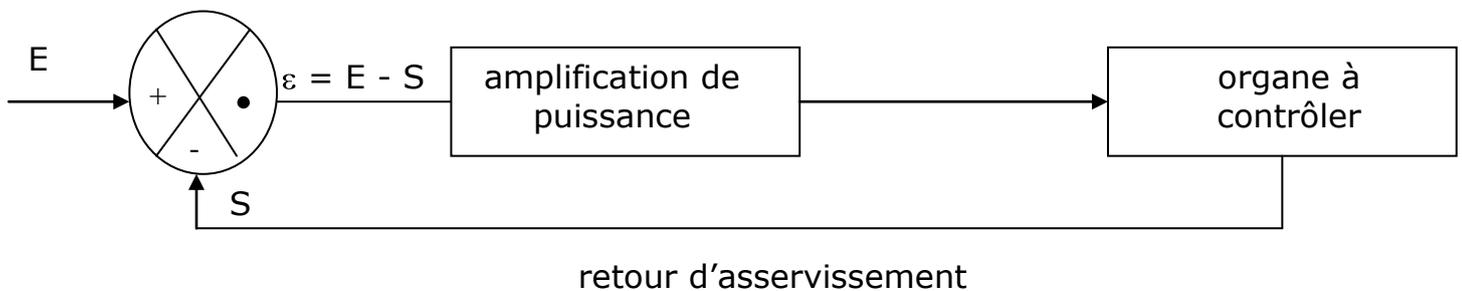


# AUTOMATISME, SERVO-MECANISME

## I. Définition

On appelle servo-mécanisme, un système de commande qui contrôle en permanence la réponse du système par rapport aux ordres d'entrée, et qui élabore les corrections nécessaires pour annuler toutes différences entre l'entrée E et la sortie S, tel que  $\varepsilon = E - S$ . ( $\varepsilon$  signal d'écart ou d'erreur)



En résumé : un servo-mécanisme possède 2 propriétés :

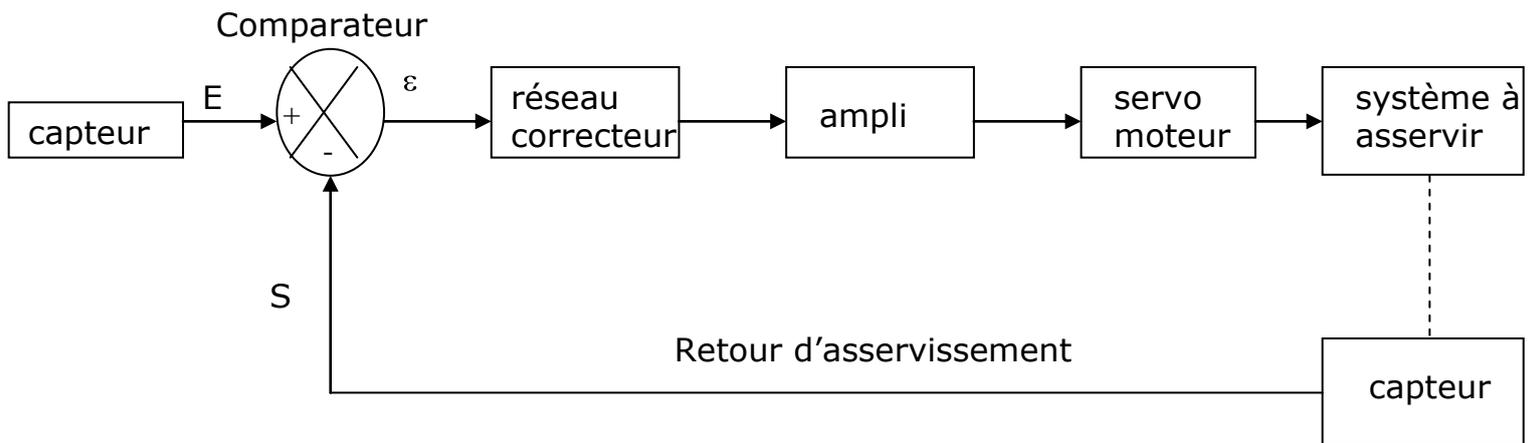
- une amplification de puissance
- un retour d'asservissement

Un servo-méca travaille donc en boucle fermée, c'est à dire qu'il compare en permanence la sortie S par rapport à l'entrée E afin d'annuler automatiquement tout écart entre E et S.

