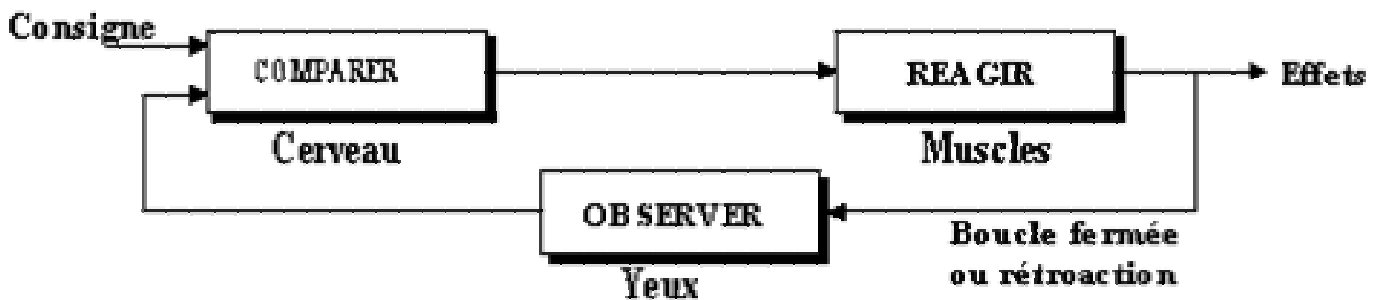


**REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : Introduction****Introduction à la régulation :**

Pour maintenir un niveau constant d'un liquide dans une cuve ayant un débit variable, un opérateur doit **OBSERVER** le niveau de liquide, le **COMPARER** à un repère donné, c'est la consigne, **REAGIR** en conséquence en ouvrant ou en fermant la vanne de remplissage de la cuve. La commande automatique de ce principe s'appelle la régulation.

*Le cycle OBSERVER (ou MESURER), COMPARER et REAGIR est un cycle à boucle fermée ou à rétroaction.*



Dans un dispositif technique, le procédé de régulation a pour rôle d'amener une grandeur physique à Prendre une valeur fixée à l'avance et de l'y maintenir.

Cette grandeur Physique s'appelle grandeur réglée ou mesure ; elle peut être de nature très variable. Il peut s'agir par exemple:

- de grandeurs électriques: tension, courant, puissance, etc.
- de grandeurs mécaniques ou hydrauliques: pression, nombre de tours/min débit, niveau, etc.
- de grandeurs thermiques: température, quantité de chaleur etc.
- de toute autre grandeur physique.

la valeur fixée à l'avance, à laquelle la régulation doit amener la grandeur réglée, s'appelle :

**consigne de régulation**

Dans une régulation, on mesure d'une manière continue **la grandeur réglée** et on la compare à la **consigne** de régulation.

Dès qu'on détecte un **écart** entre elles, on produit dans le système une modification appropriée, qui doit ramener la grandeur réglée en accord avec la consigne de régulation.

La grandeur subissant cette modification s'appelle **grandeur réglante** ce peut être une grandeur physique quelconque, par exemple la position d'ouverture d'une vanne, rangé de conduction des thyristors d'une unité de puissance, le rapport cyclique d'enclenchement d'un contacteur.

Il faut néanmoins choisir, comme grandeur réglante dans un système, une grandeur telle que sa variation agisse directement sur la valeur réglée.

**Dans la régulation, on distingue deux notions:**

### **1 : Régulation manuelle ( commande manuelle )**

La modification sur la grandeur réglante peut être effectuée par un opérateur observant continuellement la grandeur réglée en modifiant en conséquence la grandeur réglante.

Dans ce cas, on est en présence d'une commande manuelle tel est, par exemple le cas dans la conduite d'un bateau ou d'une automobile.

### **2 : Régulation automatique ( commande automatique )**

Dans ce cas, la mesure de la grandeur réglée et la modification de la grandeur réglante s'effectuent automatiquement au moyen d'appareils appelés Régulateurs dans lesquels est implanté une loi de commande (algorithme) .

En régulation automatique Il n'y a donc pas d'intervention d'un opérateur humain.

Dans la suite de ce cours, nous étudierons la régulation automatique que nous appellerons tout simplement " **régulation** "

**REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : Régulation ou Asservissement ?****Analyse des activités dans une régulation :**

La régulation consiste à amener une grandeur physique **X** ( vitesse, position, température, etc) à une valeur fixe, appelée consigne **W**. On utilise pour cela un régulateur, composé d'un comparateur et d'un correcteur.

Le comparateur déduit l'écart **e** entre la consigne **W** et la mesure **X**.

Le correcteur génère une grandeur réglante **Y** dont le but sera d'annuler l'écart **e**.

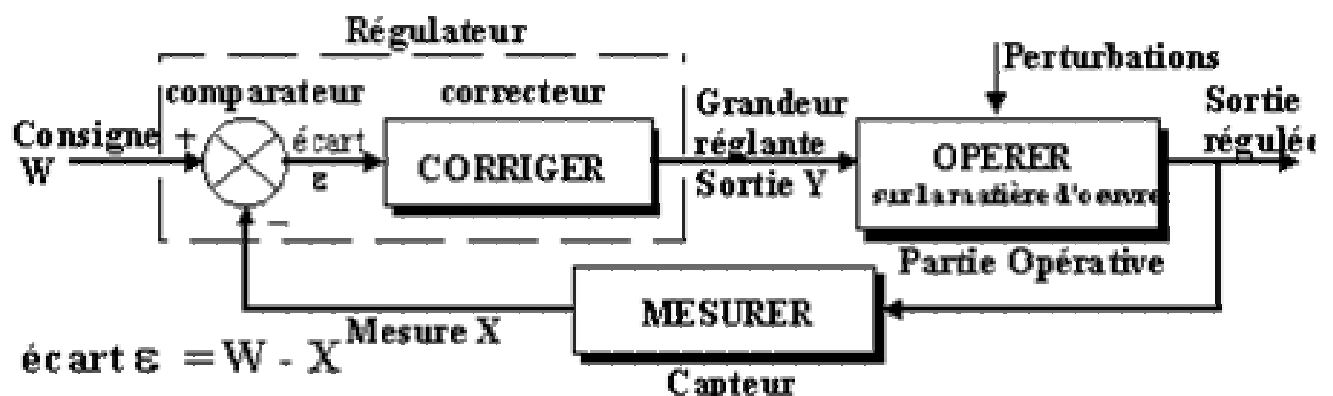
C'est cette grandeur réglante Y (exprimée en %) qui commande l'organe de modulation d'énergie ( relais statique, vanne, etc...).

