

Objectifs

- Modéliser un système commandé linéaire
- Caractériser les sous-ensembles composant le système
- Évaluer les performances d'un système commandé linéaire
- Mettre en œuvre un système commandé linéaire

17 MODÉLISATION ET PILOTAGE DES SYSTÈMES LINÉAIRES

1 Les processus commandes

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

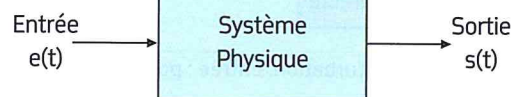


Fig. 1 Système physique

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 ».



Fig. 2 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.

pilotage automatique d'un avion de ligne permet d'atteindre une économie de carburant d'environ 10 % par rapport à un pilote expérimenté. L'asservissement des commandes concerne les paramètres : le débit, la vitesse et l'altitude.

Le pilote automatique est très utilisé, il assure aussi le contrôle du cap et l'altitude de l'avion. Les trois paramètres ainsi contrôlés permettent une gestion sécurisée et optimisée de l'avion.

Les deux caractéristiques principales d'un système piloté sont :

- 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.

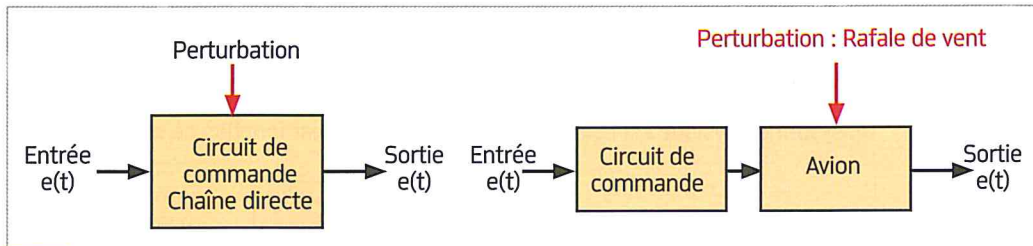


Fig. 3 Influence de la perturbation. Entrée : positionnement des commandes de vol, sortie : trajectoire

► 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.

La régulation des procédés industriels regroupe l'ensemble des moyens matériels et techniques mis en œuvre pour **maintenir une grandeur physique** égale à une valeur désirée en présence de perturbations avec une grandeur d'entrée fixe.

2

Représentation fonctionnelle du système de pilotage

Pour commander un système et éviter d'éventuelles perturbations pouvant agir sur son comportement, on agit sur la chaîne directe en évitant de déstabiliser le système. On doit pour cela surveiller et corriger la grandeur de sortie de la chaîne d'asservissement ou de régulation.

► Schéma fonctionnel d'un système asservi

Il fait apparaître un « dispositif de commande » dont l'entrée est une 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 constituant le 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 et la consigne.

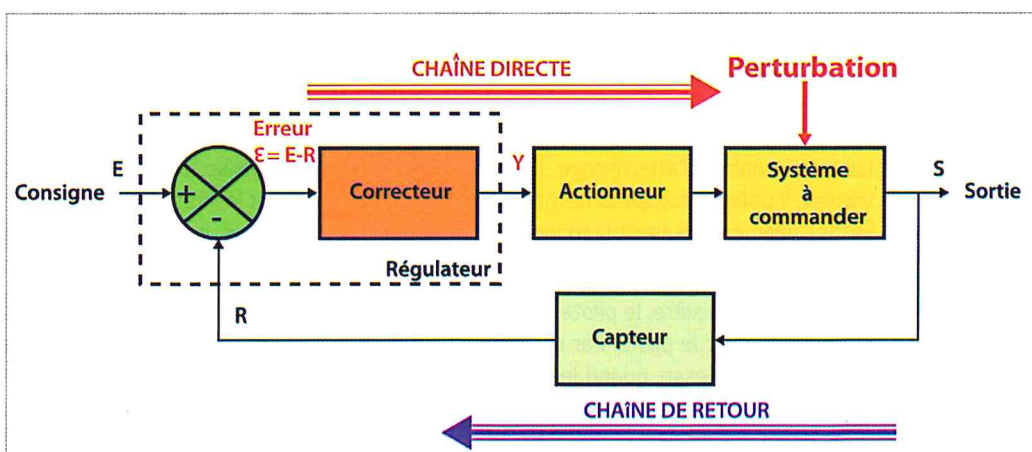


Fig. 4 Modélisation d'un système asservi

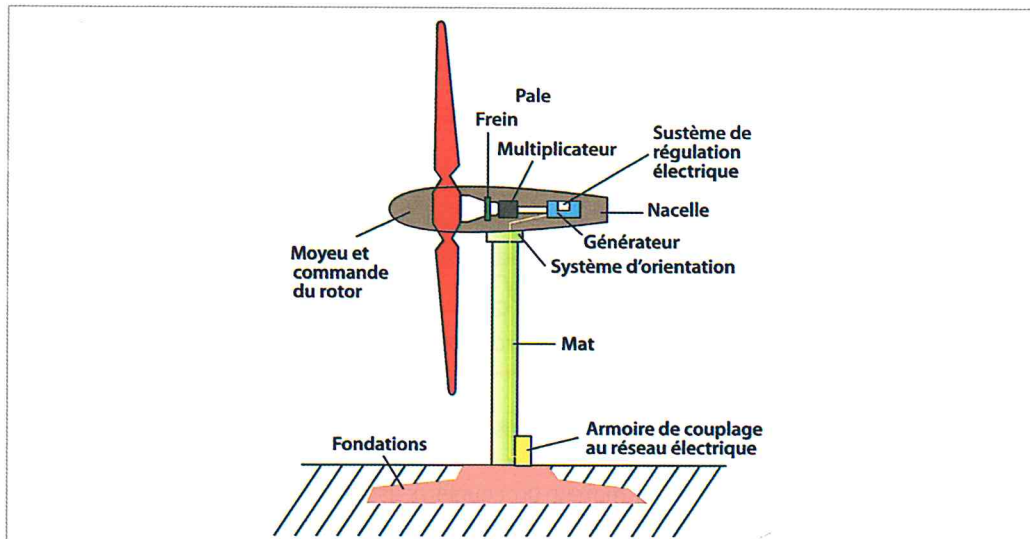


Fig. 5 Description des éléments d'une éolienne

Il existe plusieurs systèmes d'asservissement et de régulation permettant de gérer le fonctionnement des éoliennes produisant de l'énergie électrique. On peut citer deux types qui concernent l'asservissement en position des pales de l'hélice et l'asservissement en vitesse de la vitesse du rotor. La vitesse du vent varie et il faut maintenir une fréquence du signal énergétique à 50 Hz. Ces fonctions permettent d'augmenter le rendement de l'éolienne.

