



4EASS

Asservissement

Sylvain Léonis

4 chapitres

SUPPORTS DE COURS

<https://cours.tsix.be/cours/asservissement>

Version 1 · 12/09/2026

PRÉSENTATION

Asservissement

CAPACITES PREALABLES REQUISES

2.1. Capacités

- A partir d'une application proposée comprenant au moins deux machines tournantes accouplées (l'une motrice, l'autre génératrice) et des récepteurs statiques,
 - identifier les différentes parties de cet ensemble ;
 - expliquer le principe de fonctionnement de ces machines électriques ;
 - réaliser le schéma de commande et de puissance de l'installation proposée ;
 - raccorder ces machines en vue d'assurer leur fonctionnement correct ;
 - mesurer les grandeurs électriques de courant, tension et puissance en utilisant correctement les différents appareils de contrôle.

2.2. Titre pouvant en tenir lieu

Attestation de réussite de l'unité d'enseignement « Electrotechnique », code : 217008 U21 D2.

Évaluation

Acquis d'apprentissage

Pour atteindre le seuil de réussite, l'étudiant sera capable :

- à partir d'un cahier de charges et/ou d'une application simple de régulation :
 - d'expliquer le fonctionnement de l'ensemble et le rôle qu'y joue chaque élément simple ;
 - de mettre en œuvre, en tout ou en partie, l'application en respectant le R.G.I.E., le Code du bien-être au travail et/ou le R.G.P.T.

Critères de maîtrise

Pour la détermination du degré de maîtrise, il sera tenu compte des critères suivants :

- la pertinence et la justification de ses choix,
- l'utilisation du vocabulaire technique adéquat.

Programme

L'étudiant sera capable :

en respectant le R.G.I.E., le Code du bien-être au travail et/ou le R.G.P.T.,

4.1. Asservissement

- d'expliquer le principe de fonctionnement des dispositifs de régulation :
 - boucle ouverte et boucle fermée,
 - notions de consigne, mesure, grandeur réglée, grandeur réglante, ...;
 - d'identifier les différents éléments d'une boucle de régulation, de déterminer l'influence de chacun ;
 - d'identifier les composants, d'en expliquer le rôle et le principe physique, de mesurer et d'analyser les grandeurs d'entrée et de sortie :
 - de capteurs et transmetteurs : de pression, de température, de position,
 - de cellules et détecteurs,
 - de jauges de contrainte,
 - de générateurs d'impulsions,
 - d'amplificateurs opérationnels (fonctionnement en sommateur, soustracteur, comparateur) ;
 - de respecter les symboles et unités normalisés.

4.2. Laboratoire de régulation

- de vérifier le bon fonctionnement des composants de base (capteurs,...) ;
- de réaliser et vérifier le fonctionnement de boucles de régulations simples, tels que :
 - systèmes thermiques (régulation de température) ;
 - systèmes hydrauliques (principe de la vanne proportionnelle et servo-valve, régulation de niveau...) ;
 - moteurs électriques (régulation de vitesse, de tension, de courant à partir de schémas blocs de variateurs) ;
 - d'utiliser l'environnement informatique pour exploiter les logiciels spécialisés.