Ce sont les caractéristiques du correcteur qui déterminent la qualité de la régulation. Il existe des correcteurs :

- T.O.R ( Tout Ou Rien )
- P.I ( proportionnel et intégral )
- P ( proportionnel )
- P.I.D ( proportionnel, intégral, dérivé )

D'une façon générale une chaîne de régulation peut être analysée selon la figure ci après :

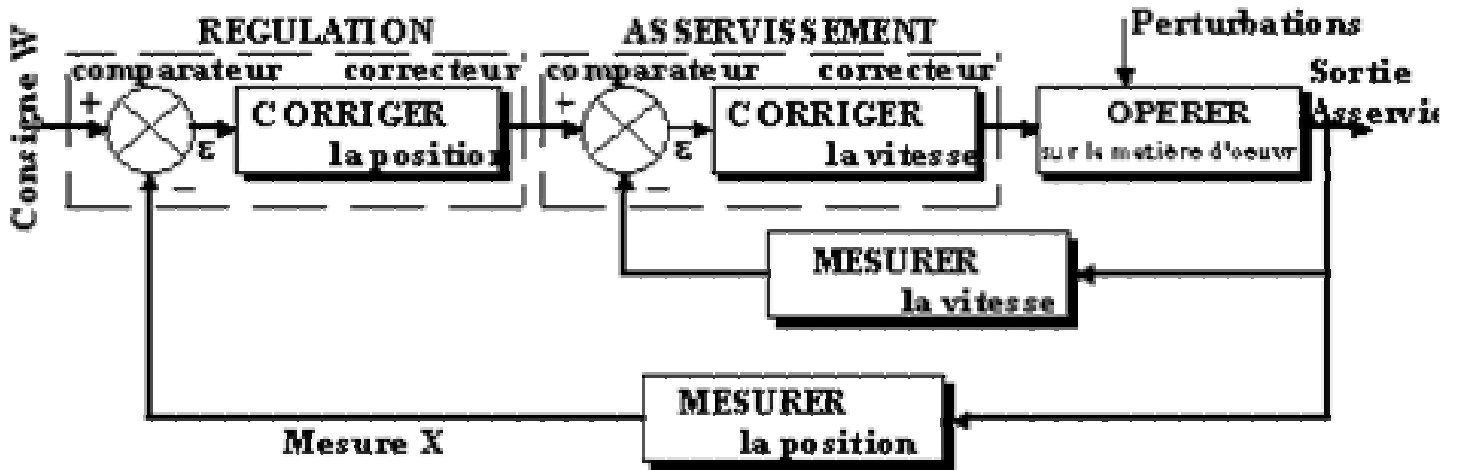
- W** : Consigne de régulation
- X** : Grandeur réglée (mesure)
- e** : Ecart mesure/consigne (=  $W - X$ )
- Y** : Grandeur réglante (niveau de sortie du régulateur)

**SCHEMA BLOC D'UN SYSTEME REGULE**

**Analyse des activités dans un Asservissement :**

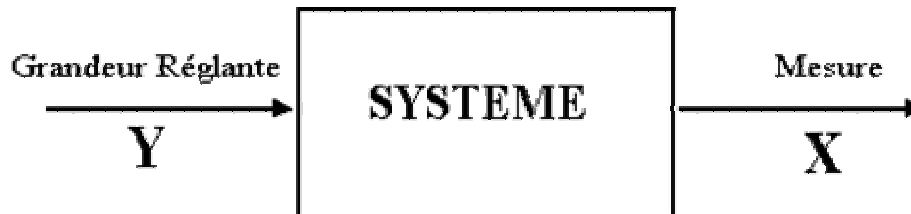
L'asservissement a une entrée de référence qui suit une grandeur physique; elle est donc variable et indépendante directement des consignes de l'opérateur. La consigne varie constamment.

**SCHEMA BLOC D'UN SYSTEME ASSERVI**



## REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : Détermination du Gain Statique

Remarque: Dans la suite de l'exposé, la valeur de la grandeur réglante **Y** sera exprimée en %, déterminant ainsi le pourcentage de la puissance électrique totale appliquée au système



On définit le gain statique d'un système comme étant le rapport de l'accroissement **dX** de la mesure à l'accroissement **dY** de la grandeur réglante

$$G_s = \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

### MODE OPERATOIRE PERMETTANT DE DETERMINER LE GAIN STATIQUE

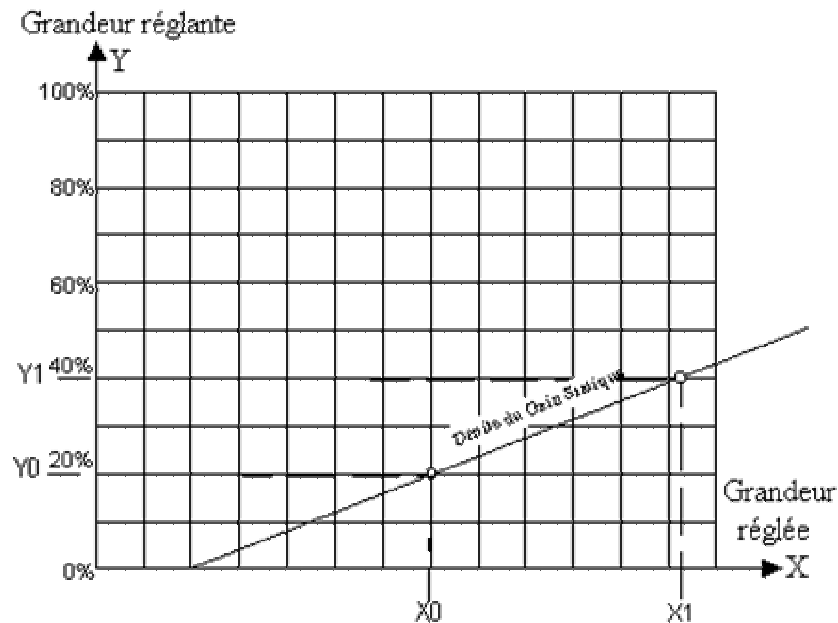
Le régulateur étant en fonctionnement manuel, on applique au système une grandeur réglante **Y0** et lorsque la mesure est stabilisée on note sa valeur **X0**. Ensuite on applique au système une nouvelle valeur de la grandeur réglante **Y1** et lorsque la nouvelle mesure est stabilisée on note sa valeur **X1**.

$$\text{Donc } G_s = \frac{\Delta X}{\Delta Y} = \frac{X_1 - X_0}{Y_1 - Y_0} \quad \begin{array}{l} G_s \text{ s'exprime en } ^\circ\text{C/W} \\ \text{( degrés Celsius par Watt )} \end{array}$$

La courbe de réponse enregistrée au cours de cet essai permet d'identifier de façon sommaire le système.

Dans le cas de la régulation de température, cette valeur **G<sub>s</sub>** représente l'élévation de température du four lorsqu'on lui apporte un Watt de puissance thermique.

On peut dans ces conditions, représenter l'allure de la température ( **X** ) en fonction de la grandeur réglante ( **Y** ). Cette droite s'appelle la droite du Gain Statique

**ALLURE DE LA DROITE DU GAIN STATIQUE**

La grandeur réglante Y exprime un pourcentage de la puissance totale apportée au système.