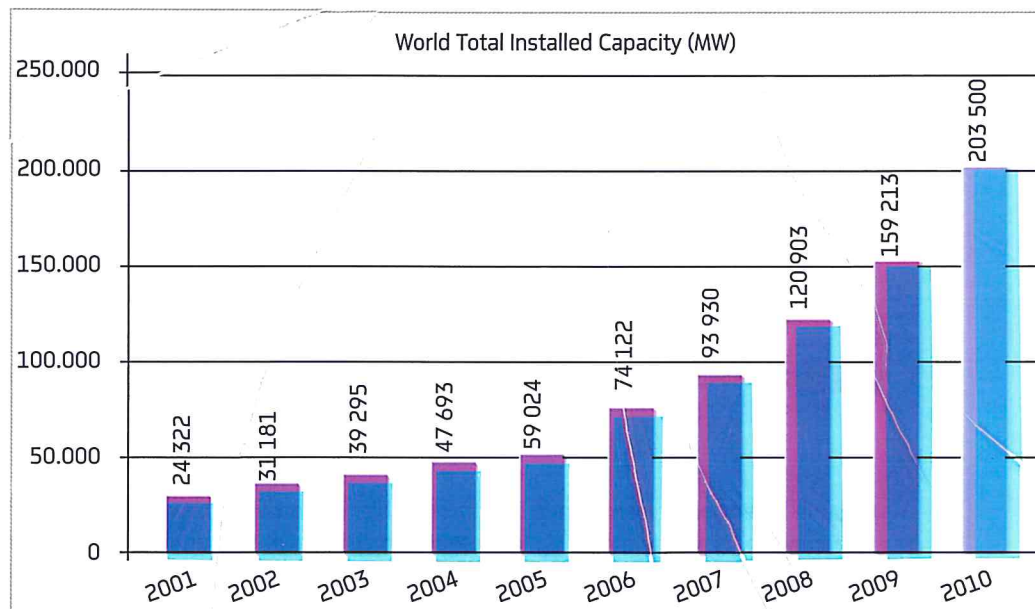


Fig. 6 Évolution de la production d'énergie éolienne dans le monde

La production électrique provenant de l'énergie éolienne est en très forte croissance depuis le début des années 2000. La France se classe septième, derrière les États-Unis, la Chine et l'Allemagne... avec 4 492 MW.h en 2009, soit environ 1 % de sa production électrique, mais possède la meilleure croissance.

3

Modélisation

Caractéristiques statiques et dynamiques et point de fonctionnement

La modélisation du 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.

► Ensemble moteur à courant continu associé à une charge

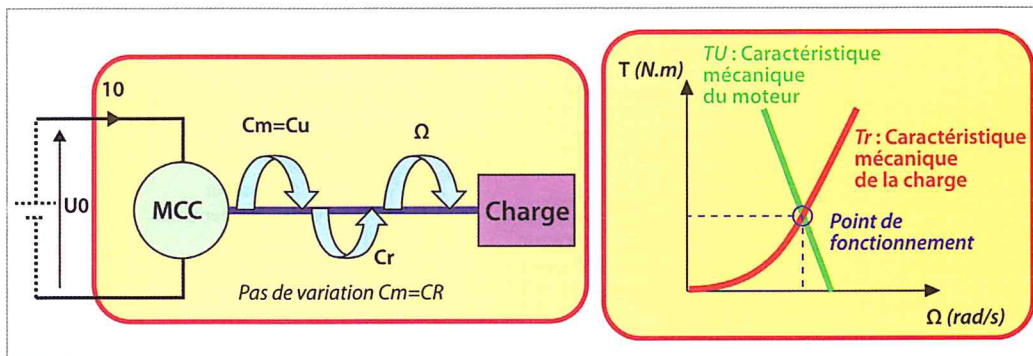


Fig. 7 Point de fonctionnement réalisé par un moteur chargé

Une charge oppose au moteur un couple résistant T_r . Pour que le moteur puisse entraîner cette charge, le moteur doit fournir un couple utile T_u de telle sorte que : $T_u = T_r$

Cette équation détermine le point de fonctionnement du moteur. La variation de la tension d'alimentation permet d'obtenir un déplacement de la caractéristique mécanique T_u .

► Résistance non linéaire

On relève la caractéristique entrée sortie d'un système de commande de moteur à courant continu constitué d'une commande et d'une interface de puissance.

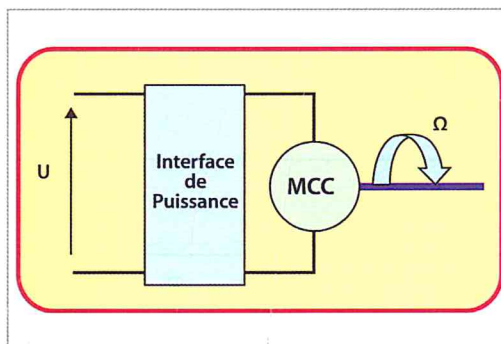


Fig. 8a Commande d'un moteur à courant continu

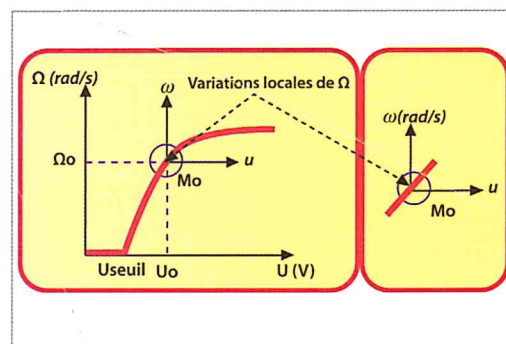


Fig. 8b Caractéristique statique et dynamique autour du point de fonctionnement

Lorsque la tension de commande U est trop faible, le moteur ne tourne pas car les frottements sont trop importants, au-delà de U_{seuil} , le moteur démarre. La vitesse du moteur Ω est croissante avec la tension d'alimentation U jusqu'à la saturation de l'interface de puissance, la vitesse Ω n'augmente plus avec la tension U .

La caractéristique statique n'est pas linéaire, son étude en devient complexe. On peut néanmoins étudier localement le fonctionnement en considérant le système linéaire autour du point M_o .

Autour du point de fonctionnement $M_o (U_o, \Omega_o)$ on peut :

- poser que $\omega = \Omega - \Omega_o$ et $u = U - U_o$ et étudier les variations locales de la sortie en fonction des variations u de l'entrée autour du point de repos M_o choisi ;
- considérer la caractéristique $\omega = f(u)$ comme une droite passant par l'origine ;
- déterminer la pente de la droite correspondant au gain statique du système linéarisé, équivalent à la pente de la tangente en M_o de la caractéristique $\Omega = f(U)$;
- déterminer les éléments représentatifs de l'inertie ou du stockage énergétique du système qui vont influencer sur son comportement dynamique

On définit alors :

- ▶ 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.

De manière générale, soit un système linéaire à temps invariant ayant pour entrée $x(t)$ et pour sortie $y(t)$:

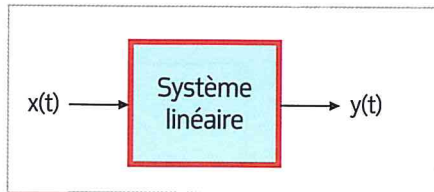


Fig. 9 SLI : système linéaire invariant

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 même 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 le système précédent régi par l'équation : $0,5 \cdot \frac{dy}{dt} + y = 3 \cdot x$

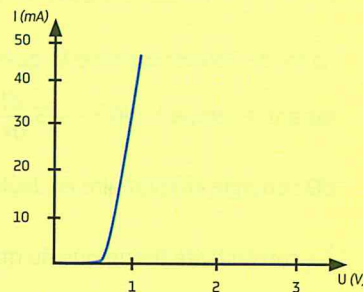
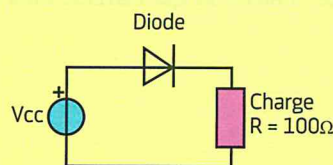
Le régime statique s'exprime par $y = 3 \cdot x$, ce qui donne un gain statique de $\frac{y}{x} = 3$

Le régime dynamique est contenu dans le terme : $0,5 \cdot \frac{dy}{dt}$ avec 0,5 comme unité de temps

car $y = \frac{dy}{dt}$.

ACTIVITÉ

1 Soit un ensemble associant un générateur, une diode et une charge résistive. On souhaite déterminer le point de fonctionnement afin de déterminer l'intensité circulant dans le circuit en régime statique.



On définit les expressions électriques régissant le circuit par :

$$I = \frac{V_{CC} - V_D}{R} \text{ avec } V_{CC} = 3V$$

1. Montrer que l'on peut mettre l'expression du courant sous la forme $y = a \cdot x + b$.
2. Exprimer les paramètres a et b , et donner leur signification.
3. Tracer sur la caractéristique $i = f(U)$ de la diode, la droite de charge donnée ci-dessus.
4. En déduire sur le graphique le point de fonctionnement.
5. Quelle est la signification de ce point de fonctionnement ?

