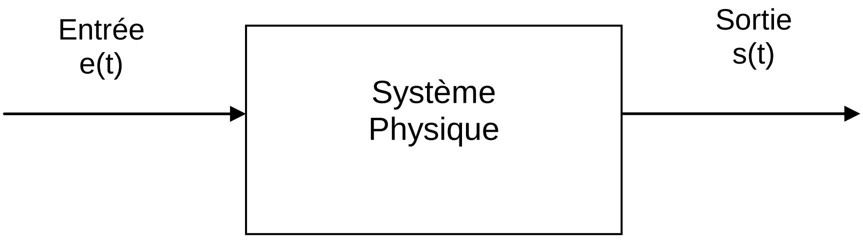
LES BOUCLES D'ASSERVISSEMENT

1 Introduction:

Un système physique est commandé lorsque sa sortie est fonction de son entrée.



- Le système commandé est en général un organe qui peut être de puissance dont l'action est de nature mécanique, thermique, acoustique, électrique.
- Le signal de commande est le plus souvent de type électrique sous forme d'une tension

Dans un procédé industriel, une boucle d'asservissement a pour objectif d'atteindre une grandeur physique en sortie égale à une valeur de consigne souhaitée, quelles que soient les variations des grandeurs perturbatrices; à l'aide d'un actionneur agissant sur une grandeur "réglante"

Exemple :

Asservissement manuel de la vitesse et utilisation du pilote automatique de l'A320

Lors de la phase d'atterrissage, le pilote de l'avion de ligne utilise la manette des gaz pour réduire sa vitesse, il utilise l'indicateur de vitesse pour savoir s'il a atteint la vitesse qu'il désirait, s'il dépasse, il ralentit l'avion en réduisant la manette des gaz, s'il est en dessous, il accélère en augmentant davantage les gaz. Le pilote asservie l'avion à la vitesse qu'il souhaite.

En phase de croisière, le pilote automatique compare la vitesse réelle de l'avion à une vitesse de croisière choisie par le pilote. Par exemple, quand l'avion rencontre des vents de face, il accélère pour atteindre cette vitesse, quand les vents sont au contraire porteurs (venant de l'arrière), l'avion réduit la commande des gaz pour ne pas dépasser la vitesse de consigne. Ce système est optimisé pour les longues distances, assurant ainsi une consommation optimale du carburant. Le système effectue seul les corrections du régime des moteurs en fonction du profil venteux rencontré, il régule la vitesse de l'avion.

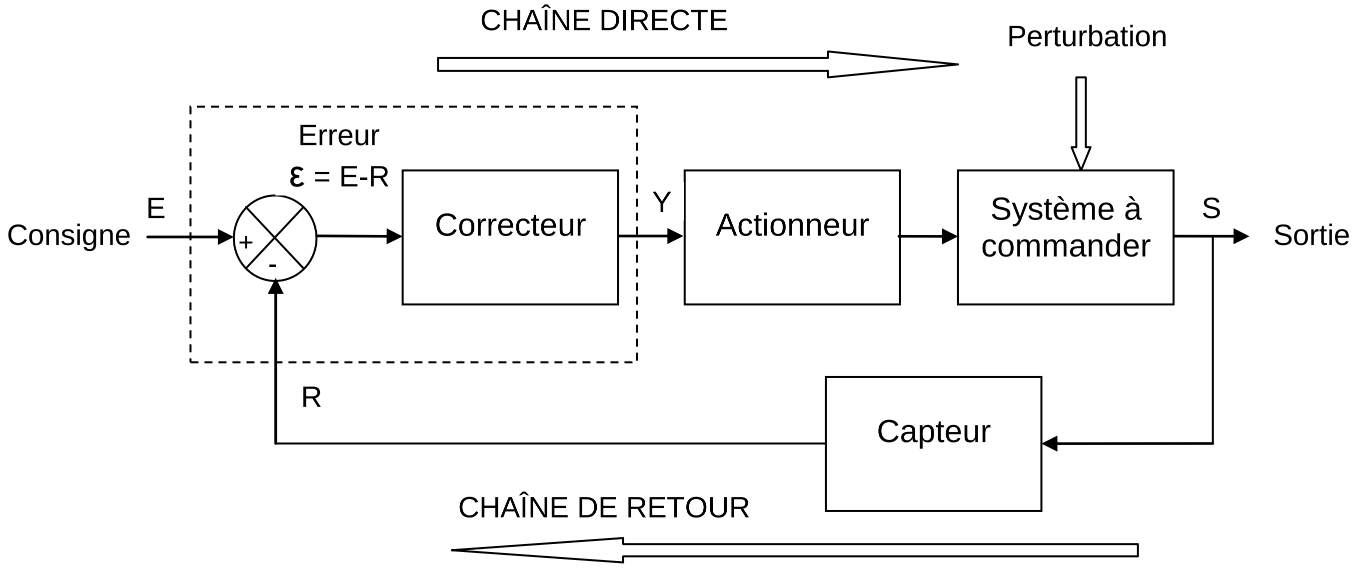
2 Les caractéristiques principales attendues d'un système asservi :