Sommaire

- Asservissement
- 1 Introduction
- 2 Performances
- 3 Systèmes
- 4 Régulation

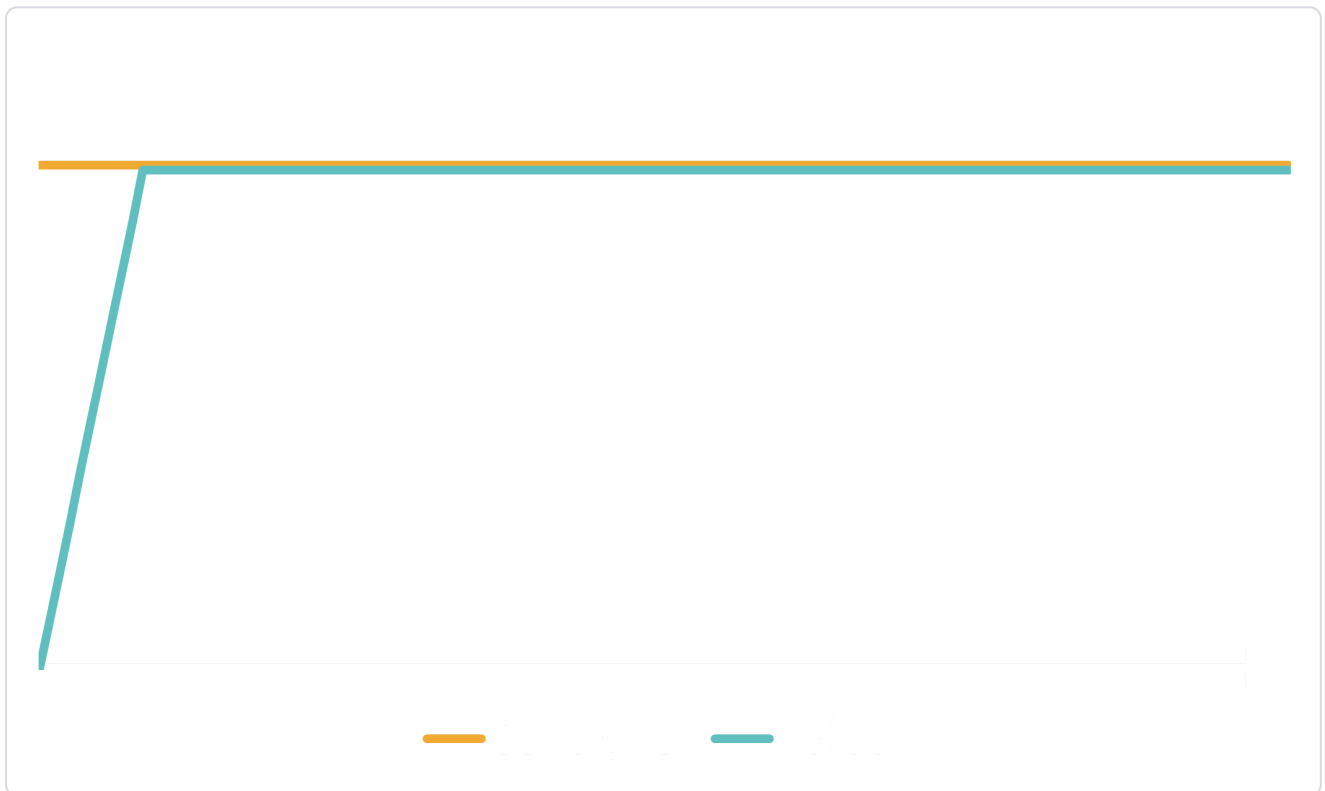
CHAPITRE 1

Introduction à l'Asservissement

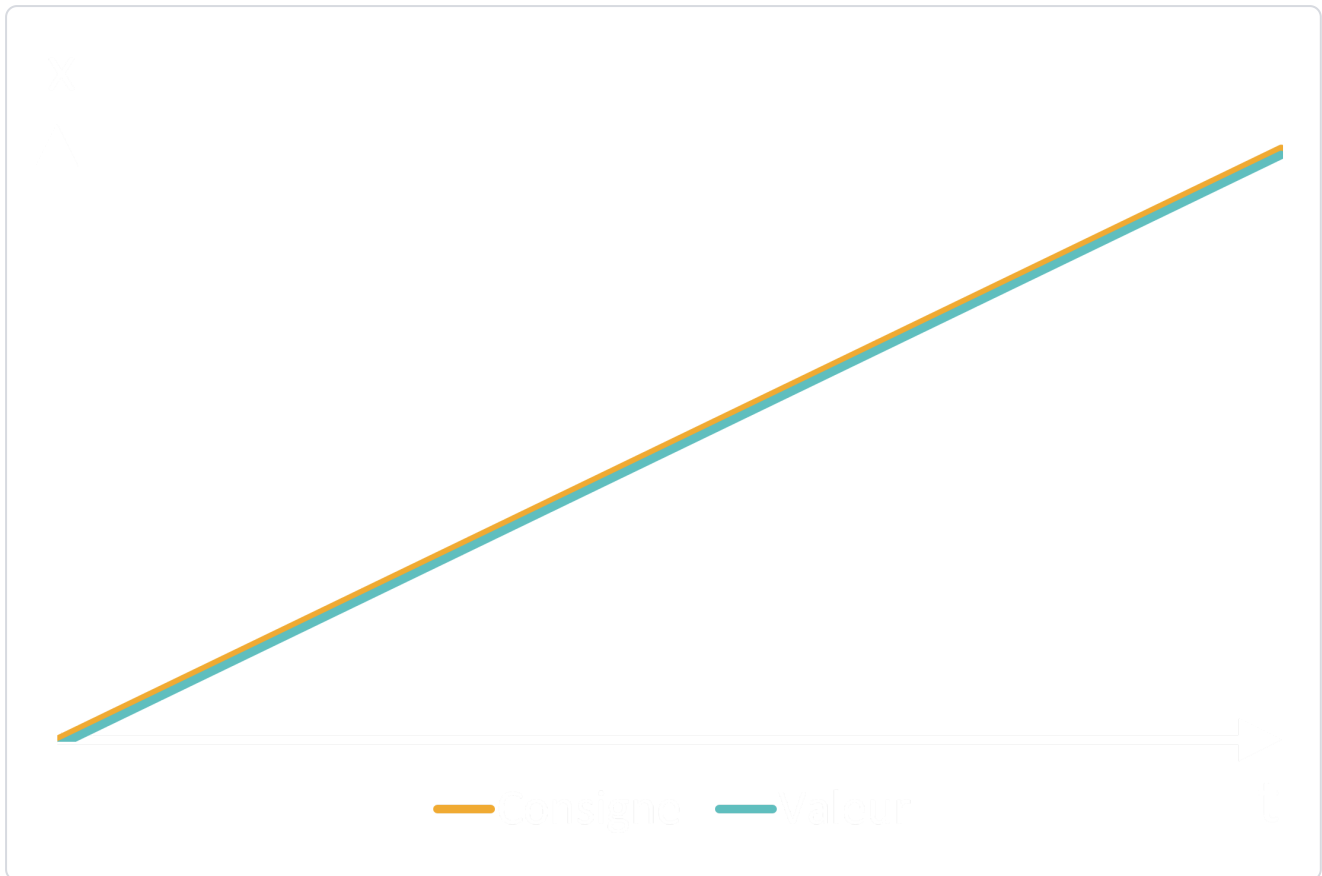
L'asservissement et la régulation sont des concepts fondamentaux dans le domaine de l'automatique, permettant le contrôle précis de divers systèmes et processus. Cette section vise à clarifier ces concepts en mettant en lumière leurs différences et en illustrant leur application à travers des exemples concrets.

Définition de Régulation et Asservissement

La **régulation** se réfère au contrôle automatique d'une grandeur pour la maintenir à une **valeur désirée ou consigne**, malgré les perturbations externes. Le système de régulation agit de manière à compenser toute variation de la **grandeur réglée** due à des perturbations.



L'**asservissement**, en revanche, est le contrôle d'une grandeur variable, la **grandeur réglée**, afin qu'elle suive une **consigne** qui peut elle-même varier au cours du temps.



Différence principale : La régulation vise à maintenir une **grandeur** constante malgré les perturbations, tandis que l'asservissement permet de faire suivre à la **grandeur réglée** une **consigne** qui peut elle-même varier.

La Partie Opérative

La partie opérative d'un système d'asservissement comprend plusieurs éléments essentiels :

- **Consigne :** La **valeur cible** que la grandeur réglée doit atteindre.
- **Opération :** Les actions réalisées par le système pour atteindre la consigne.
- **Valeur Réglée :** La **grandeur finale** que le système cherche à contrôler.



Exemples :

1. Température d'une pièce :

- **Consigne** : La température souhaitée dans la pièce.
- **Opération** : Activation ou désactivation du chauffage.
- **Valeur Réglée** : Température réelle de la pièce.

2. Débit au travers d'une vanne :

- **Consigne** : Le débit souhaité de liquide à travers la vanne.
- **Opération** : Ajustement de l'ouverture de la vanne.
- **Valeur Réglée** : Débit réel de liquide à travers la vanne.