4 Analogies et domaines d'étude

a Analogie électrique-thermique

La conduction de chaleur s'apparente à l'écoulement d'un fluide d'un point chaud vers un point froid.

Dans un milieu cylindrique homogène de section S et de longueur L , il se produit un transfert d'énergie de la source chaude vers la source froide. Il y a répartition uniforme de la température.

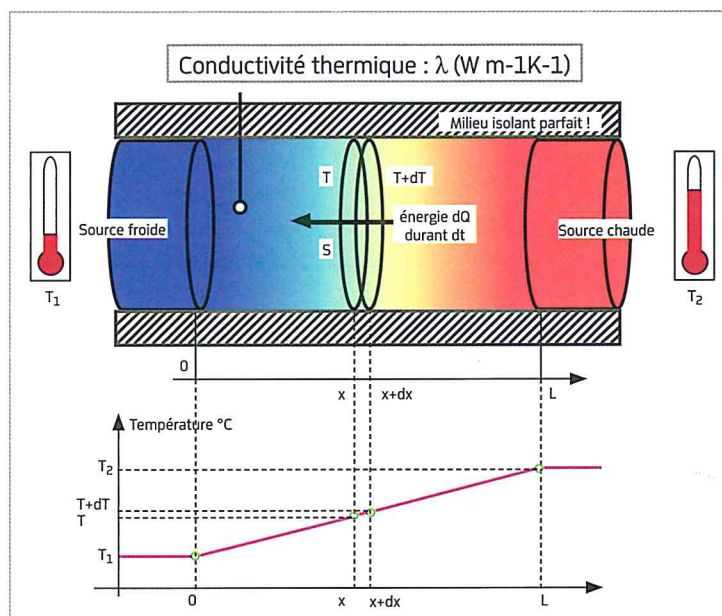


Fig. 10a Conduction de chaleur dans un cylindre homogène

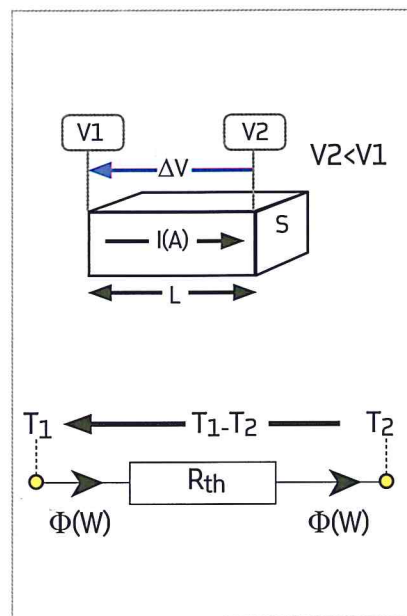


Fig. 10b Modélisation de la conduction de chaleur

Différence de température ΔT	Différence de potentiel ΔV
Flux de chaleur $\Phi(W)$	Intensité électrique I
Résistance thermique Ω	Résistance électrique K/W

La loi de Fourier exprime la quantité de chaleur dQ qui traverse en x une surface S d'épaisseur dx

durant le temps t : $dQ = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} \cdot dt$

dQ : énergie élémentaire en Joule

λ : conductivité thermique du matériau en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ (donnée par des abaques)

S : section en m^2

dt : temps élémentaire en s

$\frac{dT}{dx}$: gradient de température en x en $K \cdot m^{-1}$

► Chaleur massique d'un corps

Lors d'un fort ensoleillement, la pierre (corps solide de masse M) accumule à travers une constante de temps τ une quantité d'énergie sous forme de chaleur. La constante de temps électrique $\tau = R \cdot C$ et analogue en thermique au produit $M \cdot C$.

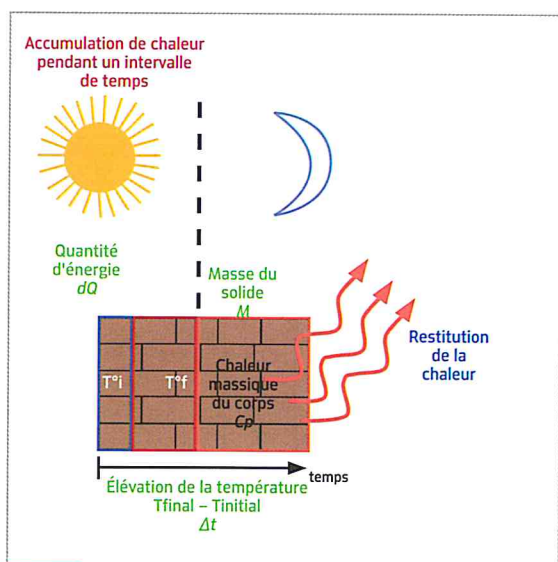


Fig. 11 Chaleur massique d'un corps

En électricité, un condensateur de capacité C (en Farad) chargé sous une différence de potentiel dV (en Volt) acquiert une charge dQ (en Coulomb) :

$$dQ = C \cdot dV$$

L'analogie thermique est donc qu'un corps de masse M et de chaleur massique C_p porté de T à $T+dT$ stocke une quantité de chaleur :

$$dQ = M \cdot C_p \cdot dT$$

b Analogie électrique-mécanique

Le comportement des circuits électriques R , L , C linéaires et celui des systèmes mécaniques masses, ressort avec frottements visqueux sont représentés par des équations différentielles semblables.

Il est possible de passer d'un circuit électrique à un système mécanique en assimilant les grandeurs suivantes :

Électrique	Mécanique
Circuit RLC	Masse soumise à un ressort
Q : charge électrique	x : distance
$\frac{dq}{dt} = i$: intensité	$\frac{dx}{dt}$: vitesse
$\frac{d^2q}{dt^2} = \frac{di}{dt}$	$\frac{d^2x}{dt^2}$: accélération
L : inductance propre	m : masse du mobile
R : résistance	λ : coefficient de frottement
$\frac{1}{C}$: inverse de la capacité	k : constante de raideur
$T = 2\pi\sqrt{LC}$: période propre	$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$: période propre
$U = R \cdot i$: effet Joule	$F = \lambda \frac{dx}{dt}$: force de frottement

Fig. 12 Récapitulatif des analogies entre les grandeurs électriques et mécaniques

c Système du premier ordre

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

$$\tau \cdot \frac{dy}{dt} + y(t) = K \cdot u(t) \text{ avec } \tau : \text{constante de temps du système.}$$

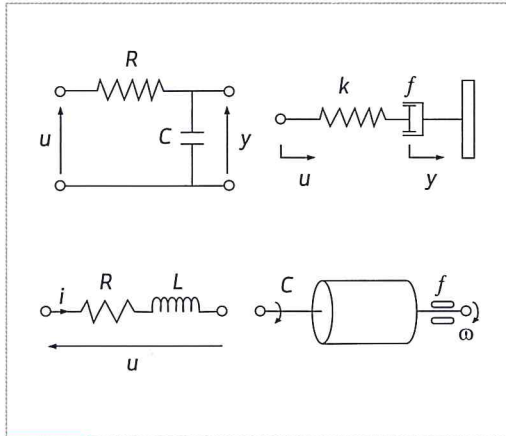


Fig. 13a Analogie électrique-mécanique des systèmes du premier ordre

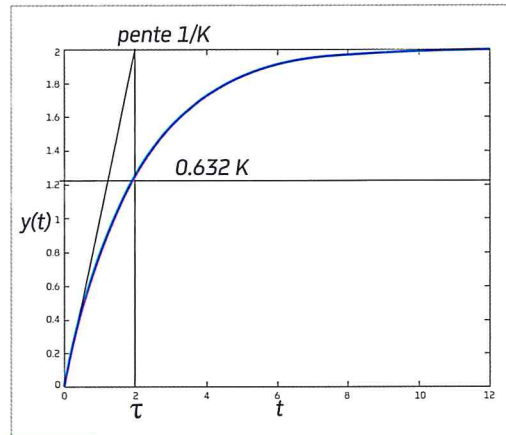


Fig. 13b Réponse indicielle

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

La **réponse indicielle** d'un système du premier ordre s'écrit : $y(t) = K \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ avec $t \geq 0$.