- La sensibilité : on souhaite avoir en sortie de fortes variations liées à de faibles variations de l'entrée.
- La fidélité : pour une entrée constante, on souhaite obtenir toujours la même valeur en sortie.

Ceci est rendu difficile en raison des perturbations qui affectent le système

3 Représentation fonctionnelle des systèmes asservis :

Schéma fonctionnel d'un système asservi

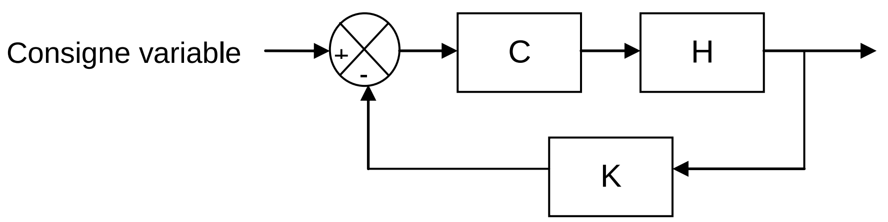


Le schéma fonctionnel fait apparaitre une entrée de commande appelée "consigne", un "comparateur" qui permet d'élaborer à sa sortie une erreur entre l'image de la consigne et l'image de la grandeur mesurée en sortie, un système commandé matérialisant la chaîne directe, et un dispositif d'observation (capteur) constituant la chaîne de retour

L'objectif de ce dispositif (matériel ou logiciel) est de déterminer le signal de commande de l'actionneur en recherchant à annuler l'écart entre la grandeur réglée (sortie) et la consigne.

4 Distinction entre asservissement et régulation :

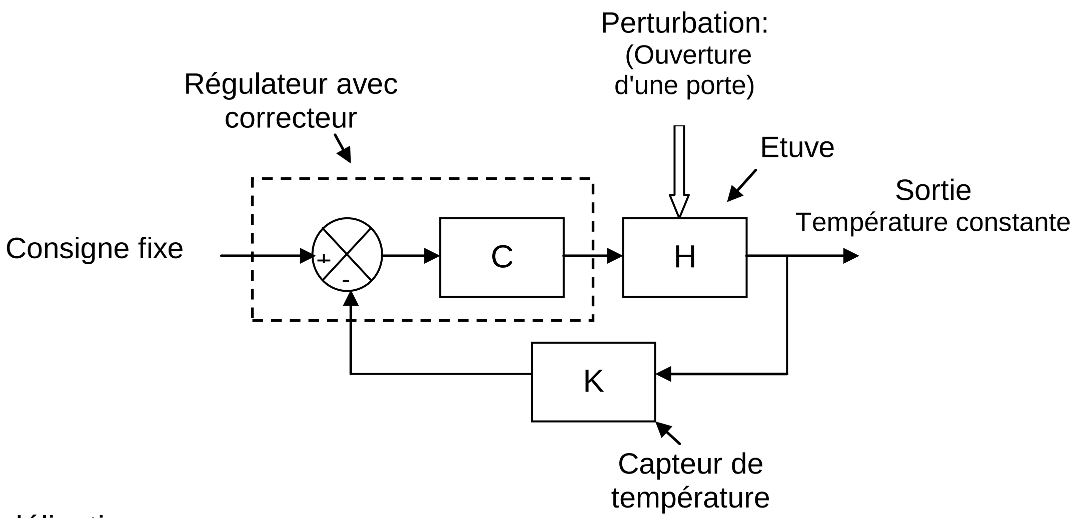
Un asservissement est un processus dont l'objet principal est d'atteindre le plus rapidement possible en sortie le niveau de fonctionnement demandé à l'entrée.
Cela nécessite de stabiliser et d'améliorer la réaction d'un système par rapport à sa consigne;
Le principe général est de comparer la consigne et l'état du système de manière à le corriger.