## II. Caractéristiques des servo-mécanismes

- 1) Précision : capacité du système à réagir et corriger tout signal d'écart  $\varepsilon$ .
- 2) Temps de réponse : capacité du système à réagir rapidement dans la correction de l'erreur
- 3) Stabilité : éviter au mieux les phénomènes oscillatoires.

### III. Fonctions et éléments constitutifs des servo-mécanismes



Capteur ou boîte de commande : permet d'afficher ou d'identifier de façon quantitative l'ordre  $\varepsilon$  à réaliser.

Comparateur : délivrer un signal d'écart ou d'erreur, image de la différence entre E et S tel que  $\varepsilon = E - S$ .

Réseau correcteur : transformer le signal d'écart  $\varepsilon$  en un signal d'écart corrigé  $\varepsilon_C$ . Son but est d'améliorer les performances de servo-méca en repoussant les limites du compromis précision-stabilité. C'est à dire de faire en sorte d'améliorer la précision du système sans en affecter la stabilité. Ils sont composés de filtre à partir de circuit R, L, C. (voir chapitre R/C)

Amplification : adapter le signal d'écart à la servitude qui doit être alimentée.

Servo-moteur : électrique ou hydraulique, ils sont principalement utilisés pour mouvoir des pièces mécaniques comme par exemple les CDV.

Système à asservir : objet à déplacer ou à contrôler.

### IV. Notions sur les systèmes à commande linéaire

Les systèmes linéaires sont des systèmes de commande dont le fonctionnement est régi par une équation différentielle à coefficients constants.

La relation qui relie l'entrée et la sortie est de la forme :

$$A_0E + A_1 \frac{dE}{dt} + A_2 \frac{d^2E}{dt^2} + \dots = B_0S + B_1 \frac{dS}{dt} + B_2 \frac{d^2S}{dt^2} + \dots$$

## V. Fonctions et lieux de transfert

### 1) Fonction de transfert

La fonction de transfert d'un système asservi est l'étude de la réponse  $S(t)$  du système pour un ordre d'entrée  $E(t)$ .

Si l'équation différentielle qui relie  $E/S$  est du 1<sup>er</sup> ou 2<sup>ème</sup> ordre, la résolution des équations des servo-méca se fait, au travers de son équation différentielle.

Si l'ordre est plus important, elle se passe par l'utilisation d'un opérateur mathématique appelé « transformée de LAPLACE ».

### 2) Lieu de transfert

Le lieu de transfert d'un système asservi est une représentation graphique du rapport d'amplitude et du déphasage de  $S/E$  en fonction de la pulsation. L'étude du lieu de transfert permet de mettre en évidence les caractéristiques du servo-mécanisme. (précision, stabilité, temps de réponse)

BODE est aujourd'hui le plus usité et met ces caractéristiques en évidence sur 2 graphes distincts.

1<sup>er</sup> graphe → rapport d'amplitude / pulsation

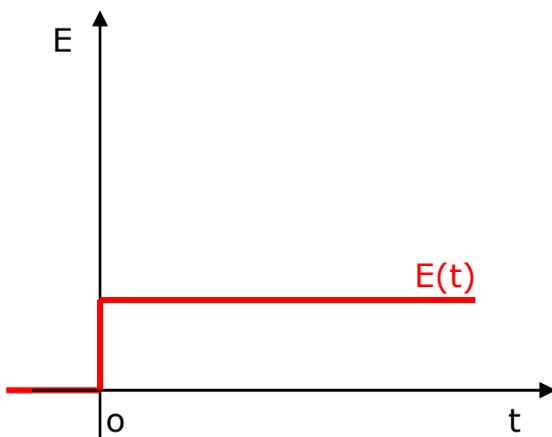
2<sup>ème</sup> graphe → déphasage entre  $E$  et  $S$  / pulsation

BLACK et NIQUIST mettent en évidence ces caractéristiques au travers d'un seul graphe. De ce fait, l'analyse des caractéristiques est **plus rapide**.