d Système du deuxième ordre

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

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

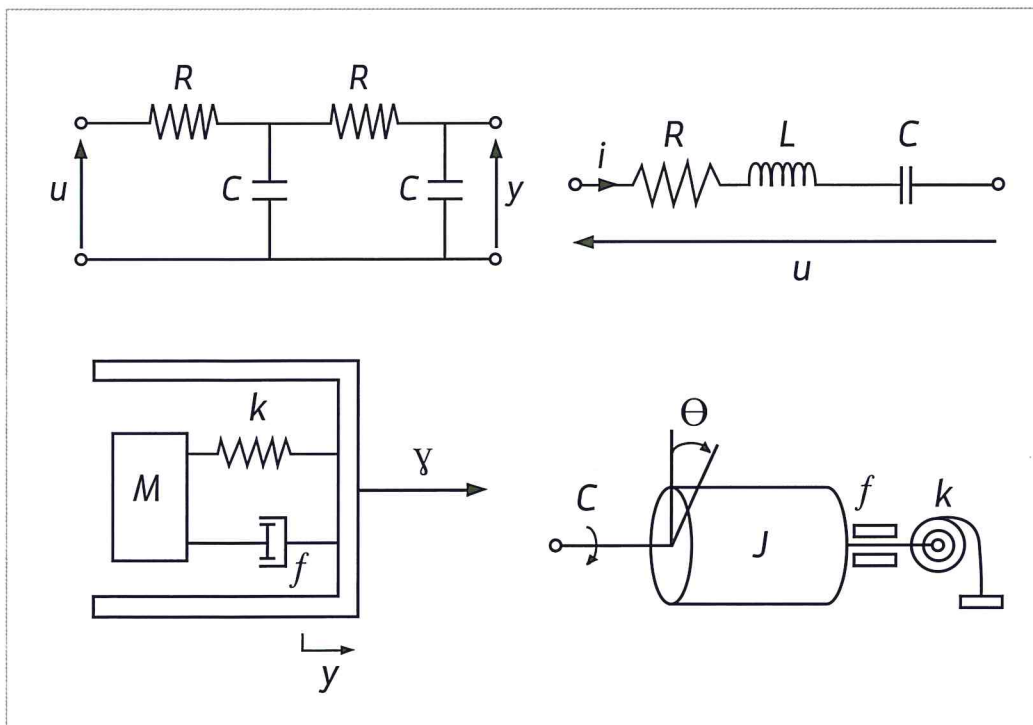


Fig. 14 Analogie électrique-mécanique des systèmes du deuxième ordre

À 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 : $\omega_n = \sqrt{\frac{b_0}{b_2}}$

► le coefficient d'amortissement : $\zeta = \frac{b_1}{\sqrt{b_0 b_2}}$

On peut alors établir les expressions de la réponse indicielle pour chaque cas de figure :

► si $\zeta > 1$: alors le système est hyper-amorti et $y(t) = K \cdot [1 - \frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau_2} e^{-\frac{t}{\tau_1}} - \frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_1} e^{-\frac{t}{\tau_2}}]$

► si $\zeta = 1$: alors le système est à amortissement critique et $y(t) = K \cdot [1 - (1 + \frac{t}{\tau_1}) e^{-\frac{t}{\tau_1}}]$

► si $0 \leq \zeta \leq 1$: alors le système est sous-amorti et

$y(t) = K \cdot [1 - e^{-\zeta \omega_n t} (\cos(\omega_p t) + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_p t))]$ Avec $\omega_p = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$

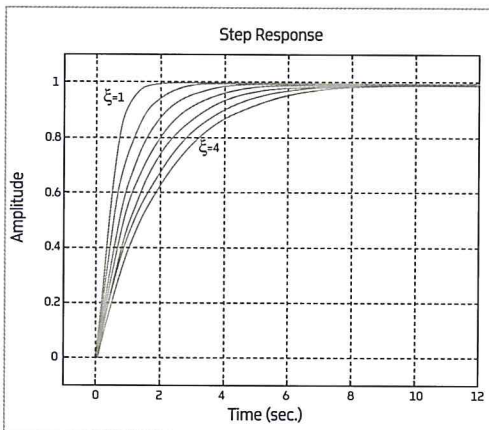


Fig. 15a Système du second ordre critique et hyper-amorti

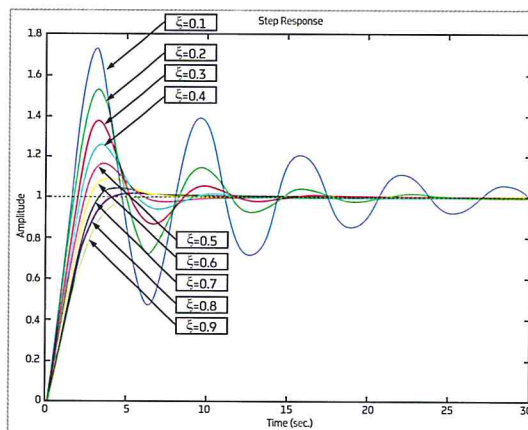


Fig. 15b Système du second ordre sous-amorti pour $\omega_n = 1$

e Modélisation d'un amortisseur mécanique passif du Robovolc

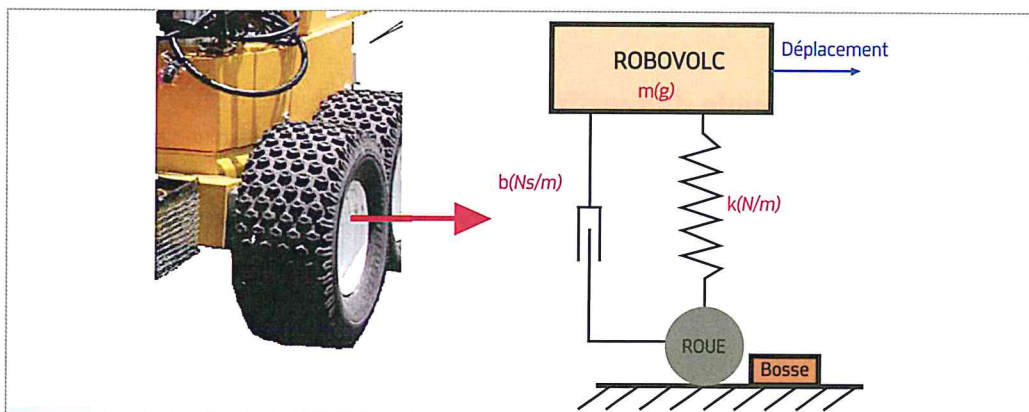


Fig. 16 Asservissement mécanique masse ressort

Robovolc se déplace sur une surface plane qui constitue le régime de fonctionnement initial. Lorsque lors de déplacement un obstacle (bosse) présentant une déformation de forme quelconque. Le système mécanique est alors soumis à une réponse impulsionnelle.

Ce système est régi par l'équation :
$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1.0}{m} - \frac{b}{m} \cdot \frac{dx}{dt} - x \cdot \frac{k}{m}$$

Le paramètre b représente le coefficient de l'amortisseur, m est la masse du Robovolc et k est le coefficient du ressort. 10.0 ($10.0/m$) représente l'entrée du système (c'est-à-dire la force échelon unitaire appliquée de la bosse).

La position finale est atteinte lorsque la masse ne bouge plus, c'est-à-dire lorsque la vitesse et l'accélération sont nulles.

Dans ces conditions on a $0 = \frac{10.0}{m} - x \cdot \frac{k}{m}$.