Un système asservi devient un système régulé quand en présence d'une consigne fixe (d'un point de vue dynamique, la consigne n'apparaît plus), il réagit seul à la présence d'une perturbation pour rétablir la sortie du système à la valeur précédant la perturbation.

Pour cela il cherche à s'opposer à toutes variations de la sortie.

Exemple régulation de température dans une étuve :



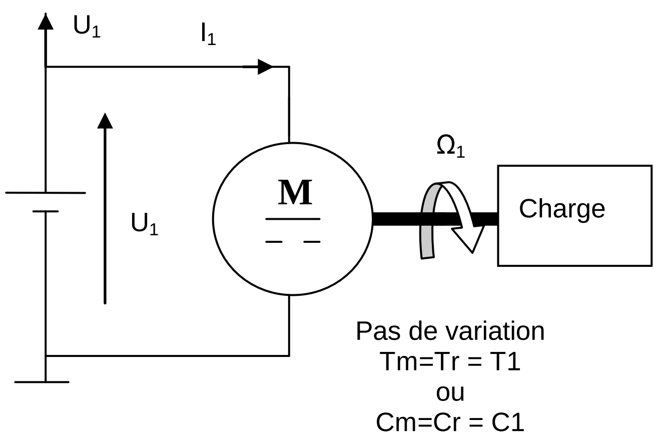
5 Modélisation

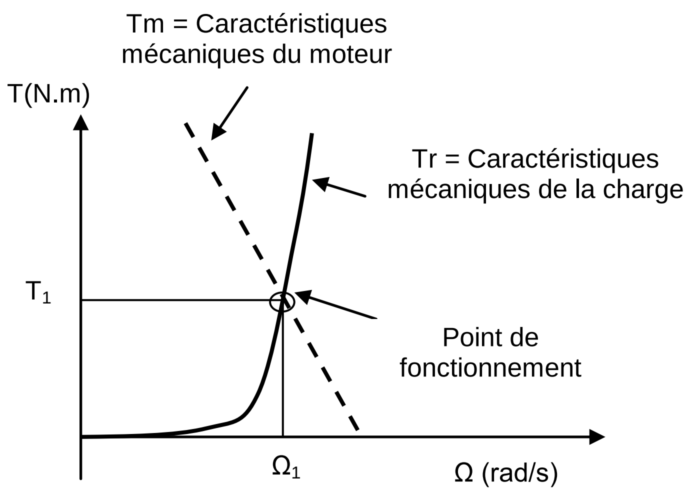
5.1 Caractéristiques statiques et dynamique et point de fonctionnement

La modélisation d'un système se fonde sur les caractéristiques statiques et dynamiques de son comportement :

L'intersection des caractéristiques statiques (par exemple d'un moteur et d'une charge) permet de définir son point de fonctionnement en régime permanent.
Le comportement autour de ce point de fonctionnement est caractérisé par le modèle dynamique de l'ensemble.

Exemples :





On définit :

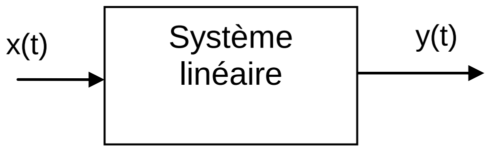
- Le régime statique comme étant le régime de fonctionnement d'un système lorsqu'il est soumis à une excitation invariante dans le temps

- Le régime dynamique, comme étant le régime de fonctionnement d'un système lorsqu'il est soumis à une excitation variable dans le temps autour du point de repos ou point de fonctionnement.

De manière générale, un système linéaire ayant pour entrée x(t) et pour sortie y(t) :

La relation qui permet de rendre compte de la dynamique de ce système est une équation différentielle linéaire contenant des coefficients indépendants du temps.

Cette équation rend compte du régime statique dans le cas où l'entrée et la sortie sont constantes (annulation du terme dérivé de l'équation).