## VI. Les différences entrées, réponses et régimes

1) Les différences entrées : afin de mettre en évidence les caractéristiques des servo-méca, on les soumet à l'influence d'entrées types.

### a) Entrée unitaire

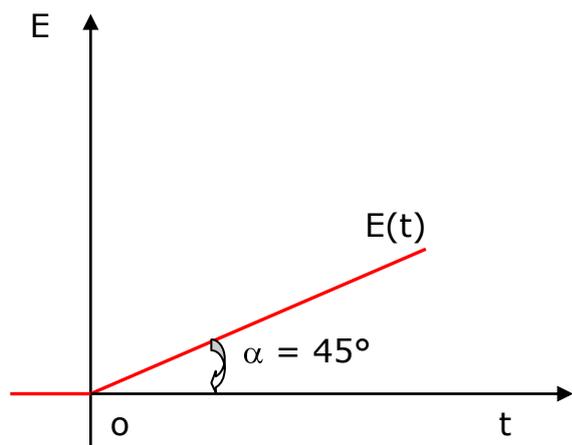


$$\text{si } t < 0 \rightarrow E(t) = 0$$

$$\text{si } t = 0 \rightarrow E(t) = 1$$

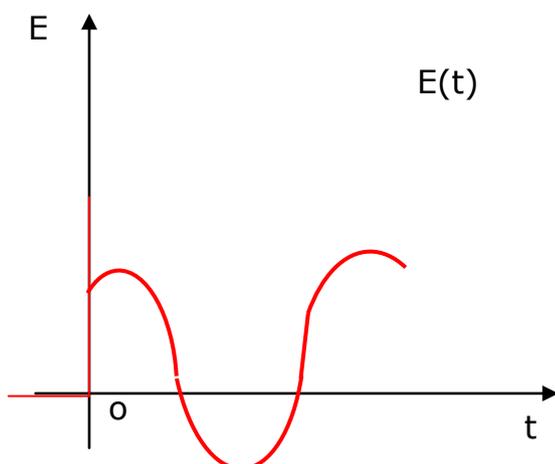
$$\text{si } t > 0 \rightarrow E(t) = 1$$

## b) Entrée rampe ou vitesse



$$\begin{aligned} \text{si } t < 0 &\rightarrow E(t) = 0 \\ \text{si } t \geq 0 &\rightarrow E(t) = Kt \text{ avec } K = \text{tg}\alpha \\ &\rightarrow K = 1 \rightarrow E(t) = t \end{aligned}$$

## c) Entrée harmonique

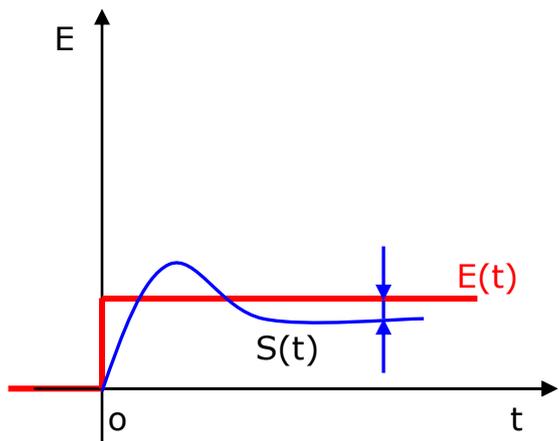


$$\begin{aligned} \text{si } t < 0 &\rightarrow E(t) = 0 \\ \text{si } t = 0 &\rightarrow E(t) = E_0 \sin \Phi \\ \text{si } t > 0 &\rightarrow E(t) = E_0 \sin (\omega t + \Phi) \end{aligned}$$