La position finale est déterminée par :

$$x = \frac{10.0}{k} = 0.5$$

Une première simulation du dispositif montre que la position x ne suit pas correctement l'échelon unité appliqué. Il est donc nécessaire de corriger l'asservissement par un correcteur placé dans la chaîne d'asservissement.

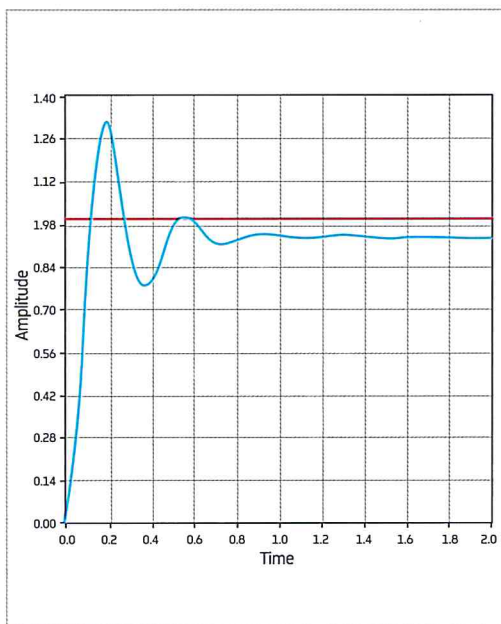


Fig. 17a Réponse indicielle avant correction

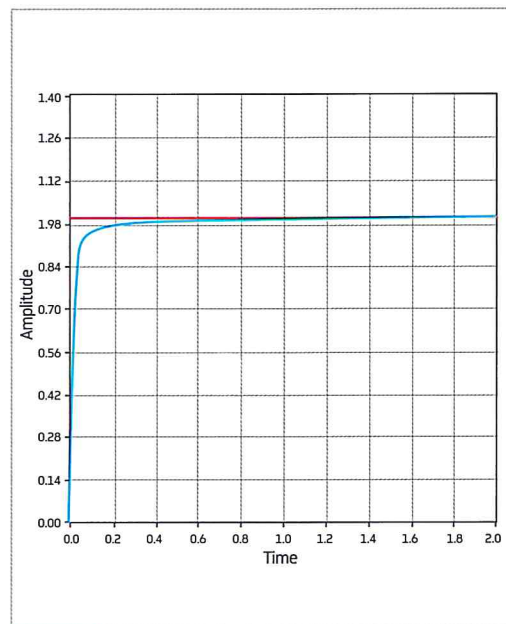


Fig. 17b Réponse indicielle après correction

f Méthode d'identification d'un système

Il existe principalement deux méthodes permettant l'identification d'un système asservi en boucle ouverte.

On définit la chaîne 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).

1^{re} méthode : la réponse indicielle ou réponse à un échelon :

- ▶ 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 1^{er} ordre, 2^e ordre.

2^e méthode : la réponse harmonique : elle permet autour d'un point de fonctionnement P_0 choisi dans le domaine de linéarité du système d'appliquer un signal sinusoïdal sur l'entrée.

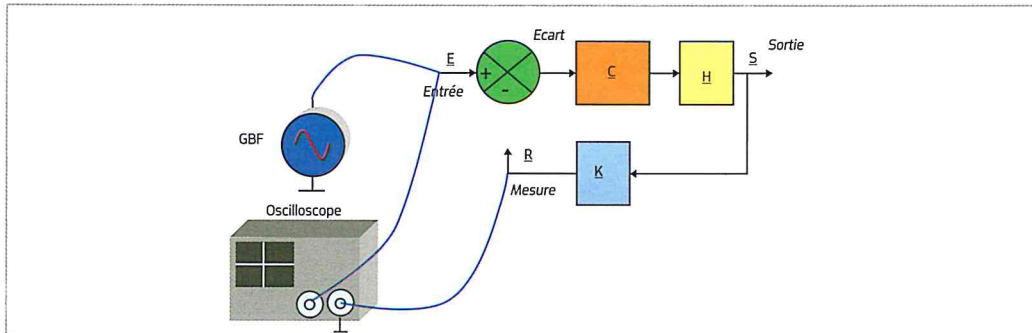


Fig. 18 Méthode de relevé des courbes de réponses fréquentielles

Pour chaque fréquence de l'entrée :

- ▶ il faut s'assurer que l'on est en régime linéaire et que la sortie a une variation sinusoïdale ;
- ▶ il faut relever le rapport des amplitudes entre l'entrée et la sortie afin de déterminer le gain ;
- ▶ il faut relever le déphasage entre la sortie et l'entrée du système en boucle ouverte.

La fermeture de la boucle est alors nécessaire afin d'obtenir un système asservi. En fonction des performances (rapidité, précision, stabilité et bande passante) souhaitées et du modèle trouvé, on doit alors choisir le correcteur adapté et calculer ses paramètres.

5 Asservissement

Un système asservi ou régulé se comporte la plupart du temps comme un système du second ordre. Pour qualifier sa réponse, on se rapproche de la réponse temporelle du second ordre. Le système peut avoir un comportement stable ou instable.

On analyse alors le système bouclé à travers une réponse indicielle.