3. Vitesse d'un train :

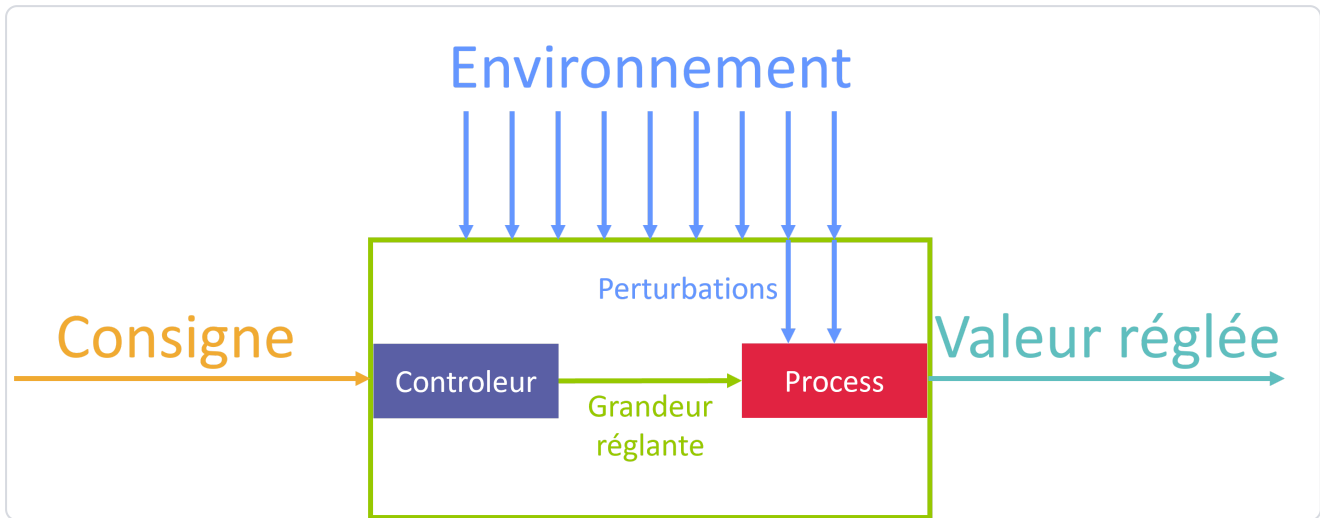
- **Consigne** : La vitesse cible du train.
- **Opération** : Augmentation ou réduction de la puissance du moteur.
- **Valeur Réglée** : Vitesse réelle du train.

L'Environnement

L'environnement d'un système d'asservissement peut influencer et être influencé par la partie opérative. Il s'agit de toutes les grandeurs physiques ayant une influence sur la valeur réglée.

- **La Grandeur Réglante** : La **grandeur sur laquelle le système de régulation agit**. Il s'agit d'une des grandeurs de l'environnement sur laquelle on impose une action. Elle est généralement la grandeur ayant le plus d'effet ou celle la plus facile ou la moins chère à piloter.
- **Les Paramètres** : Caractéristiques de l'environnement ou du système pouvant affecter la **grandeur réglée** mais sur lesquelles la système n'a pas de pouvoir d'action. Les paramètres sont fixes dans le temps, ou varie lentement avec l'usure et le vieillissement de la machine. Les valeurs des paramètres sont généralement imposées lors de la construction.

- **Les Perturbations :** Variations non désirées influençant la **grandeur réglante** ou de la **valeur réelle**.



Exemples :

1. Température d'une pièce :

- **Grandeur Réglante** : la puissance électrique de la chaudière.
- Paramètres : Isolation thermique de la pièce, taille des fenêtres.
- Perturbations : Ouverture d'une fenêtre, température extérieure, soleil.

2. Débit au travers d'une vanne :

- **Grandeur Réglante** : ouverture de la vanne.
- Paramètres : Diamètre des tuyaux.
- Perturbations : Variation de la pression dans les conduites, fluctuation de la viscosité.

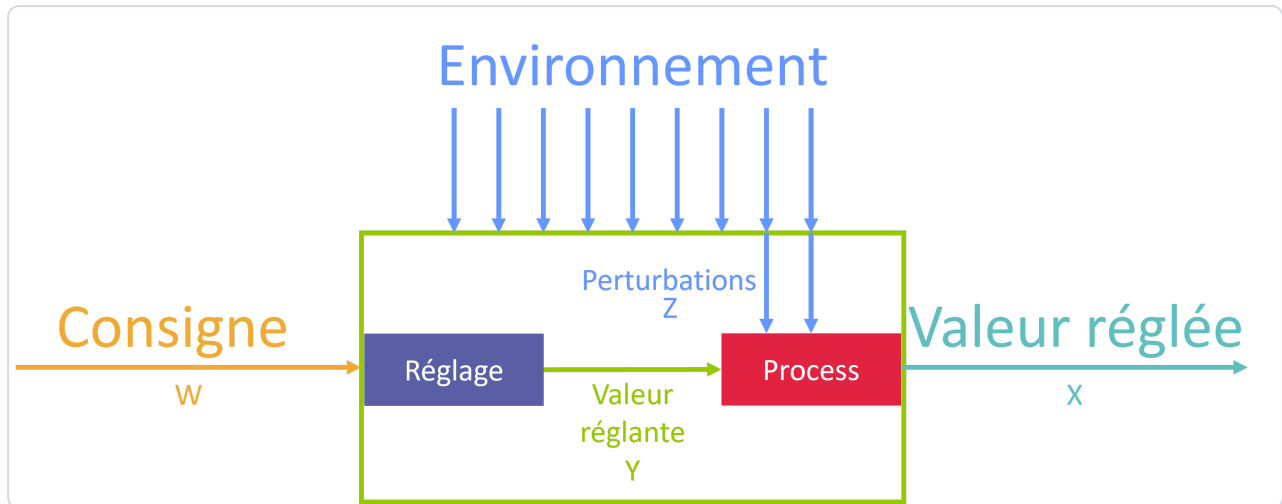
3. Vitesse d'un train :