## 2) Les réponses

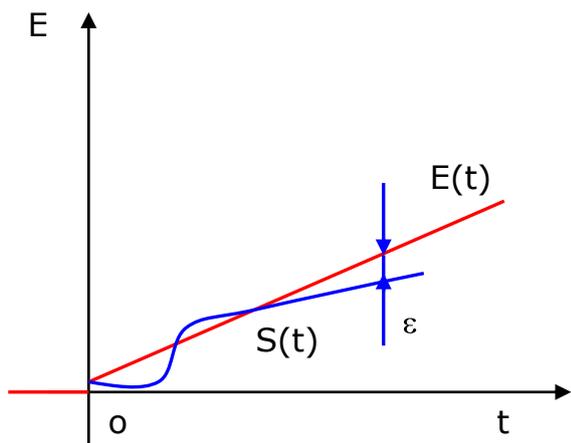
Les réponses  $S(t)$  permettent de mettre en évidence les erreurs ou imprécision des servo-méca. A noter que ces erreurs portent un nom particulier en fonction de la nature de l'entrée.

a) Réponse à l'entrée unitaire



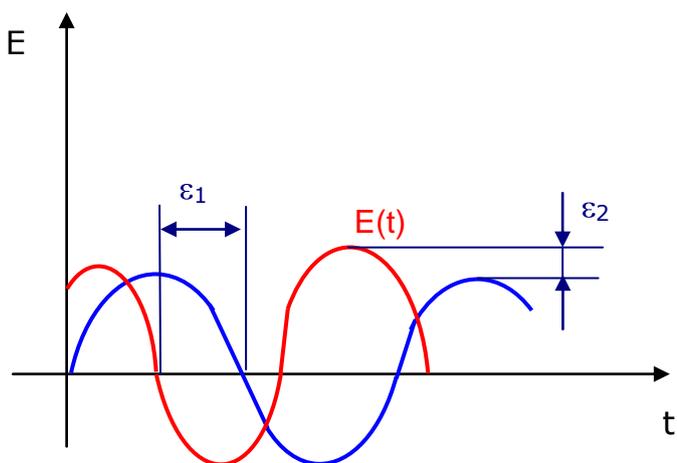
$\epsilon = E - S$ . Si  $S(t) \neq E(t)$ , l'erreur est appelée : « erreur de position ».

b) Entrée rampe ou vitesse



$\epsilon = E - S$ . Si  $S(t) \neq E(t)$ , l'erreur est appelée : « erreur de traînée ».

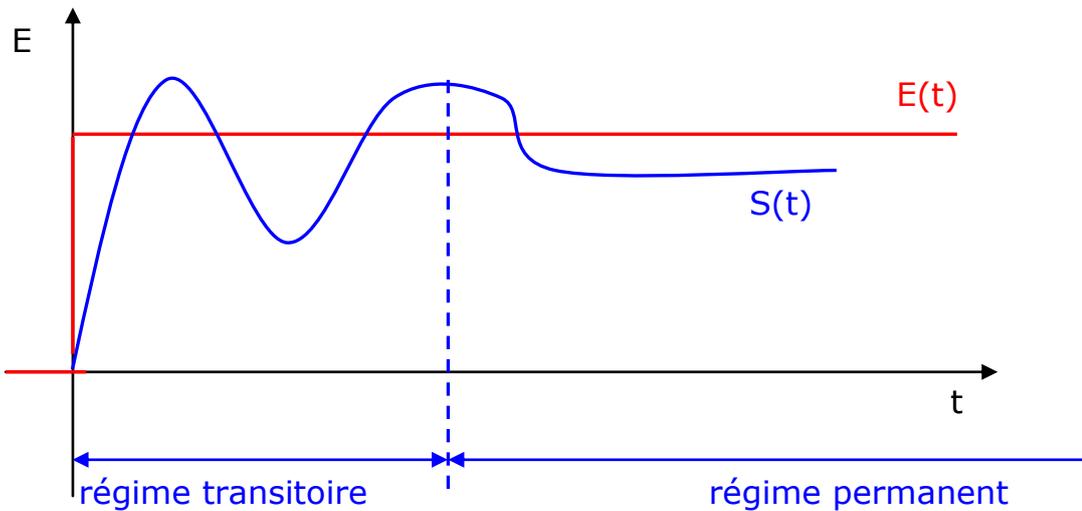
c) Entrée harmonique



$\epsilon_1$  : erreur de phase

$\epsilon_2$  : erreur d'amplitude

### 3) Les régimes



On considère être en régime permanent à partir du moment où  $S(t)$  ne s'écarte pas plus de 5% de  $E(t)$ .