Exemple : **cas de la régulation de température par résistance chauffante.**

Si la puissance d'un four est de 2000 W, régler Y = 25 % équivaut à chauffer le four avec une résistance chauffante de 500 W

Détermination du Gain Statique du four :

les mesures ont donné :

pour Y0 = 20 % , X0 = 70 °C

pour Y1 = 40 % , X1 = 123 °C

calcul du Gain Statique :

$$G_s = dX / dY = [(123-70) / (40-20)] = 2,65 \text{ °C/\% de la puissance totale}$$

soit  $2,65/20 = 0,1325 \text{ °C/W}$

## REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : Le régulateur

Le régulateur, inséré dans une chaîne de commande, impose, en contrainte d'exploitation au sous système de modulation d'énergie une grandeur réglante selon une loi de commande couramment appelée algorithme

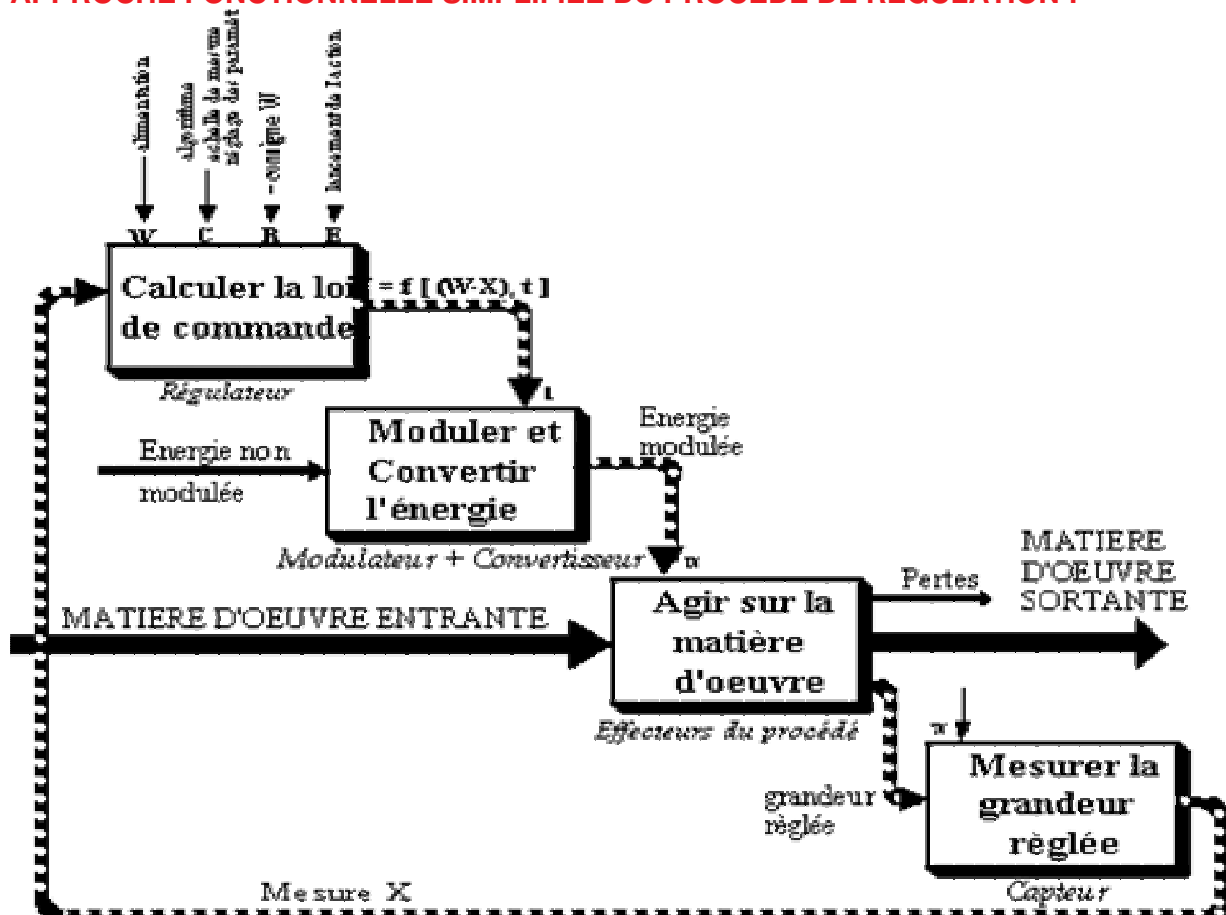
La plupart des régulateurs de marques différentes comportent un algorithme identique, désigné par "PID".

- P : Action proportionnelle
- I : Action intégrale
- D : Action dérivée
- P.I.D. sont des modules d'action

L'adaptation d'un régulateur aux différents systèmes s'effectue par le réglage des coefficients (paramètres) de l'algorithme:

- Paramètre **Xp** pour le réglage de l'action proportionnelle
- Paramètre **Ti** pour le réglage de l'action intégrale
- Paramètre **Td** pour le réglage de l'action dérivée

### APPROCHE FONCTIONNELLE SIMPLIFIEE DU PROCEDE DE REGULATION :



## REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : La régulation Tout Ou Rien (T.O.R)

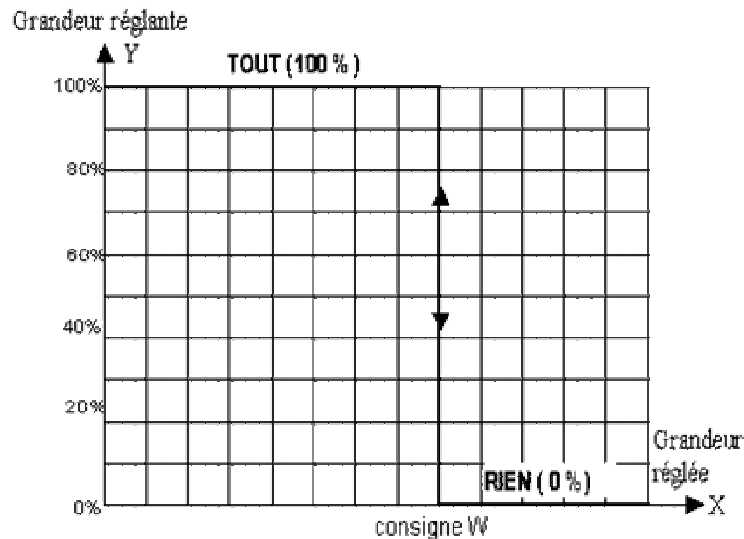
Dans ce cas, le régulateur commande le système en instantané (TOUT ou RIEN ) c'est à dire:

$$Y = 100 \% \text{ si } X < W$$

$$Y = 0\% \text{ si } X > W$$

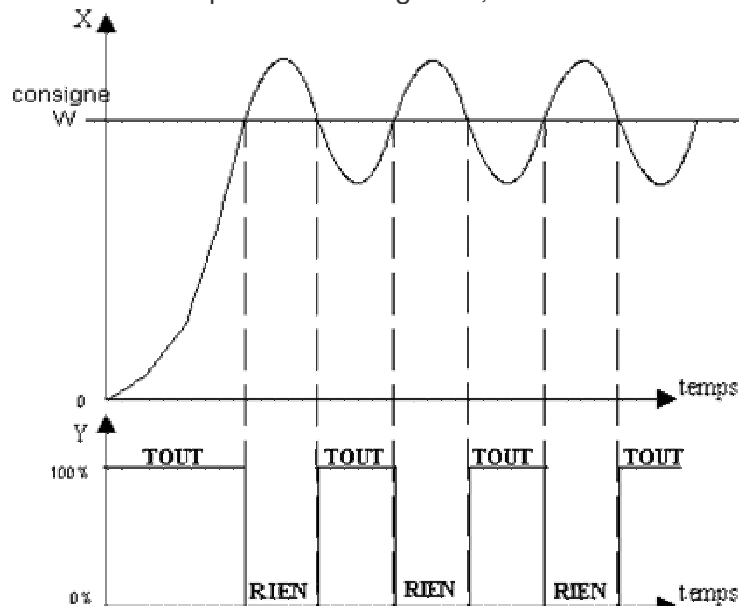
La Sortie régulation ne prendra aucune valeur intermédiaire.

