le temps de réponse en boucle ouverte tr_{BO}d'un procédé stable est l'intervalle de temps qui sépare l'instant de l'application d'un échelon de commande de l'instant où la mesure :

- rentre dans une fourchette comprise entre $\pm 5\%$
- et n'en sort plus.

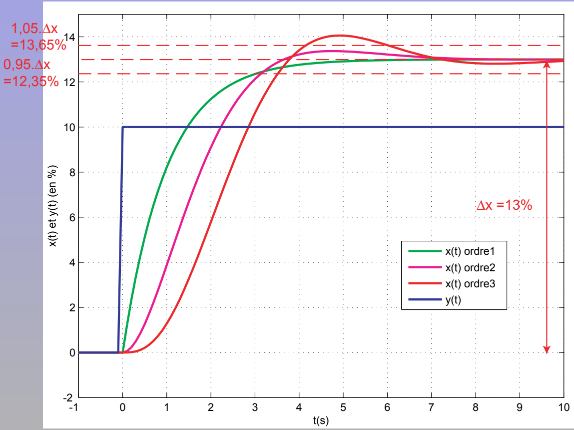
Exemple

Sur la figure précédente, donner le temps de réponse en boucle ouverte (tr_{BO}), pour le procédé d'ordre 1, 2 ou 3.
Réponse :



Exemple

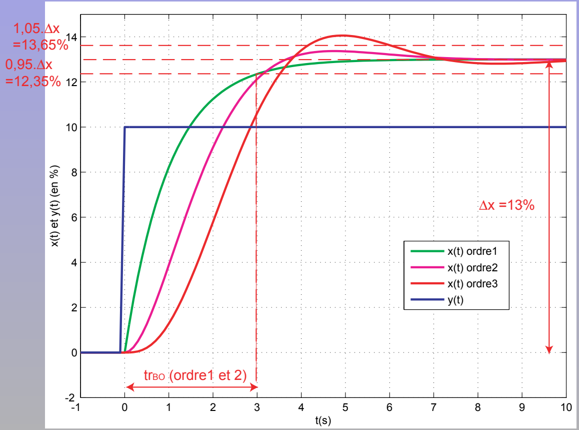
Sur la figure précédente, donner le temps de réponse en boucle ouverte (tr_{BO}), pour le procédé d'ordre 1, 2 ou 3.
Réponse :



Exemple

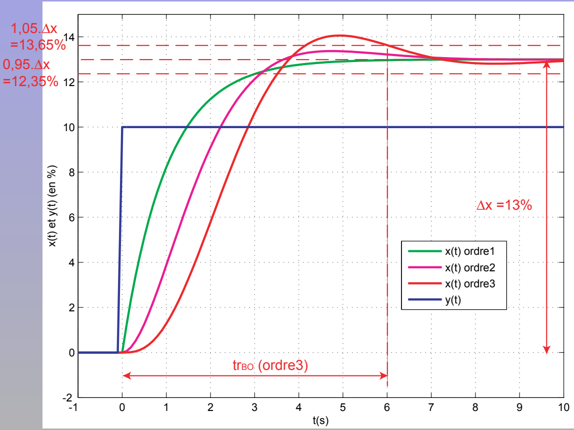
Sur la figure précédente, donner le temps de réponse en boucle ouverte (tr_{BO}), pour le procédé d'ordre 1, 2 ou 3.

Réponse : pour les procédés d'ordre 1 et 2 : $tr_{BO} = 3s$



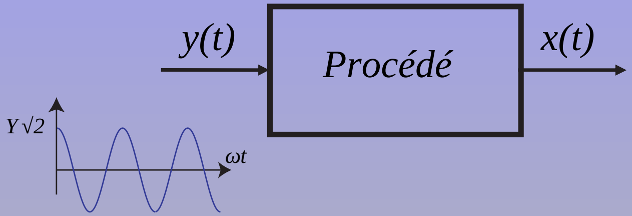
Exemple

Sur la figure précédente, donner le temps de réponse en boucle ouverte (tr_{BO}), pour le procédé d'ordre 1, 2 ou 3.
Réponse : pour les procédés d'ordre 1 et 2 : $tr_{BO} = 3$s et pour le procédé d'ordre 3 : $tr_{BO} = 6$s



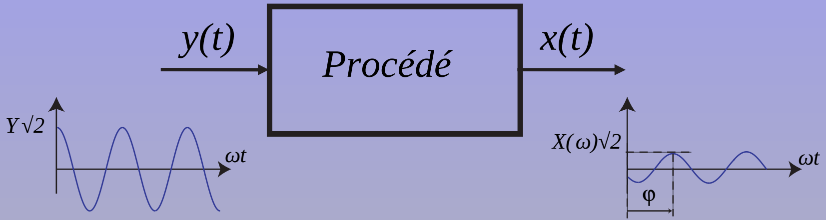
Etude fréquentielle des procédés

signal d'entrée $y(t)$ sinusoïdal :$y(t) = Y\sqrt{2} \cdot sin(\omega t)$



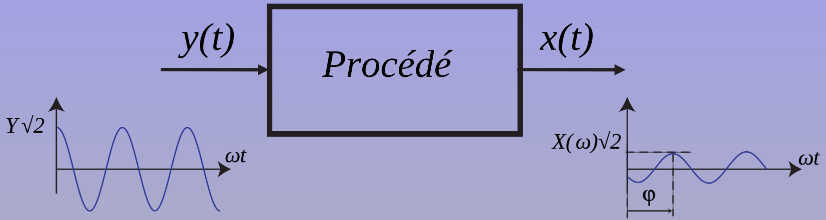
Etude fréquentielle des procédés

signal d'entrée $y(t)$ sinusoïdal :$y(t) = Y\sqrt{2} \cdot sin(\omega t)$



Etude fréquentielle des procédés

signal d'entrée $y(t)$ sinusoïdal :$y(t) = Y\sqrt{2} \cdot sin(\omega t)$



Remarque

très peu menée en pratique dans les industries de procédés

Que fait le débit de sortie ?

$$({}^1/_2)\rho v^2 = \rho.g.H \quad \text{, donc} \quad v = \sqrt{2gH} \quad \text{(formule de Torricelli)}$$

où

- v est la vitesse du fluide en $m.s^{-1}$,
- H est la hauteur de fluide dans la cuve en m,
- g est l'accélération de la pesanteur $m.s{-}2$.

Donc le débit de fluide en sortie $Q_s(m^3.s^{-1})$ de cuve de section $S_{HV}(m^2)$ vaut :

$$Q_s = S_{HV}\sqrt{2gH}$$