#### VII. Notion de bande passante

On appelle bande passante d'un système, la bande qui s'étend de la fréquence nulle à la fréquence provoquant une atténuation de  $-3\text{db}$ .

Remarque : cette bande doit être suffisamment grande pour contenir toutes les fréquences utiles au système et suffisamment étroite pour ne pas amplifier les perturbations éventuelles.

#### VIII. Les différents types de réseaux correcteurs

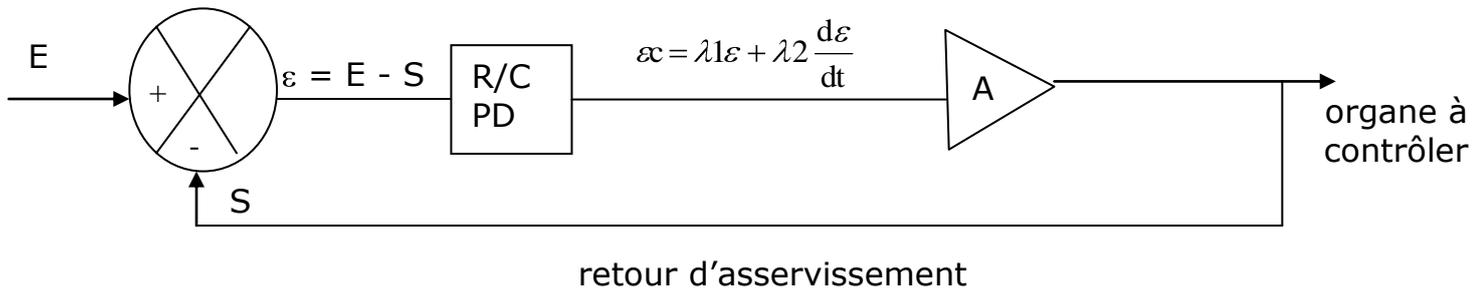
Rappelons que leur rôle est d'améliorer les caractéristiques des servos-mécanismes, en reculant au mieux les limites du compromis « précision-stabilité ».

C'est à dire en essayant d'améliorer la stabilité du mécanisme sans en affecter la précision.

Ce compromis est assuré par 3 types de réseau correcteur.

- Réseau correcteur proportionnel dérivée (P.D.) à avance de phase
- Réseau correcteur proportionnel intégral (P.I.) à retard de phase
- Réseau correcteur proportionnel intégral dérivée (PID) ou mixte.

a) R/C de type P.D.