La réponse du système présentera, autour du point de consigne, des oscillations entretenues dues au temps mort du système ( inertie ).

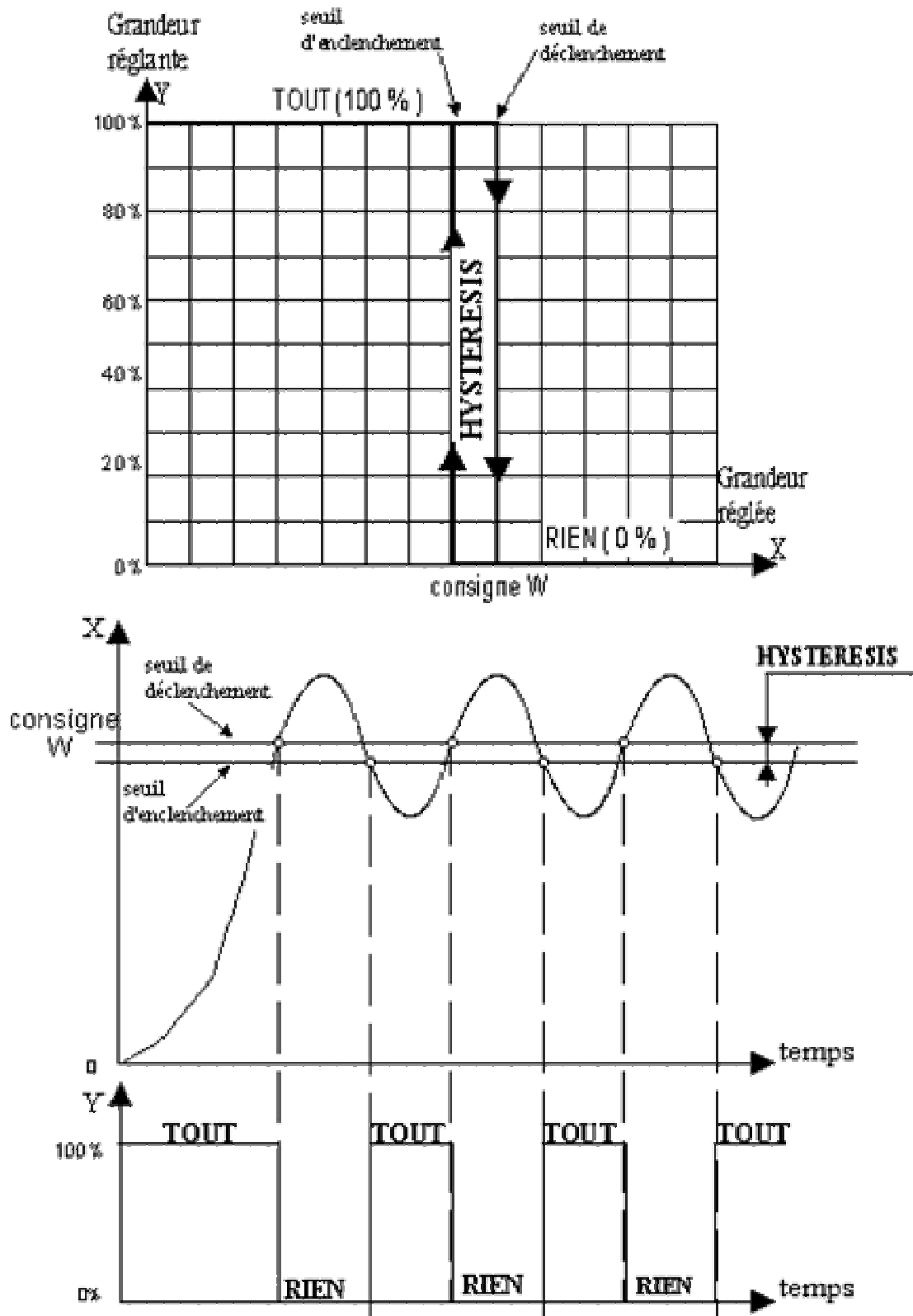


Tant que la valeur de la mesure X est inférieure à la consigne W, la commande Y est de 100 % (TOUT).

Dès que la mesure X atteint et dépasse la consigne W, la commande Y est de 0 % (RIEN).



Dans la réalité, afin de diminuer le phénomène de battement à l'approche de la valeur de consigne, on introduit un deuxième seuil. La valeur de consigne W permettant d'arrêter la commande ( RIEN :  $Y = 0\%$  ). La valeur du deuxième seuil permettant de remettre en marche la commande ( TOUT :  $Y = 100\%$  ) l'écart entre ces deux valeurs s'appelle l' **HYSTERESIS** .

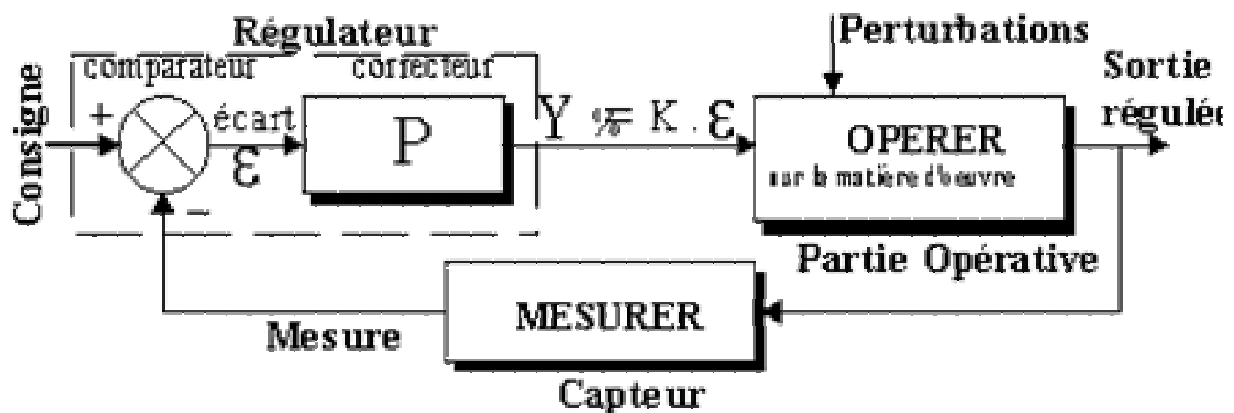


## REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : La régulation Proportionnelle ( P )

L'action proportionnelle est une fonction qui fait varier le signal de sortie du régulateur  $Y\%$  = (grandeur réglante) proportionnellement à l'écart entre la mesure et la consigne. Le coefficient de proportionnalité, appelé gain du régulateur, est obtenu par le réglage du paramètre  $X_p$  du régulateur.