Exemple :

Soit un système régi par l'équation : $0{,}5\ dy/dt + y = 3x$

En régime statique la variation dy/dt est nulle est l'équation devient $y = 3.x$, ce qui donne un gain statique de $y/x = 3$

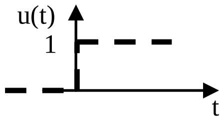
Le régime dynamique est contenu dans le terme : $0{,}5\ dy/dt$

5.2 Systèmes du premier ordre :

- Les systèmes du premier ordre sont décrits par l'équation différentielle du premier ordre :

$$\tau.\frac{dy}{dt} + y(t) = K.u(t)$$

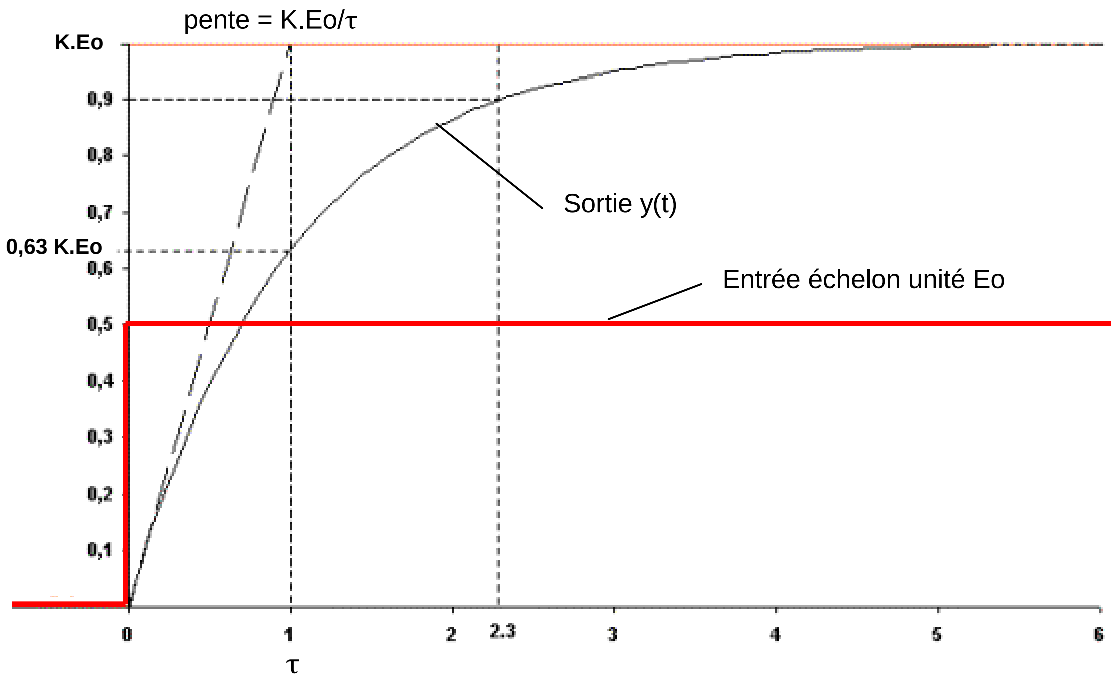
τ : constante de temps du système
K : gain statique
u(t) : échelon unité



La réponse indicielle est une réponse temporelle à un échelon unité pour un système linéaire initialement au repos.

La réponse indicielle (échelon d'amplitude Eo) d'un système du premier ordre s'écrit :

$$y(t) = K.E_o\,(1\text{-}e^{-t/\tau})\quad \text{avec } t \geq 0$$



5.3 Systèmes du deuxième ordre :

Les systèmes du deuxième ordre sont décrits par des équations différentielles du deuxième ordre:

$$b_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + b_1 \frac{dy(t)}{dt} + b_0 y(t) = a_0.u(t)$$

A partir de l'équation différentielle précédente, on définit les paramètres caractérisant le système :