- **Grandeur Réglante** : Tension d'alimentation du moteur.
- Paramètres : Rapport de transmission.
- Perturbations : Conditions météorologiques, changements de pente.

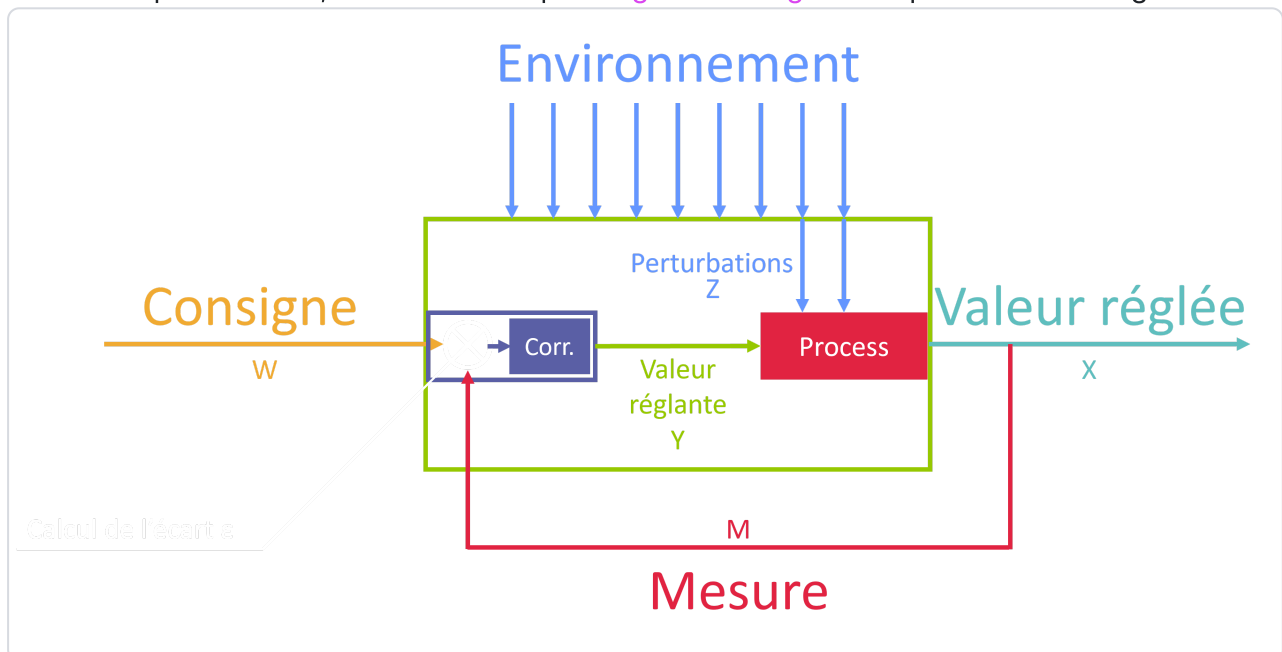
Boucles

Les systèmes d'asservissement peuvent être classés en boucles ouvertes ou fermées selon la manière dont la sortie est utilisée pour le contrôle.

- **Boucles Ouvertes** : La **sortie du système** n'est pas utilisée pour corriger l'action. Il ne peut donc pas y avoir de régulation. Toutefois, une variation de la **consigne** entraînera une variation de la **valeur réglée**.