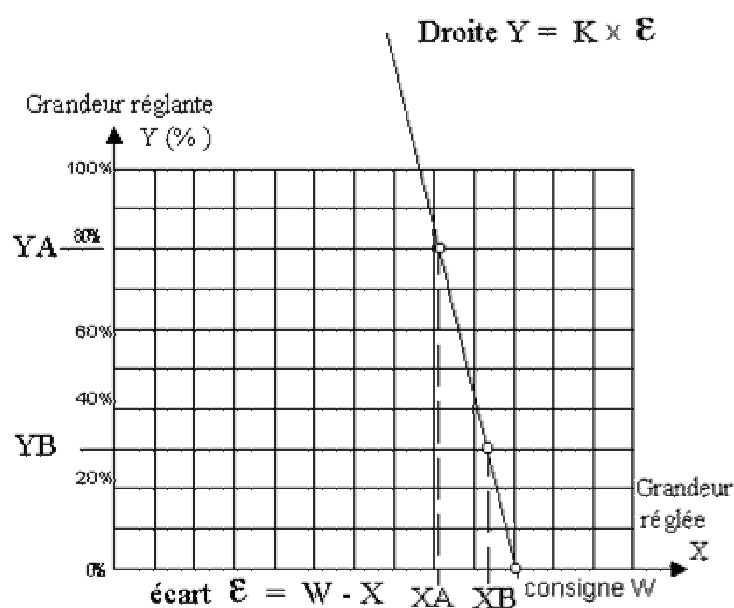
L'équation de l'action proportionnelle est sous la forme:

$$Y\% = K \times \epsilon \quad \text{où } K = \frac{100}{B_p}$$



écart  $\epsilon$  = consigne mesure et  $K$  : coefficient proportionnel

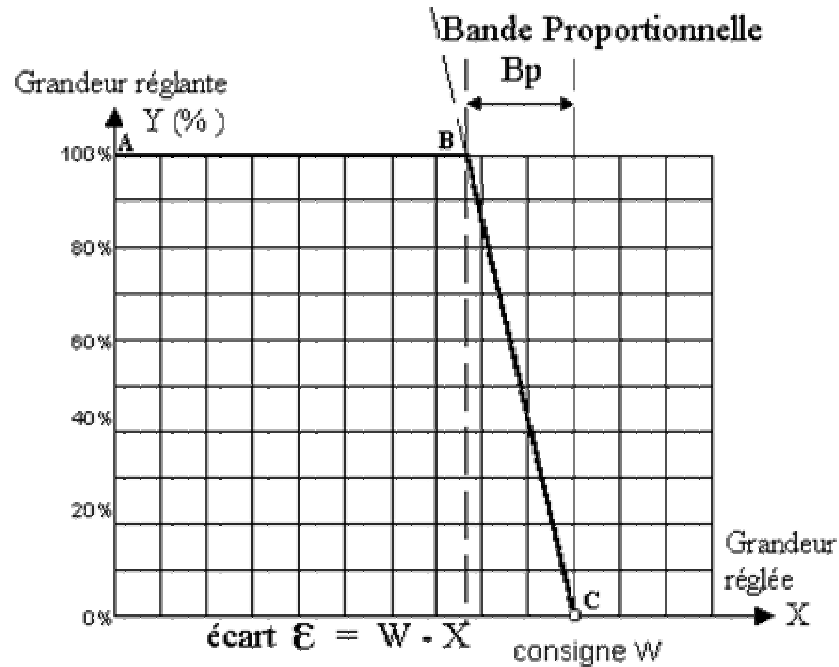
La commande  $Y$  est Proportionnelle à l'écart entre la consigne et la mesure le coefficient de proportionnalité  $K$  s'appelle le **GAIN**.



pour la valeur  $X_A$ , la commande vaut  $Y_A$  (environ 80 %) pour la valeur  $X_B$ , l'écart avec la consigne  $W$  est plus petit, la commande  $Y_B$  est plus faible (environ 30 %)

La grandeur réglante  $Y$  ne pouvant pas dépasser 100 % ( on ne peut pas alimenter une résistance chauffante au delà de sa valeur nominale; on ne peut pas ouvrir une vanne au delà de 100 % ), cette droite est en fait un segment.

La régulation suit alors l'allure formée par les segments AB et BC



Du point A au point B, le système est commandé à 100 % ( puissance maxi ), puis du point B au point C, la commande est Proportionnelle à l'écart entre  $W$  et  $X$ . Les limites B et C forment une bande appelée **Bande Proportionnelle  $B_p$** .

## REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : Exemple de régulation Proportionnelle

### Cas de la régulation de température.

On désire réguler la température dans un four à la valeur 100 °C.

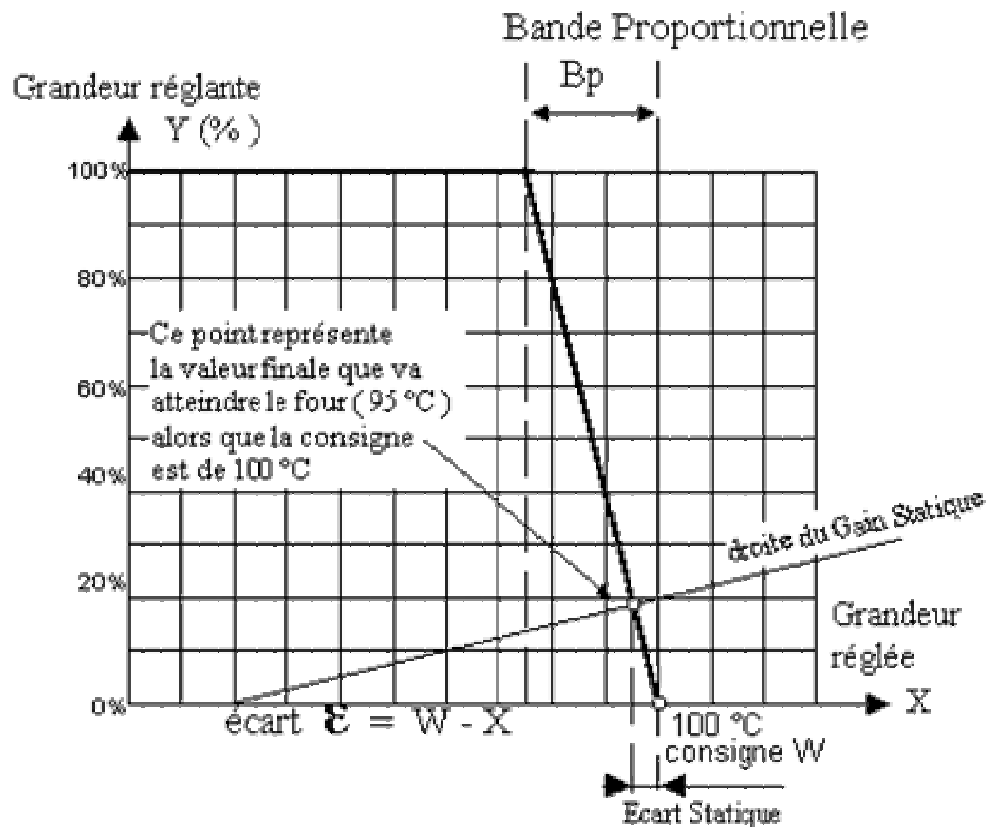
On donne la droite du Gain Statique du four

Déterminer la valeur finale que va atteindre le four dans le cas où on règle le gain à 4.