Le gain statique du système $K = \frac{a_0}{b_0}$

La pulsation propre non amortie $\omega_n = \sqrt{\left(\frac{b_0}{b_2}\right)}$

Le coefficient d'amortissement (xi) : $\xi = \frac{b_1}{\sqrt{b_0 b_2}}$

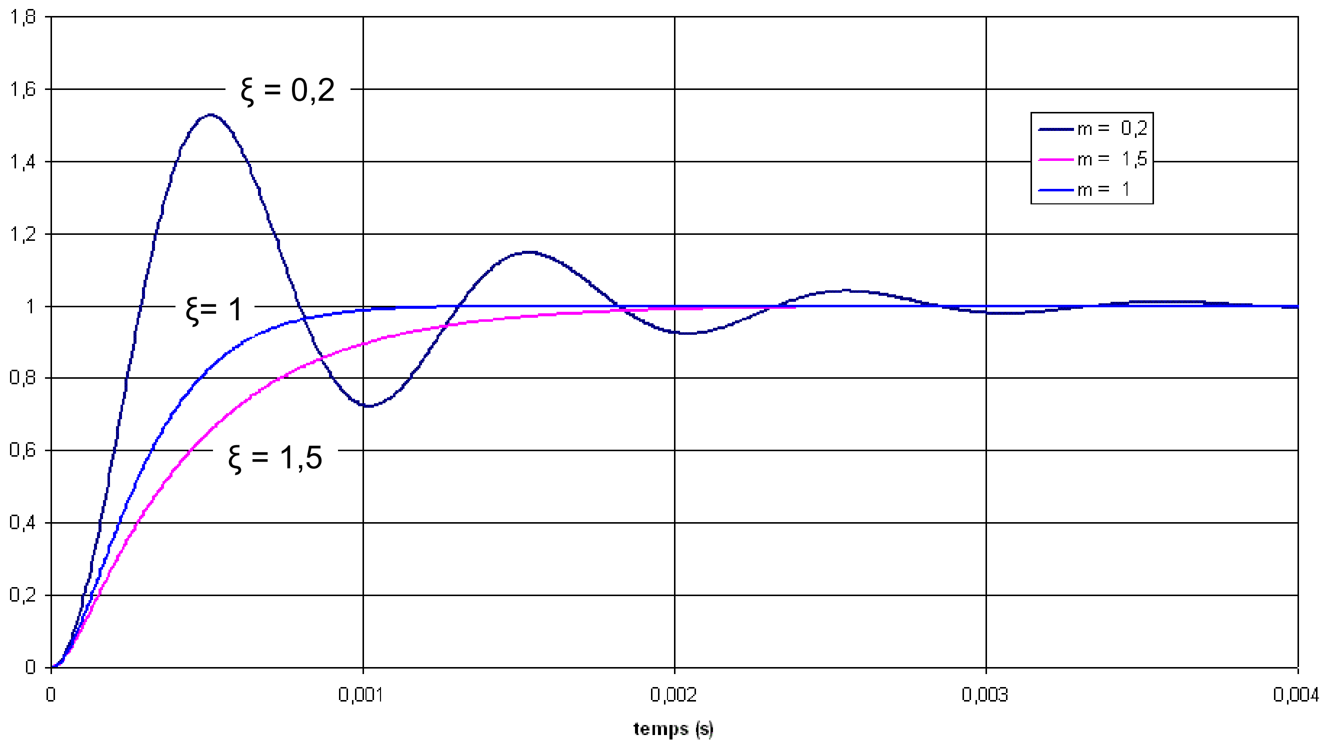
On peut alors en déduire la réponse indicielle en fonction de la valeur du coefficient d'amortissement: ξ

Si ξ>1 : alors le système est hyper-amorti

Si ξ=1 le système est amortissement critique

Si 0 ≤ ξ ≤ 1 alors le système est sous amorti

Réponse indicielle d'un système du 2ème ordre



6 Méthode d'identification d'un système:

1erméthode : la réponse indicielle ou réponse à un échelon elle consiste à:

- Appliquer au système un échelon de grandeur à l'entrée en étant dans le domaine de linéarité du système.
- Analyser la réponse avec le modèle mathématique du 1er ordre, 2^{e} ordre.

A partir d'un essai de réponse indicielle sur un système, l'identification consiste à reconnaître dans le comportement du système étudié, un système connu, puis à en déterminer les caractéristiques.

Identification d'un système du premier ordre :

L'identification d'un premier ordre porte sur l'observation de la tangente inclinée en zéro, de l'asymptote horizontale à l'infini et de l'absence de dépassement. Il y a deux caractéristiques à déterminer K et τ , voir 5.2.