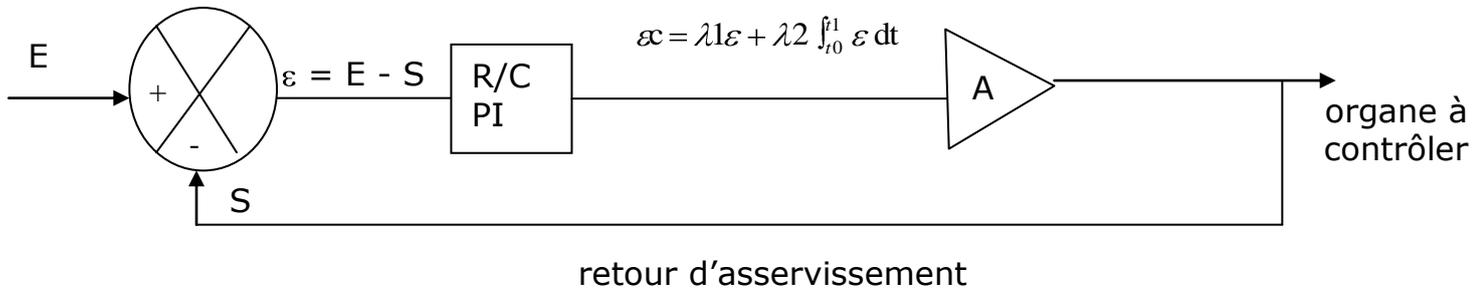


Le réseau correcteur PD a pour fonction d'ajouter au signal d'écart  $\varepsilon$  détecté par le comparateur un terme d'action dérivée/temps. L'évolution de  $\varepsilon$  au cours du temps étant prise en compte par l'intervention du terme  $\frac{d\varepsilon}{dt}$ , pour que  $S = E$ , il faut non seulement que  $\varepsilon = 0$  mais aussi que  $\frac{d\varepsilon}{dt} = 0$ .

On réalise ainsi une anticipation du nulle.

En résumé, le R/C de type PD a pour action d'augmenter la stabilité par anticipation du nulle alors que la précision conférée au comparateur reste inchangée.

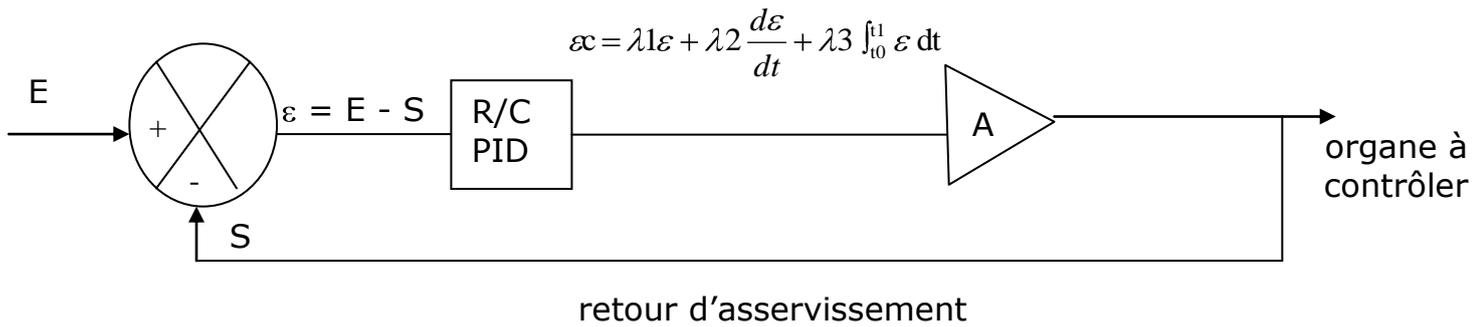
b) R/C de type P.I.



Le terme intégral se comporte ici comme un sommateur et permet d'intégrer dans le temps toute erreur aussi petite soit-elle entre E et S.

Son but est donc d'augmenter la précision des servo-mécanismes.

c) R/C de type P.I.D



$\varepsilon_c = 0$  dès que la combinaison linéaire des 3 termes qui la compose est nulle.  
On joue sur la stabilité ou la précision en faisant évoluer les coefficients de gain d'amplification  $\lambda_2$  et  $\lambda_3$ .

IX. Résonance d'un circuit RLC.



R : résistance  
L : inductance  
C : capacité

L'impédance d'un tel circuit s'exprime sous la forme :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{c\omega}\right)^2}$$

On dit que ce circuit est à la résonance lorsque

$$L\omega = \frac{1}{c\omega} \rightarrow \text{soit } L\omega - \frac{1}{c\omega} = 0$$

à la résonance , ce circuit est donc purement résistif donc non déphaseur et présente un maximum d'amplitude.

## X. Tableau récapitulatif

	<b>STABILITE</b>	<b>PRECISION</b>
Gain bande passante ↑	↓	↑
Amortissement temps de réponse ↑	↑	↓
Système P.D.	↑	Inchangée
Système P.I.	Inchangée	↑