- **Boucles Fermées** : La sortie est mesurée et utilisée pour ajuster l'action afin de minimiser l'écart entre la consigne et la grandeur réglée. L'écart observé entre la consigne et la valeur réglée est mesuré en permanence, et servira à adapter la grandeur réglante et permettra une régulation.



Exemples :

1. **Température d'une pièce (Boucle Fermée)** : Un thermostat mesure la température et ajuste le chauffage pour maintenir la consigne.
2. **Débit au travers d'une vanne (Boucle Fermée)** : Un capteur mesure le débit réel et ajuste l'ouverture de la vanne pour atteindre le débit souhaité.
3. **Vitesse d'un train (Boucle Fermée)** : Le système de contrôle ajuste la puissance du moteur en fonction de la vitesse mesurée pour respecter la vitesse cible.

CHAPITRE 2

Performances

Les *performances* d'un système d'asservissement sont cruciales pour évaluer sa capacité à répondre aux exigences d'une application spécifique. Elles se mesurent à travers plusieurs critères tels que la *précision*, la *rapidité*, l'*amortissement* et la *stabilité*. Chaque critère a un impact direct sur l'efficacité et la fiabilité du système. Ce chapitre abordera ces différents aspects et expliquera comment les régler pour optimiser les performances.

Notion de performance

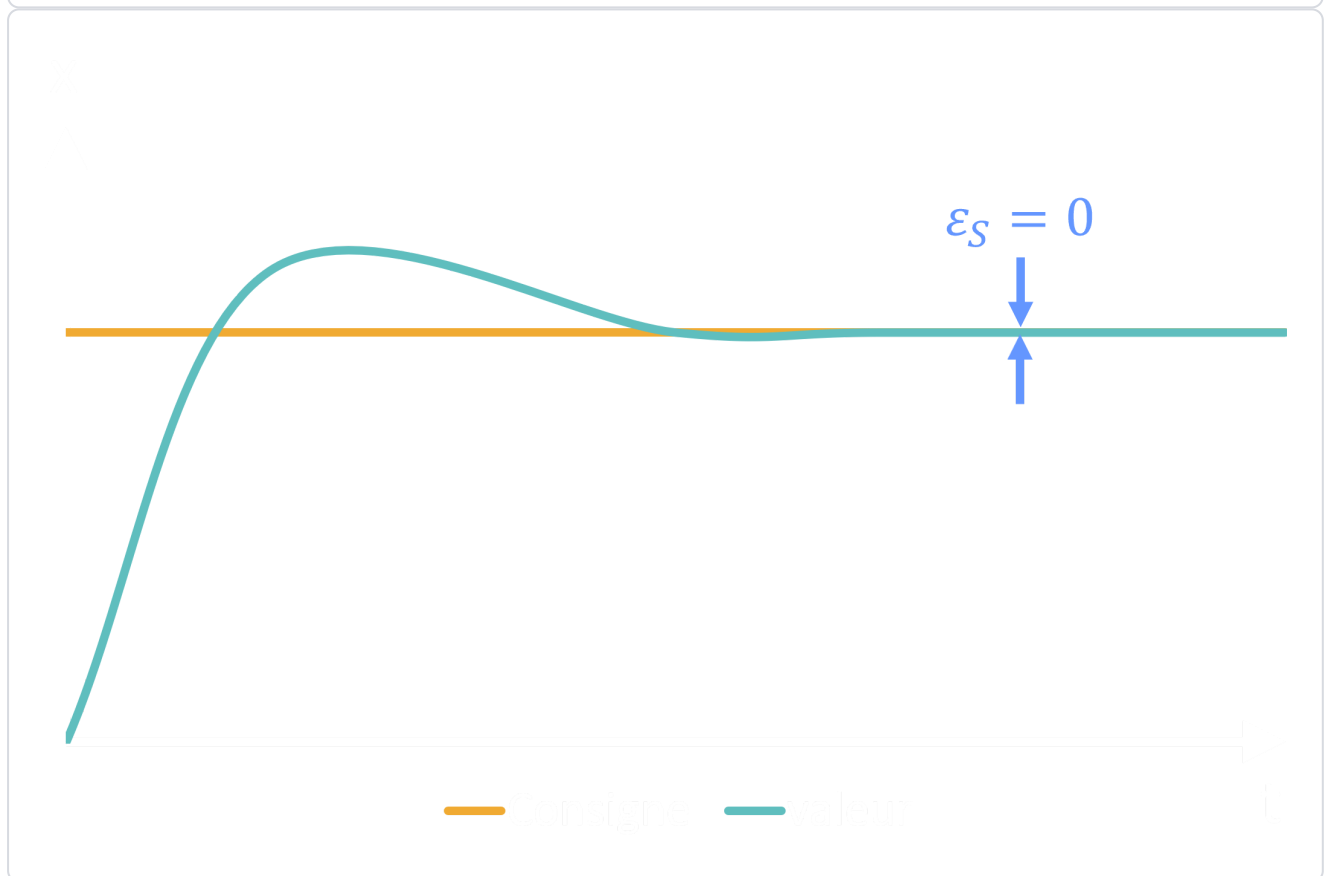
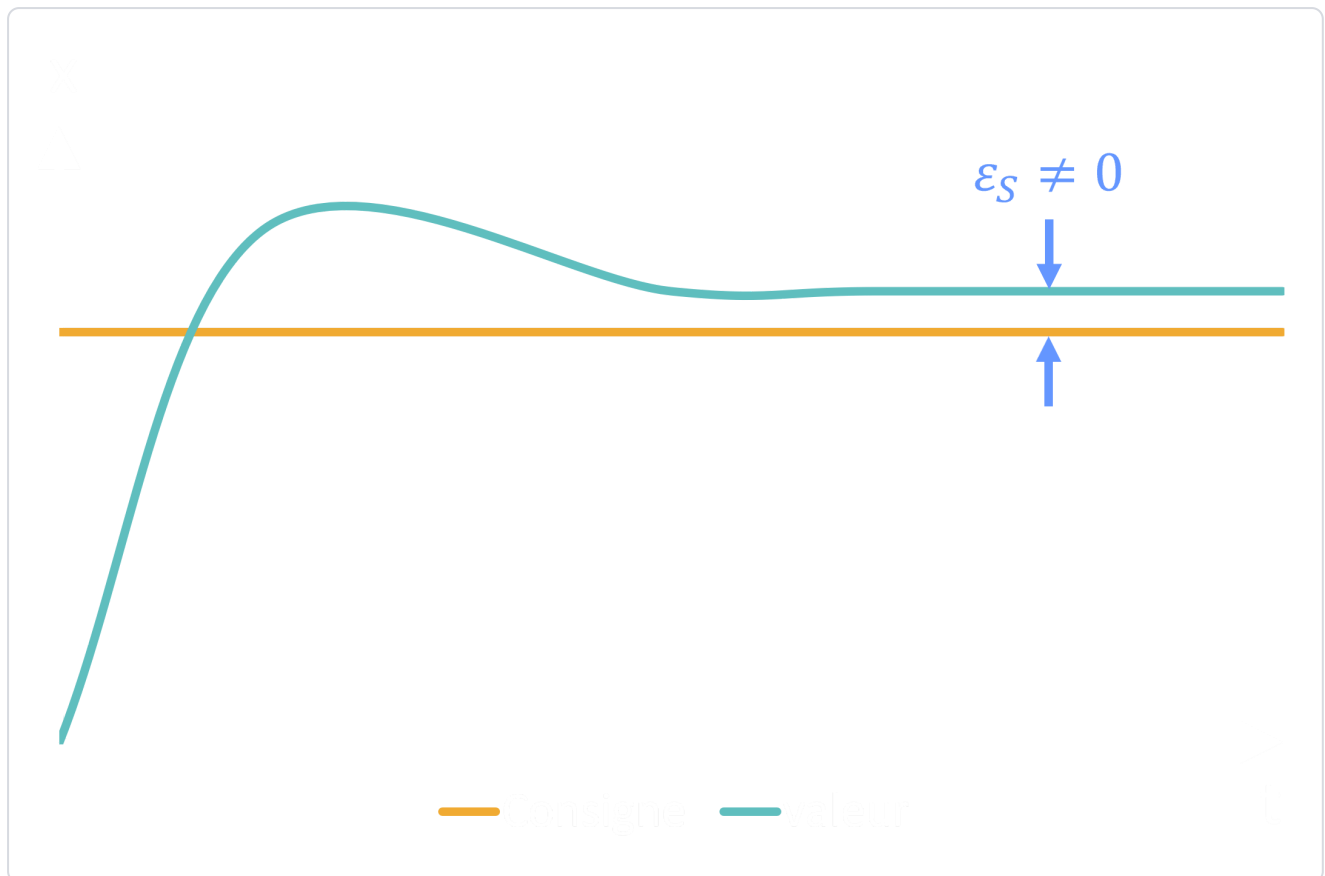
La *performance* d'un système d'asservissement reflète sa capacité à atteindre et maintenir une valeur désirée face à des perturbations externes.