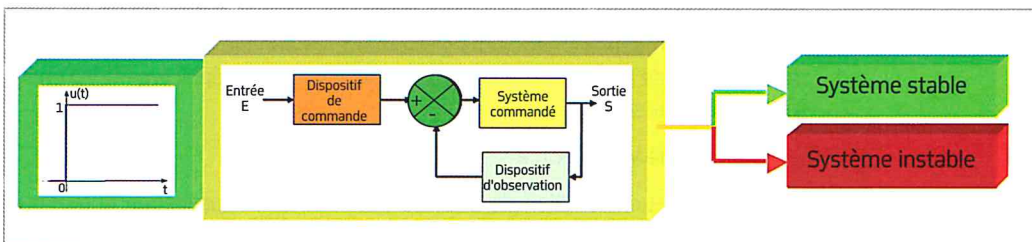


Fig. 19 Analyse indicielle

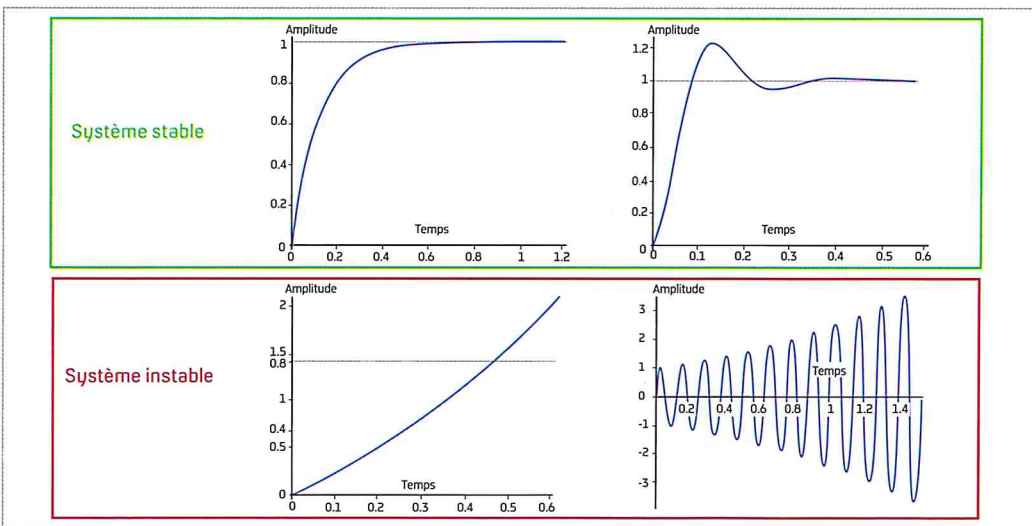
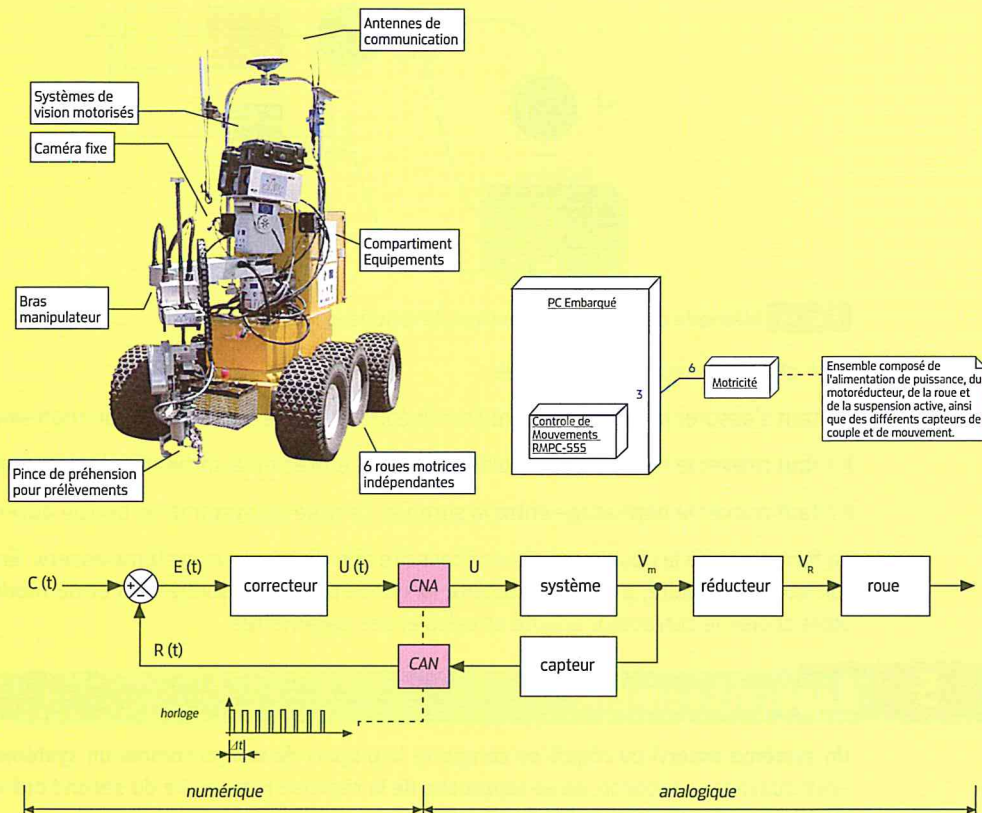


Fig. 20 Système stable/instable

ACTIVITÉ 2 Asservissement numérique de vitesse : le Robovolc

Pour piloter le robot, il est nécessaire de contrôler finement la vitesse de rotation de chaque roue afin de minimiser les glissements, notamment en mode automatique, lorsque le robot doit suivre un cap de manière autonome.



Les roues sont équipées de pneumatiques spéciaux dont le diamètre extérieur D est de 300 mm. On suppose un déplacement sans glissement ni patinage et on souhaite appliquer aux roues une consigne de vitesse ΩR pour obtenir une vitesse de déplacement VD en ligne droite égale à 0,2 mètre par seconde.

On rappelle que $VD = \Omega R \times R$

1. Exprimer ΩR en fonction de D et de VD . Puis faire l'application numérique en radian par secondes (rad/s) et convertir le résultat en tours par minute (trs/min).

La valeur $U(t)$ en entrée du CNA (convertisseur numérique-analogique) est codée sous forme d'un entier non signé sur 16 bits. Elle est convertie en grandeur analogique U telle que $-10 \text{ V} \leq U \leq +10 \text{ V}$ pour $U(t)$ évoluant de 0x0000 à sa valeur maximale 0xFFFF.

2. Quelle valeur numérique de $U(t)$ faut-il appliquer pour obtenir une valeur nulle en sortie de CNA ?
3. À quelle consigne U correspond la valeur hexadécimale d'entrée $U(t) = 0xA000$?

Le capteur utilisé pour mesurer la vitesse de rotation est de type dynamo tachymétrique, ce choix répond aux exigences de tenue en température et de robustesse. Ce capteur fournit une tension directement proportionnelle à la vitesse de rotation de la roue, cette tension varie au maximum entre -610 mV et +650 mV.

Le CAN (convertisseur analogique-numérique) employé possède plusieurs canaux de conversion A/N 12 bits d'une linéarité de ± 1 bit. Le temps de conversion par canal est de 25 μs .

- Plage d'entrée réglable matériellement : 0-10 V, ± 5 V, ± 10 V.
- Gain appliqué aux entrées configurables logiciellement : $\times 1$, $\times 10$, $\times 100$.

4. Indiquer sur le tableau ci-dessous les combinaisons valides de choix de plage et de gain cohérentes avec la tension retournée par la dynamo tachymétrique.

Plage	0..10V			$\pm 5V$			$\pm 10V$		
Gain	x 1	x 10	x100	x 1	x 10	x100	x 1	x 10	x100
O/N									

5. Parmi les configurations valides ci-dessus, quelle est celle qui semble la mieux adaptée au problème ?

6. Calculer la résolution en mV du CAN pour la configuration retenue.

7. Quel(s) autre(s) type(s) de capteur peu(ven)t être employé(s) pour mesurer une vitesse de rotation ?

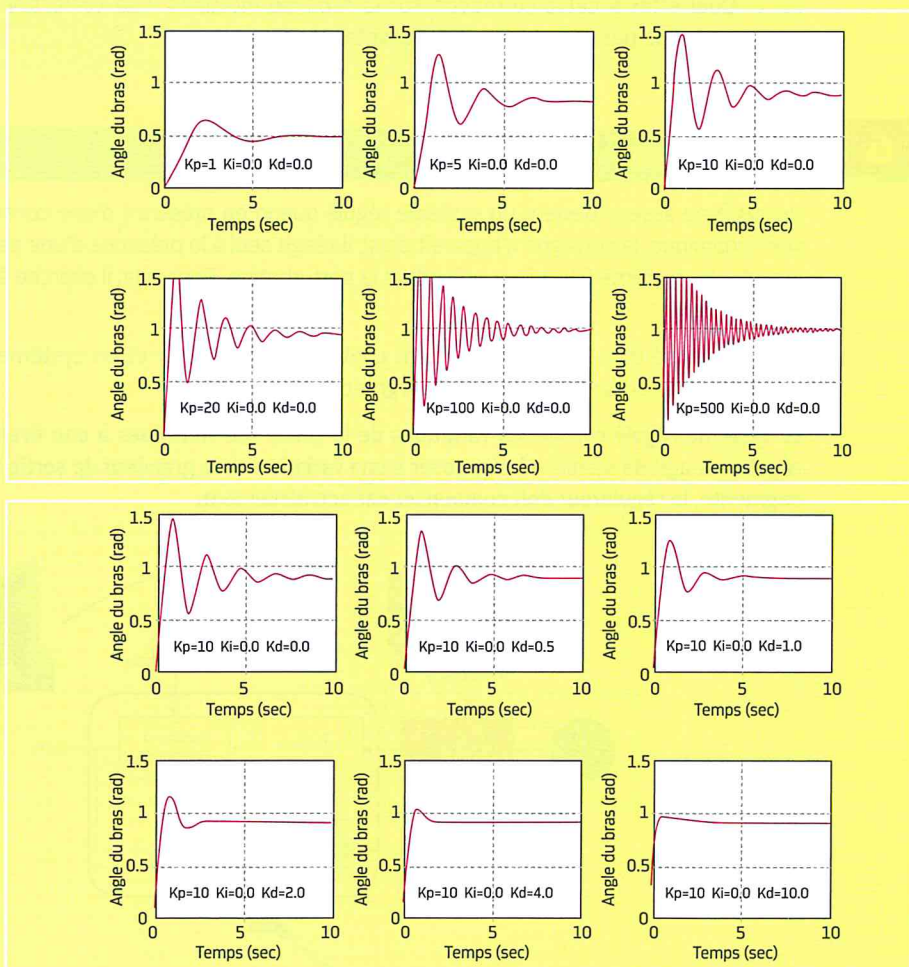
Analyse qualitative des courbes de réponses indicielles de l'asservissement