Traçage de l'allure de la régulation :

Si l'écart est 20 °,  $Y = K e = 4 * 20 = 80\%$

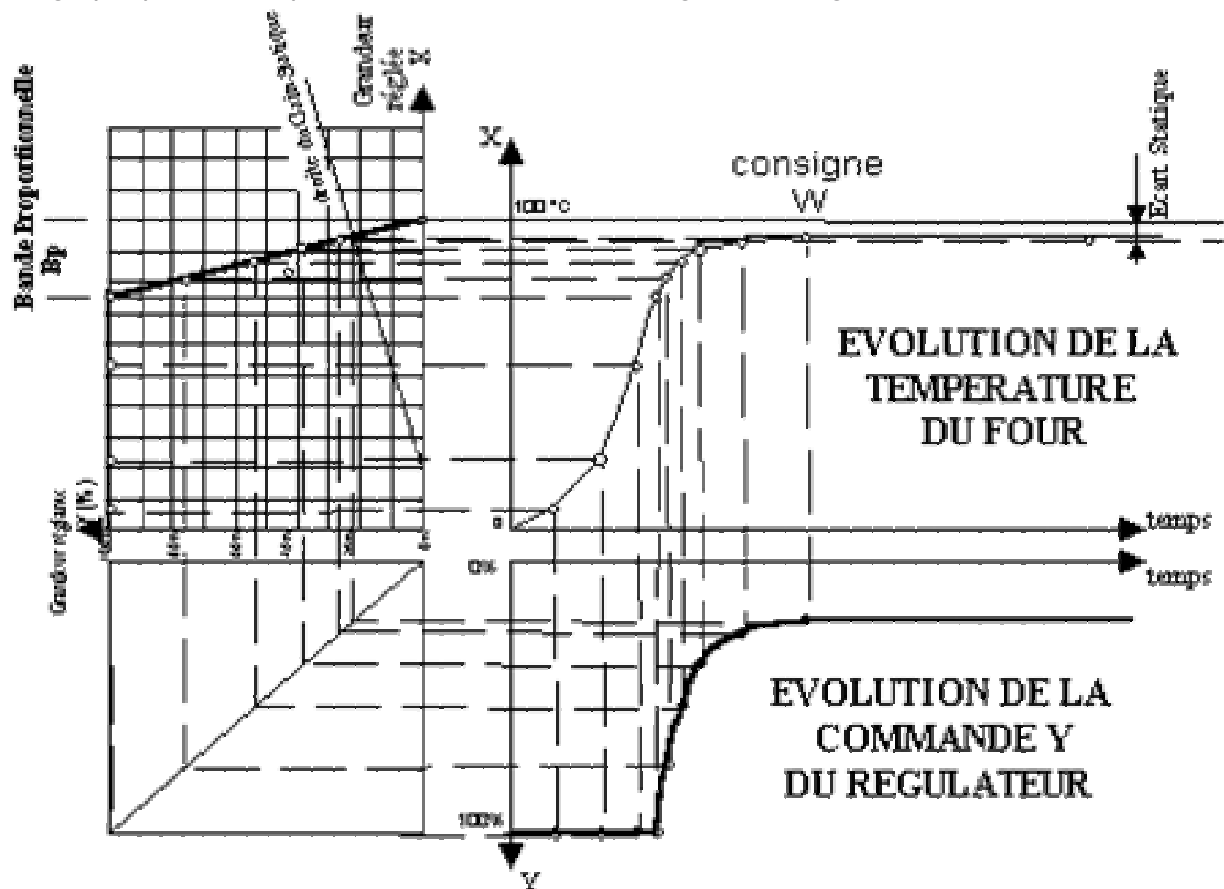
Si l'écart est 0° alors  $Y = 0\%$



Il existe un écart que le régulateur ne pourra compenser.

Cette écart s'appelle l' **ECART STATIQUE**.

Le graphique suivant permet de tracer l'allure de la grandeur réglée en fonction du temps :



### REMARQUE :

Sur certains régulateurs disponibles sur le marché, le réglage des caractéristiques de la régulation proportionnelle se fait par le changement du paramètre BP ou PB ( bande proportionnelle ) .

Pour d'autres, ce réglage s'obtient par le changement du paramètre  $X_p$  en % (  $X_p$  représente le pourcentage correspondant à la bande proportionnelle par rapport à l'échelle de mesure du régulateur ) .

Exemple :

**Soit 2 régulateurs de température dont l'échelle de mesure est de 500 °C.**

Régler le paramètre BP à 20 °C sur l'un ou le paramètre  $X_p$  à 4 % ( 20°C représente 4% de 500°C) sur l'autre, fera fonctionner ces 2 régulateurs de façon totalement identique.

## REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : Principe de la modulation d'énergie thermique

En régulation proportionnelle, il est nécessaire de faire varier une grandeur réglante .

**Comment peut-on faire varier une grandeur réglante entre 0 % et 100 % ?**

Exemple : **commande de résistance électrique ( four électrique )** :

Dans un four électrique régulé par un régulateur proportionnel, on fait varier l'énergie thermique fournie par la résistance électrique.

En effet, l'élévation de température du four est fonction de l'énergie ( en Joules ) apportée au four d'après la formule :

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{d'où} \quad \boxed{W = P \times t}$$

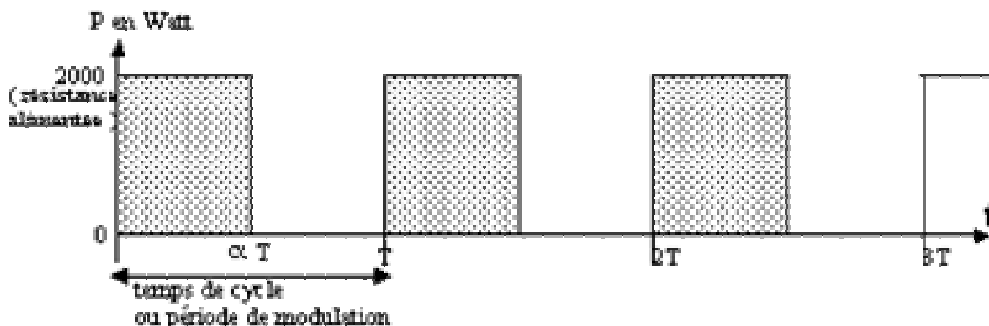
$P$  en Watts  
 $W$  en Joules  
 $t$  en secondes

La puissance de la résistance étant fixe ( par exemple  $P = 2000 \text{ W}$  ), on module l'énergie en faisant varier le temps de commande ( par la variation du rapport cyclique ) de la résistance sur une période. Cette période est appelé **Temps de Cycle** ou **Période de modulation** ou **cycle proportionnel**.