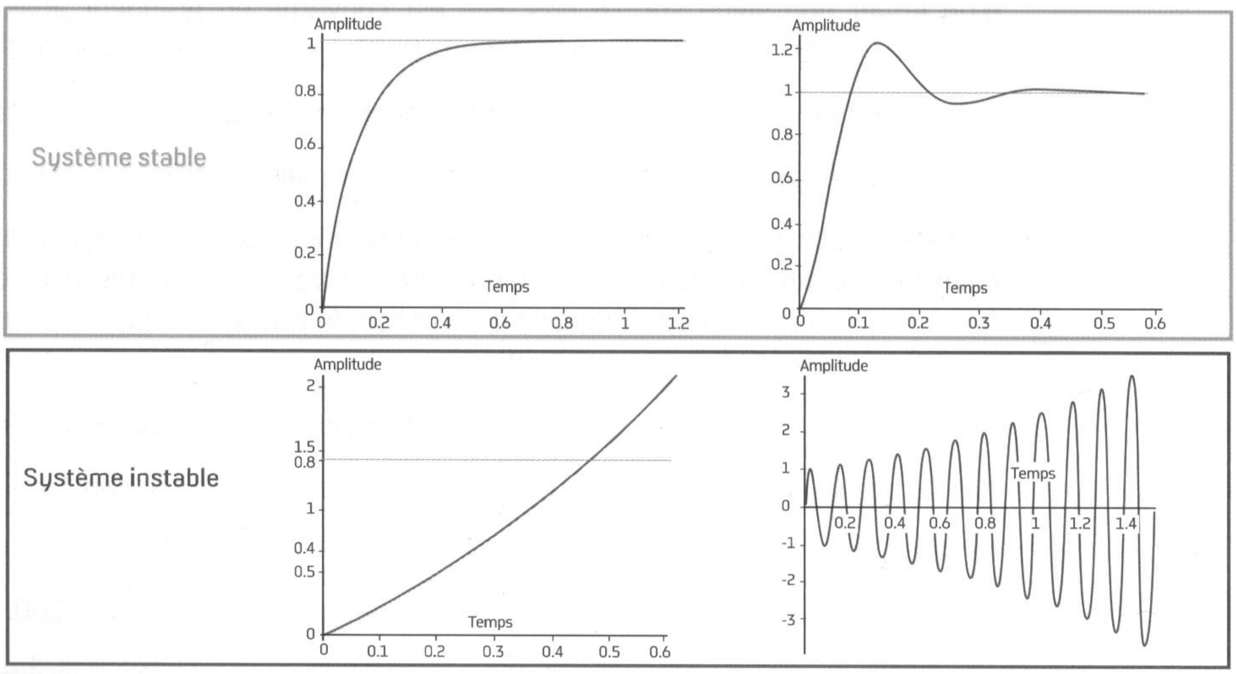
- La valeur de K est obtenue à partir de l'asymptote horizontale

- La valeur de τ est obtenue par la lecture du point d'abscisse qui correspond à 63% de K

Identification d'un système du second ordre :

L'identification d'un second ordre porte sur l'observation de la tangente inclinée, du décalage de cette tangente par rapport au zéro (retard), de l'asymptote horizontale à l'infini et des dépassements, Il y a trois caractéristiques à déterminer K, ξ et ω_n voir 5.3.

Exemple de réponse indicielle :



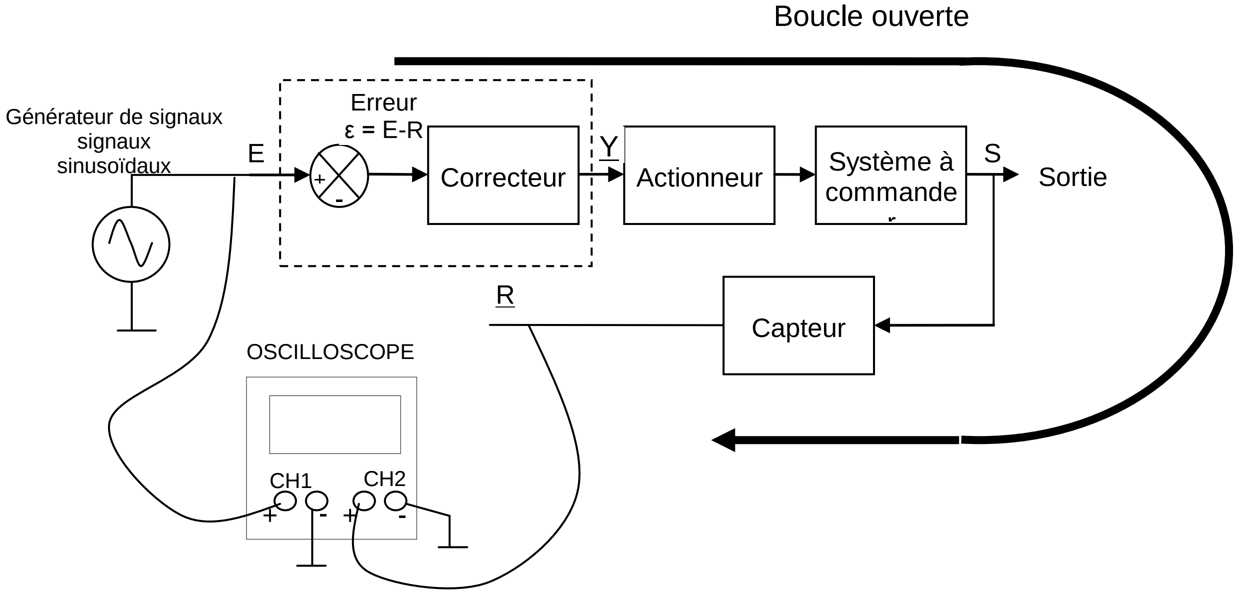
2e méthode : la réponse harmonique ou réponse fréquentielle en boucle ouverte