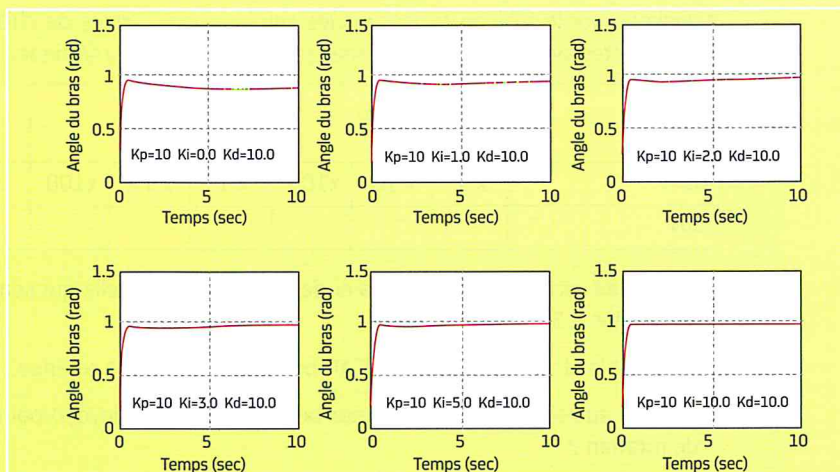
Afin d'analyser la réponse indicielle du système d'asservissement (réponse à un échelon unité), on effectue plusieurs simulations permettant d'ajuster la correction adéquate à mettre en œuvre.

La correction peut s'effectuer en ajustant trois paramètres :

- K_p : correction proportionnelle permet d'ajuster le gain de la chaîne directe ;
- K_d : correction dérivée, introduit un déphasage avance par le correcteur ;
- K_i : correction intégrale, apporte un déphasage retard par le correcteur.

Les résultats de simulations des réponses indicielles montrent les courbes suivantes :





À partir des simulations faisant intervenir les différentes corrections :

8. Montrer que le système étudié est stable.
9. Indiquer ce qu'apporte une correction de gain K_p seule de plus en plus importante sur réponse du système.
10. Indiquer ce qu'apporte l'accroissement du gain K_d pour K_p et K_i constant. La meilleure des corrections dans ce cas est-elle suffisante ? Justifier la réponse.
11. L'étude des six dernières courbes montre l'implication de la correction intégrale K_i .

Quel effet a cette correction sur la réponse indicielle ? La correction finale est-elle celle attendue par le système, justifier votre réponse.

6 Régulation

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 l'évolution de la sortie.

Il est composé d'un régulateur pouvant contenir un correcteur et un système contenant un capteur permettant de prélever une image de la grandeur réglée.

Le système régulé corrige les variations de la sortie qui sont dues à une éventuelle perturbation. Le régulateur agit de manière à s'opposer à une variation de la grandeur de sortie non désirée. Si la sortie augmente, le régulateur doit compenser cet accroissement.

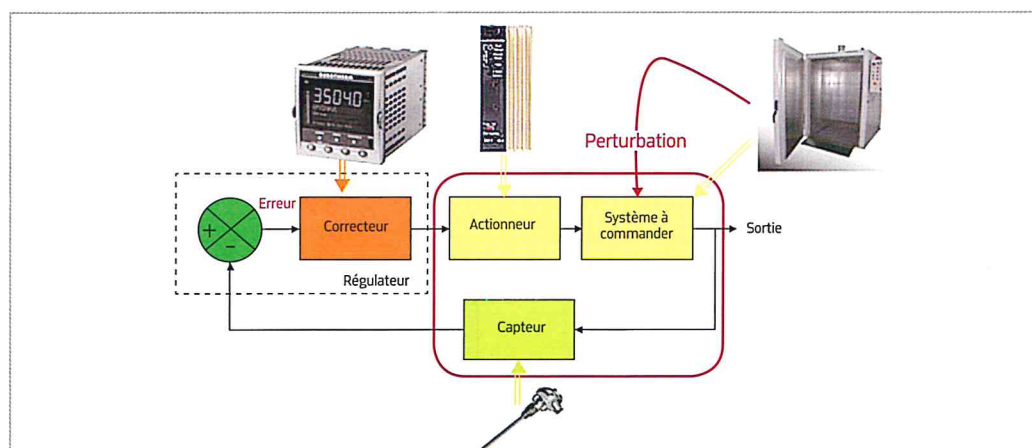


Fig. 21 Régulation de température industrielle

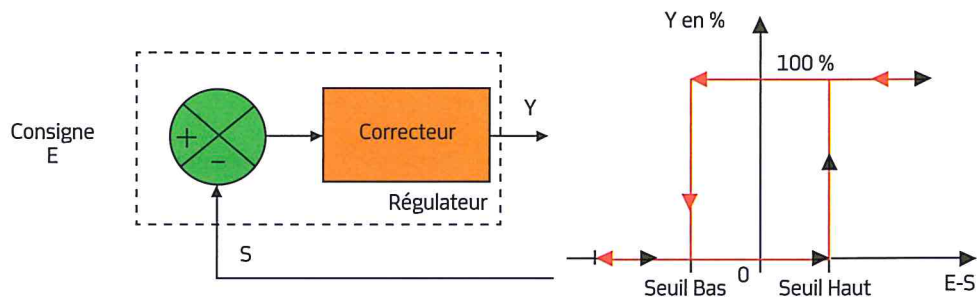
EXEMPLE

Une étuve industrielle de séchage des circuits électroniques avant vernissage pour l'industrie aéronautique.

Besoin : les circuits doivent être séchés à 80 °C pendant 1 heure, la température ne doit pas varier de plus 5 °C et doit être rétablie en moins de 4 minutes.

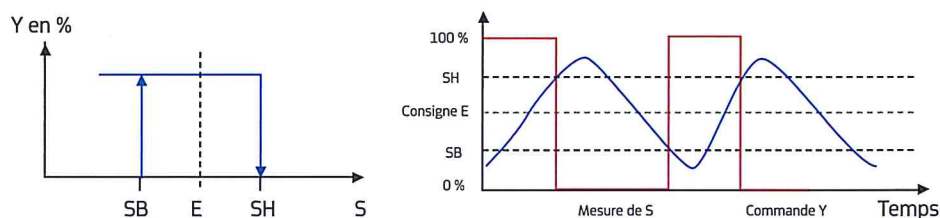
Le régulateur de l'étuve est constitué par un thermostat, c'est une régulation en Tout ou Rien (TOR).

Le régulateur se caractérise par deux états de la commande (0 % et 100 %).



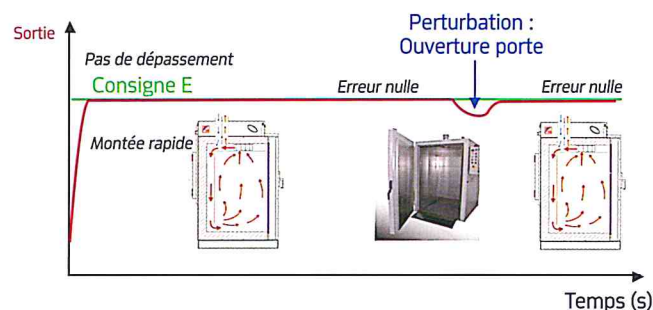
Modélisation du correcteur TOR

Contrainte d'étuvage : séchage des composants. La grandeur que l'on souhaite régler varie autour de son point de fonctionnement. Lorsqu'il y a dépassement des valeurs seuils de commutation, la sortie du régulateur change d'état. Dans certains cas, en raison de l'inertie du système à contrôler, la valeur absolue de l'erreur peut dépasser le seuil maximum.