Exemple :

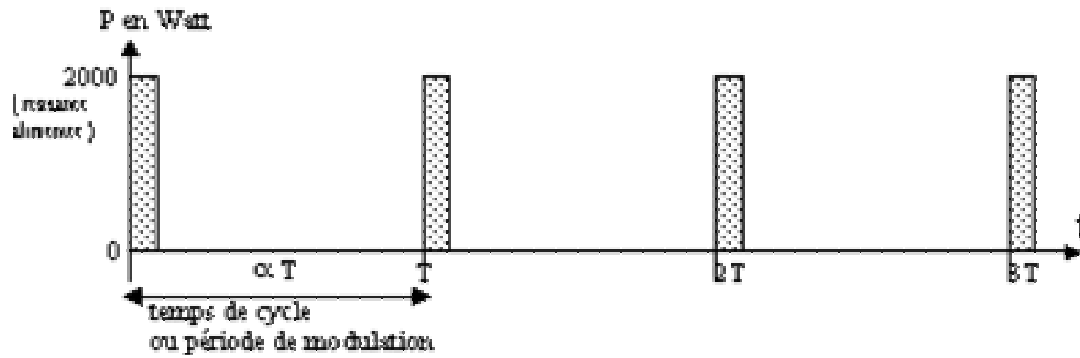
**on veut apporter 2000 Joules dans un four dont la résistance est de 2000 W. il faut alimenter la résistance pendant 1 secondes**

exemple avec une commande à 50 % le rapport cyclique alpha est donc de 0,5 l'énergie apportée au four est de 1000 Joules par seconde en moyenne

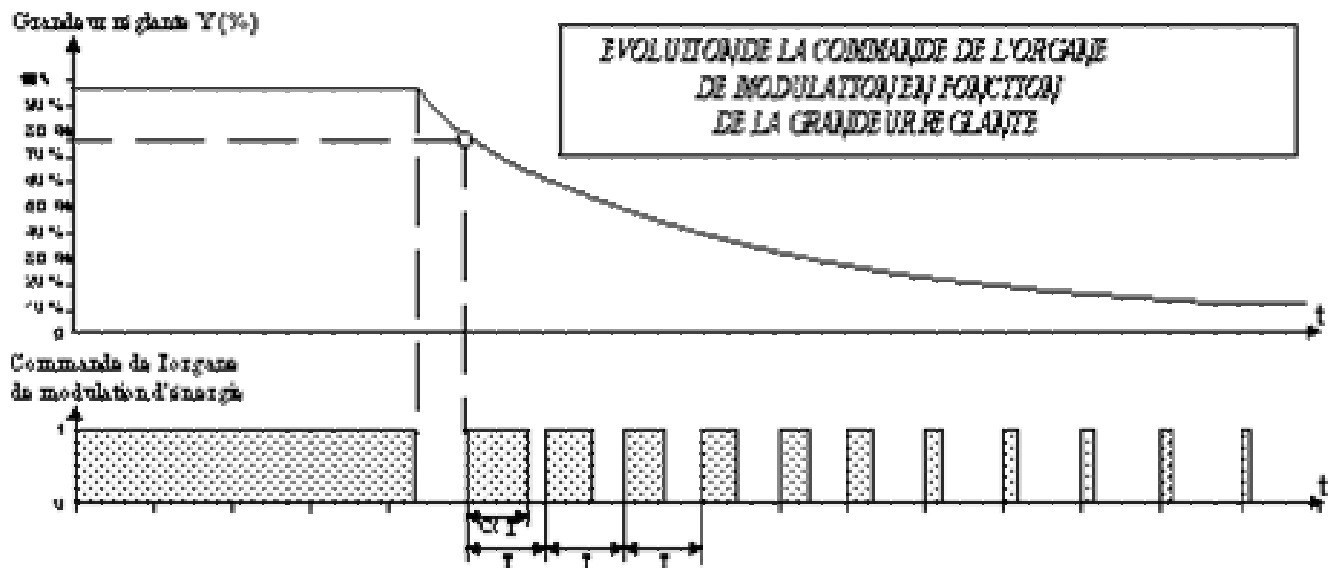


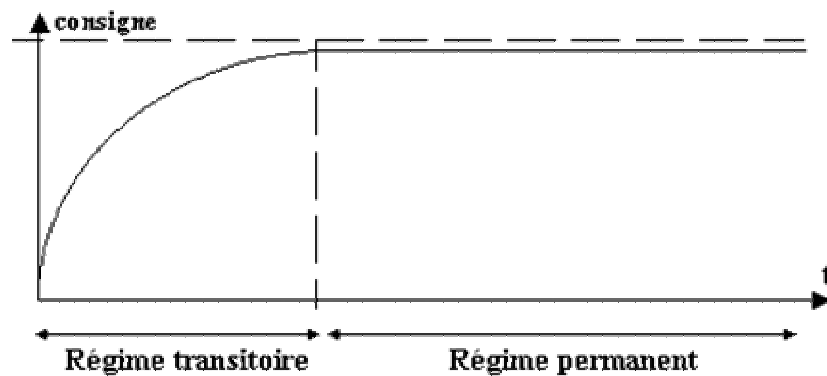
**on veut apporter 1000 Joules dans un four dont la résistance est de 2000 W. il faut alimenter la résistance pendant 0,5 secondes**

exemple avec une commande à 10 % le rapport cyclique alpha est donc l'énergie apportée au four est de 200 J oules par seconde en moyenne



La modulation de l'énergie apportée au four se fera donc de la façon suivante :



**REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : Régime Transitoire - Régime Permanent****REGIME TRANSITOIRE :**

Un système est dit en régime transitoire, pendant la durée de passage d'une situation stable à une autre situation stable. Ce régime correspond à une phase de déséquilibre du système. Le régime transitoire n'a pas de caractère périodique.

**REGIME PERMANENT :**

Un système est dit en régime permanent, lorsqu'il entre dans une phase d'équilibre. Son évolution dans le temps reste stable et périodique.

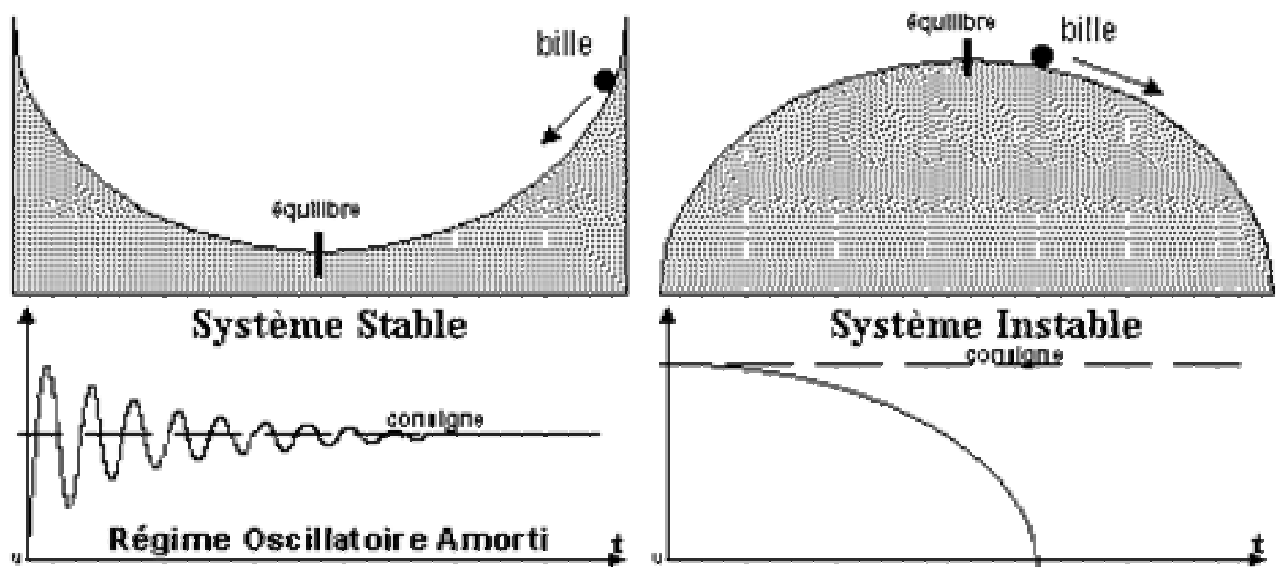
**REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : Stabilité****EXEMPLE :**

Sur la figure de gauche, lorsque la bille est lâchée, elle entame un mouvement oscillatoire autour de la position d'équilibre ( voir graphique ) puis se stabilise sur le point d'équilibre:

c'est un **système STABLE**.