On définit la chaine en boucle ouverte par la fonction de transfert entre la mesure (avant le comparateur, entrée du correcteur) et l'écart (après le comparateur, sortie capteur).

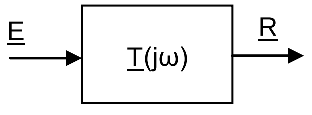
La réponse harmonique consiste, en boucle ouverte, autour d'un point de fonctionnement P_1 choisi dans le domaine de linéarité du système à appliquer un signal sinusoïdal sur l'entrée et pour chaque fréquence du signal d'entrée :

- on relève le rapport des amplitudes entre l'entrée et la sortie afin de déterminer le gain;
- on relève le déphasage entre la sortie et l'entrée du système.

Schéma de principe :



Les résultats de ces mesures permettent de représenter la réponse fréquentielle T(jω) d'un système sous la forme d'un diagramme de "Bode".



$$T(j\omega) = \frac{S(j\omega)}{E(j\omega)}$$

Le diagramme de "Bode" est composé de deux tracés:

- le gain (ou amplitude) en décibels (dB). Sa valeur est calculée à partir de

  $20 \log_{10}(|\underline{T}(j\omega)|)$.

- la phase (écart angulaire entre l'entrée et la sortie) en degré, donnée par arg($\underline{T}(j\omega)$)

L'échelle des pulsations est logarithmique et est exprimée en rad/s (radian par seconde). L'échelle logarithmique permet un tracé très lisible, car composé majoritairement de tronçons linéaires.

Diagramme de Bode d'un système du premier ordre (cas d'un filtre passe bas)