Y : Sortie du correcteur - SB : Seuil Bas - SH : Seuil Haut - E : Consigne - S : Mesure de la sortie S

Chronogramme de fonctionnement d'une régulation Tout Ou Rien



Perturbation dans un système de régulation

Lors de la mise en œuvre de l'étuve, le régulateur a réagi à l'ouverture accidentelle de la porte en rétablissant la température en 7 minutes. On peut constater que cela est dû au dépassement des 5 degrés autorisés. Il est nécessaire que le système bouclé regagne le plus rapidement sa situation d'avant la perturbation. Pour cela, nous devons mettre en œuvre une régulation proportionnelle.

Régulateur proportionnel

Caractéristique du régulateur

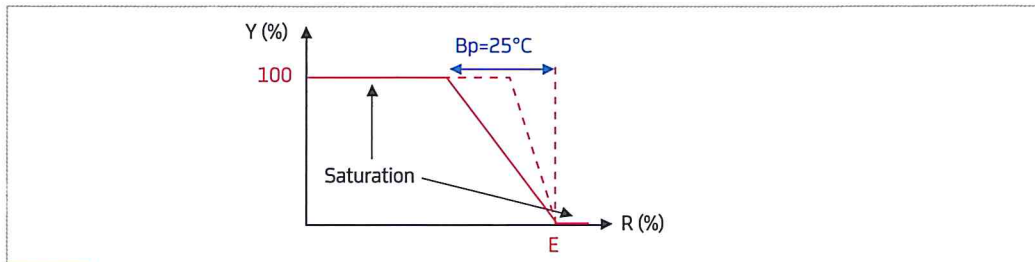


Fig. 22 Caractéristique d'un régulateur proportionnel

La bande proportionnelle est l'écart entre la valeur de mesure et la valeur de consigne qu'il faut pour que l'organe de réglage aille de la fermeture totale à l'ouverture totale et vice-versa.

Le gain du régulateur est défini par le coefficient de proportionnalité K_p .

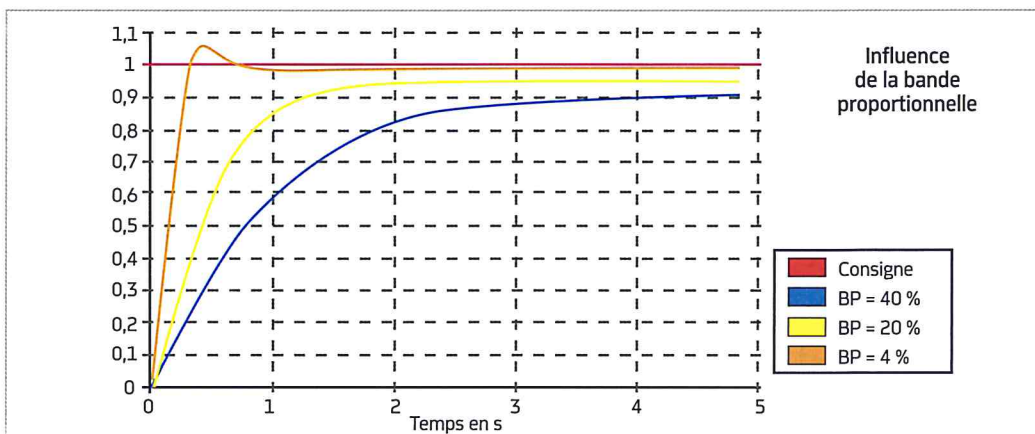


Fig. 23 Influence de la bande proportionnelle

L'augmentation du gain conduit à diminuer l'erreur entre le régime établi et la consigne, c'est-à-dire l'écart statique, et donc augmente la précision. Un gain trop important risque de faire rentrer le point de fonctionnement dans la zone de saturation.

Caractéristique et point de fonctionnement

La caractéristique du régulateur appliquée à la caractéristique « G » du système conduit au point de fonctionnement dans la bande proportionnelle B_p . L'augmentation du gain améliore l'erreur mais risque de faire rentrer le point de fonctionnement dans la zone de saturation non désirée.

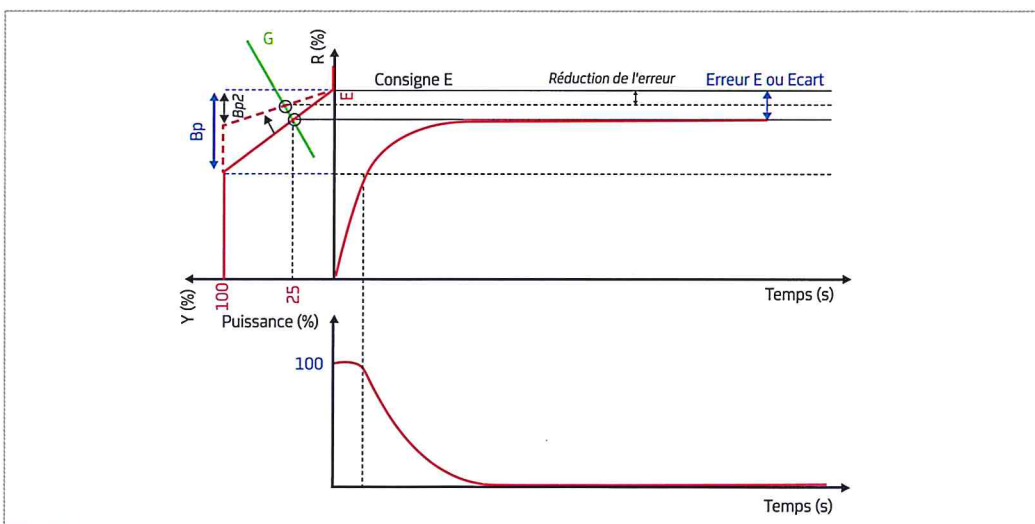
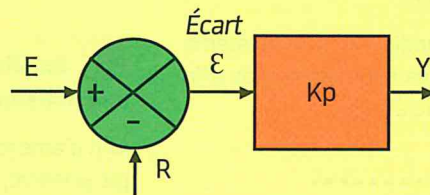


Fig. 24 Correction proportionnelle d'un système asservi

ACTIVITÉ 3 Détermination du gain du régulateur

À partir des informations de la caractéristique du correcteur $Y = f(R)$ (Fig. 22), on montre que l'on peut modéliser la caractéristique par le schéma fonctionnel suivant :



1. Relever la valeur de la bande proportionnelle B_p .
2. Quel est le rôle de K_p ?
3. Déterminer la valeur de K_p .

SYNTHÈSE

Un **asservissement** est un processus dont l'objet principal est d'atteindre de manière réactive 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.

La **régulation** des procédés industriels regroupe l'ensemble des moyens matériels et techniques mis en œuvre pour **maintenir une grandeur physique** égale à une valeur désirée en présence de perturbations avec une grandeur d'entrée fixe.

Un système asservi fait apparaître un « dispositif de commande » dont l'entrée est une consigne, un « comparateur » qui permet d'élaborer en 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 constituant la **chaîne de retour**.

Un **système asservi ou régulé se comporte la plupart du temps comme un système du second ordre**. Pour qualifier sa réponse, on se rapproche de la **réponse temporelle du second ordre**. Le système peut avoir un

comportement stable ou instable. On analyse alors le système bouclé à travers une réponse indicielle.

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

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

Tout pilotage d'un système électrique, mécanique ou thermique peut être décrit sous la forme d'un système du premier ordre ou du second ordre.

La réponse indicielle d'un système du premier ordre présente une courbe exponentielle sans dépassement et possède une constante de temps de montée déterminée par la tangente à l'origine et un gain statique en régime établi.

La réponse indicielle d'un système du deuxième ordre présente une courbe de type exponentielle avec un point d'inflexion, une constante de temps déterminée par la tangente au point d'inflexion, un dépassement éventuel et un gain statique en régime établi.