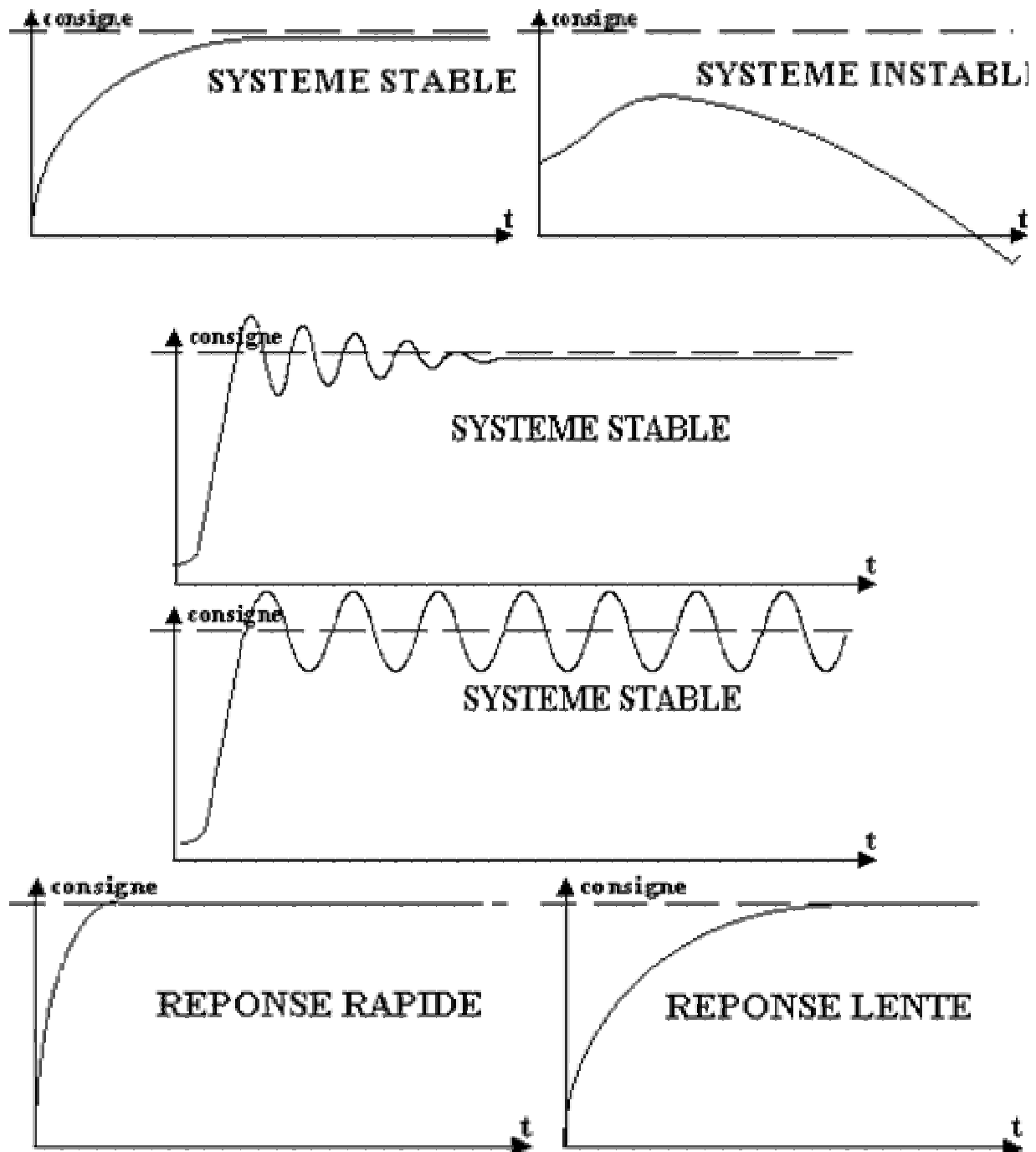
Sur la figure de droite, lorsque la bille est lâchée, elle entame un mouvement qui l'éloigne du point d'équilibre. Plus elle s'éloigne et plus l'effort qui l'incite à s'éloigner du point d'équilibre augmente :

c'est un **système INSTABLE** .



Un système est dit stable lorsqu'il se trouve dans une position d'équilibre autour d'une valeur.

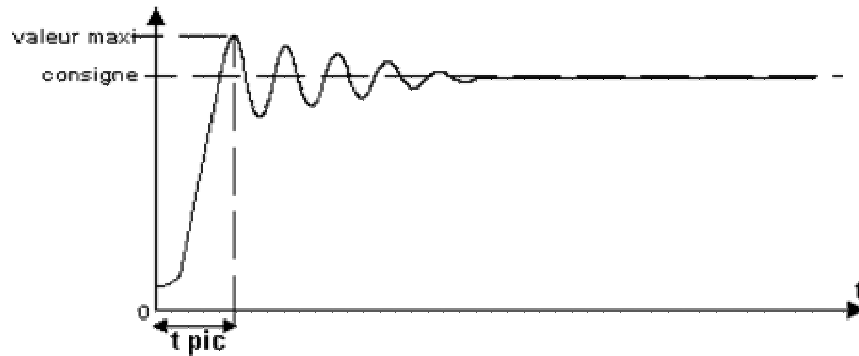
Toute tentative de déséquilibre du système aura pour conséquence, un retour naturel de celui-ci dans une position d'équilibre.



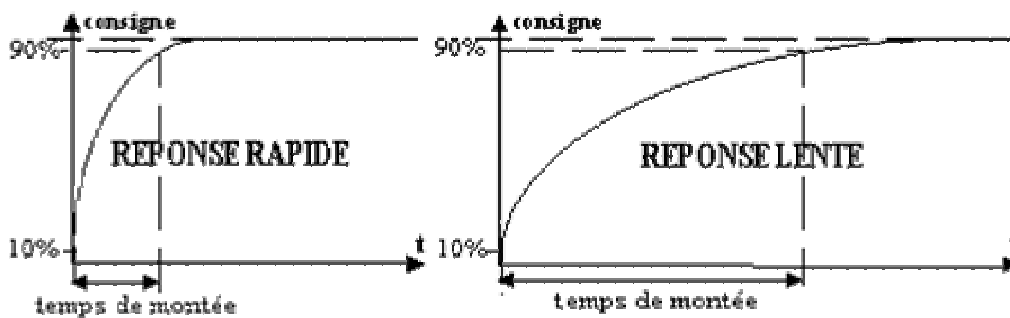
## REGULATION ET ASSERVISSEMENTS : Rapidité - Temps de réponse

Il existe plusieurs critères pour évaluer la rapidité d'un système régulée.

**temps de pic** : temps nécessaire au système pour atteindre sa valeur maxi



**temps de montée** : temps nécessaire au système pour passer de 10% à 90% de sa valeur.



**temps de réponse** : temps nécessaire au système pour entrer dans une bande de x% autour de la valeur de consigne et ne plus en sortir.