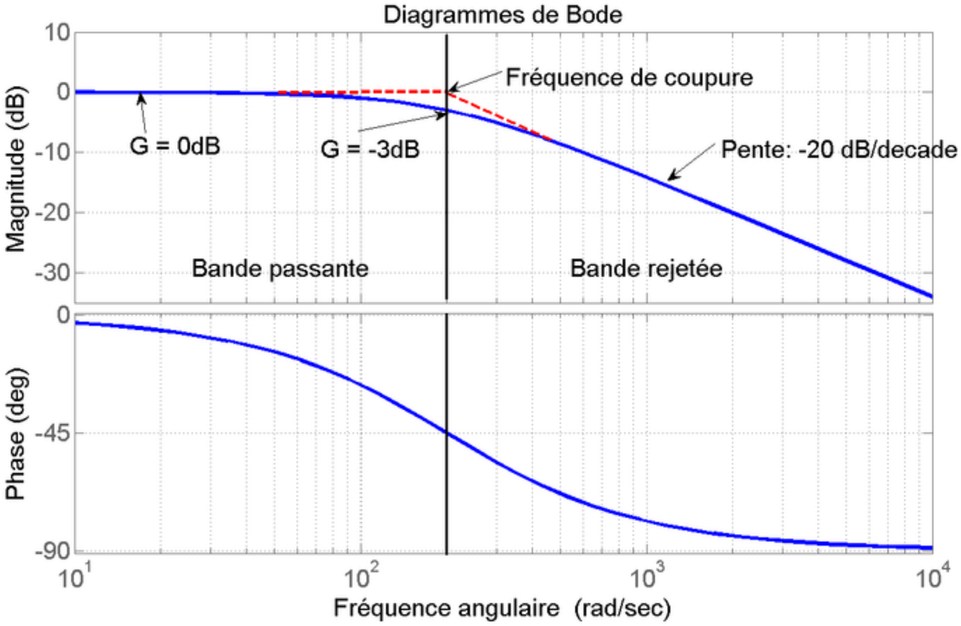
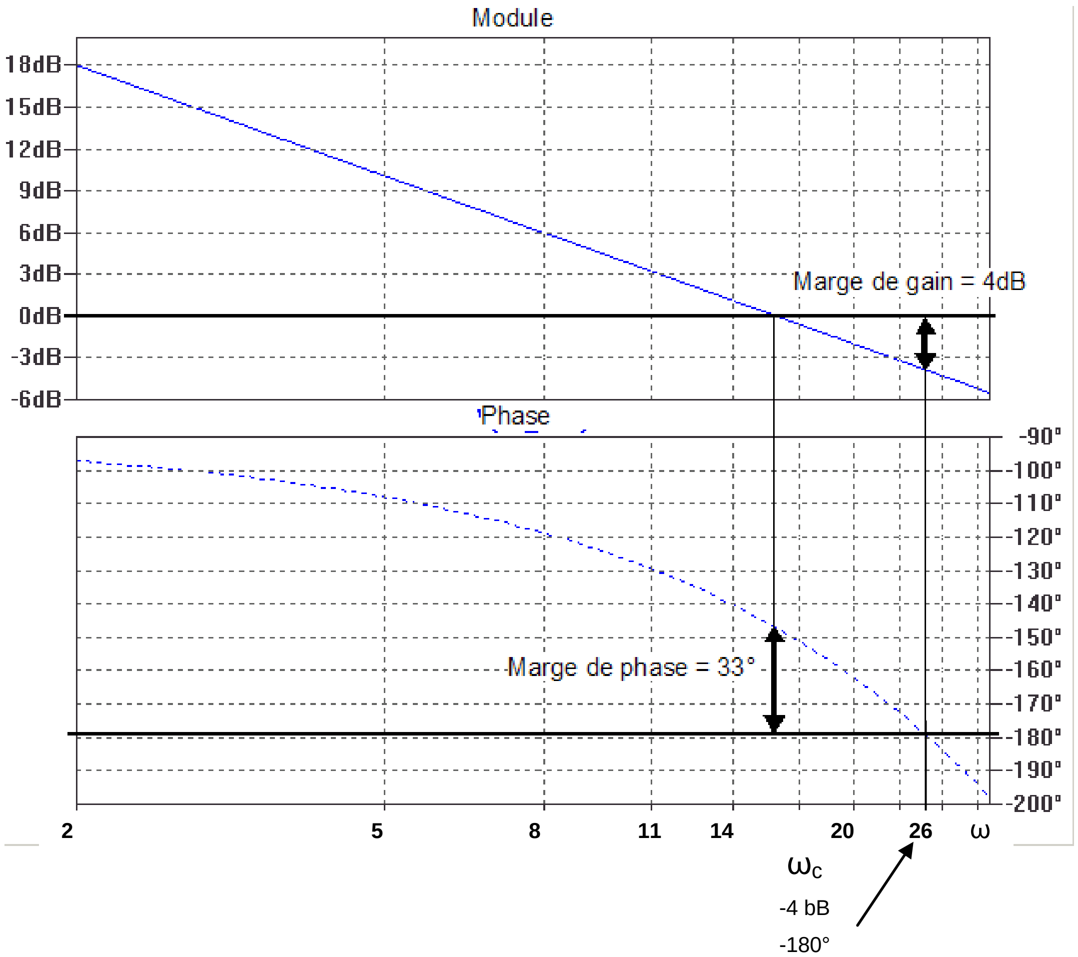


Diagramme de Bode d'un système du deuxième ordre



Par exemple l'étude de la stabilité du système s'effectue, dans le cas d'un système du 2e ordre de la manière suivante:

On repère la pulsation ω_c pour laquelle $arg(\underline{T}(j\omega)) = -180°$

On relève sur le diagramme du module $20\ log_{10}(|T(j\omega_c)|)$:

- si $20\ log_{10}(|\underline{T}(j\omega_c)|)>0$, soit $|\underline{T}(j\omega_c)| > 1$ le système bouclé est instable;
- si $20\ log_{10}(|\underline{T}(j\omega_c)|)<0$, soit $|\underline{T}(j\omega_c)| < 1$ le système bouclé est stable;