Précision

La *précision* est la capacité du système à maintenir sa sortie le plus proche possible de la *valeur cible*, malgré les variations des conditions externes.

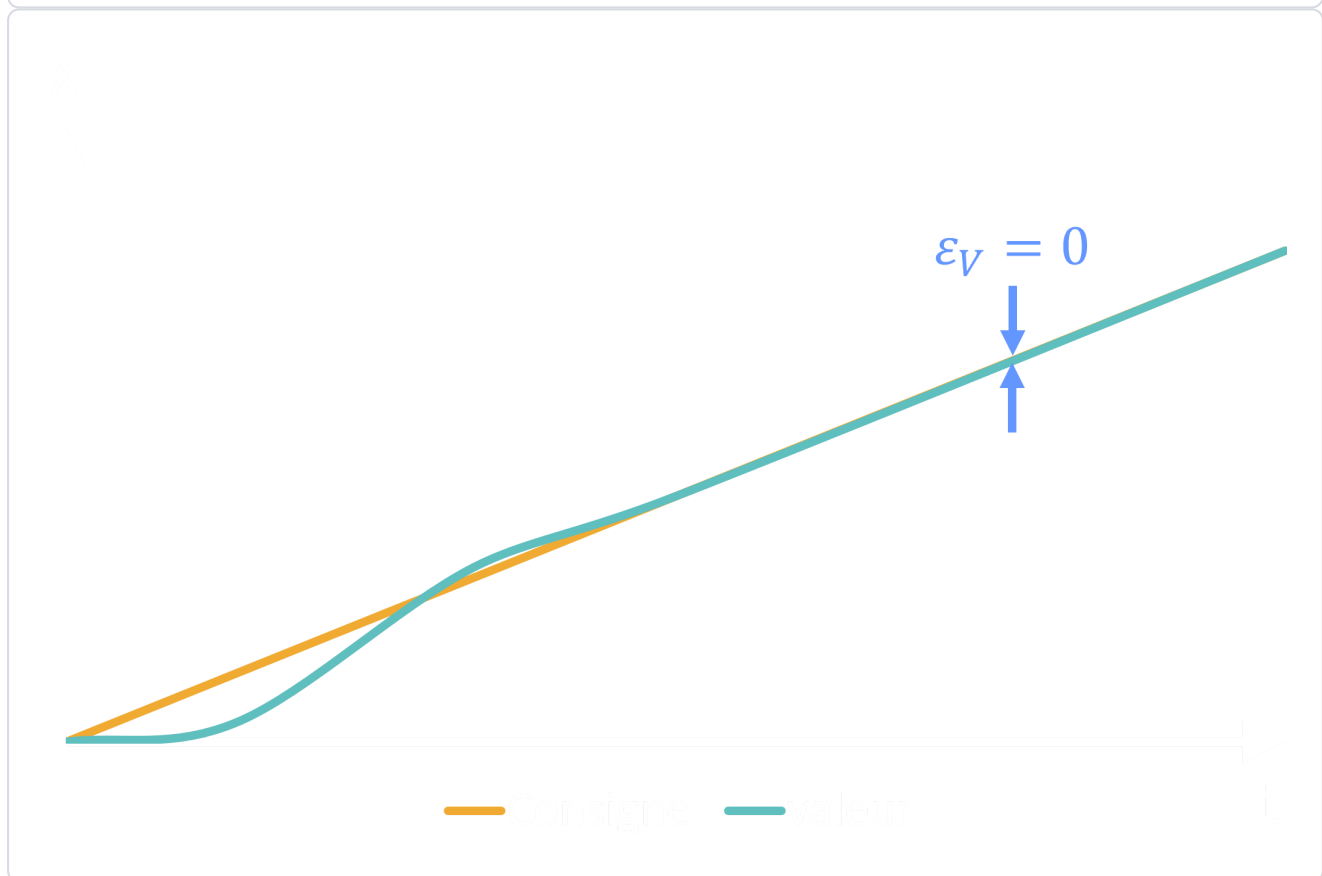
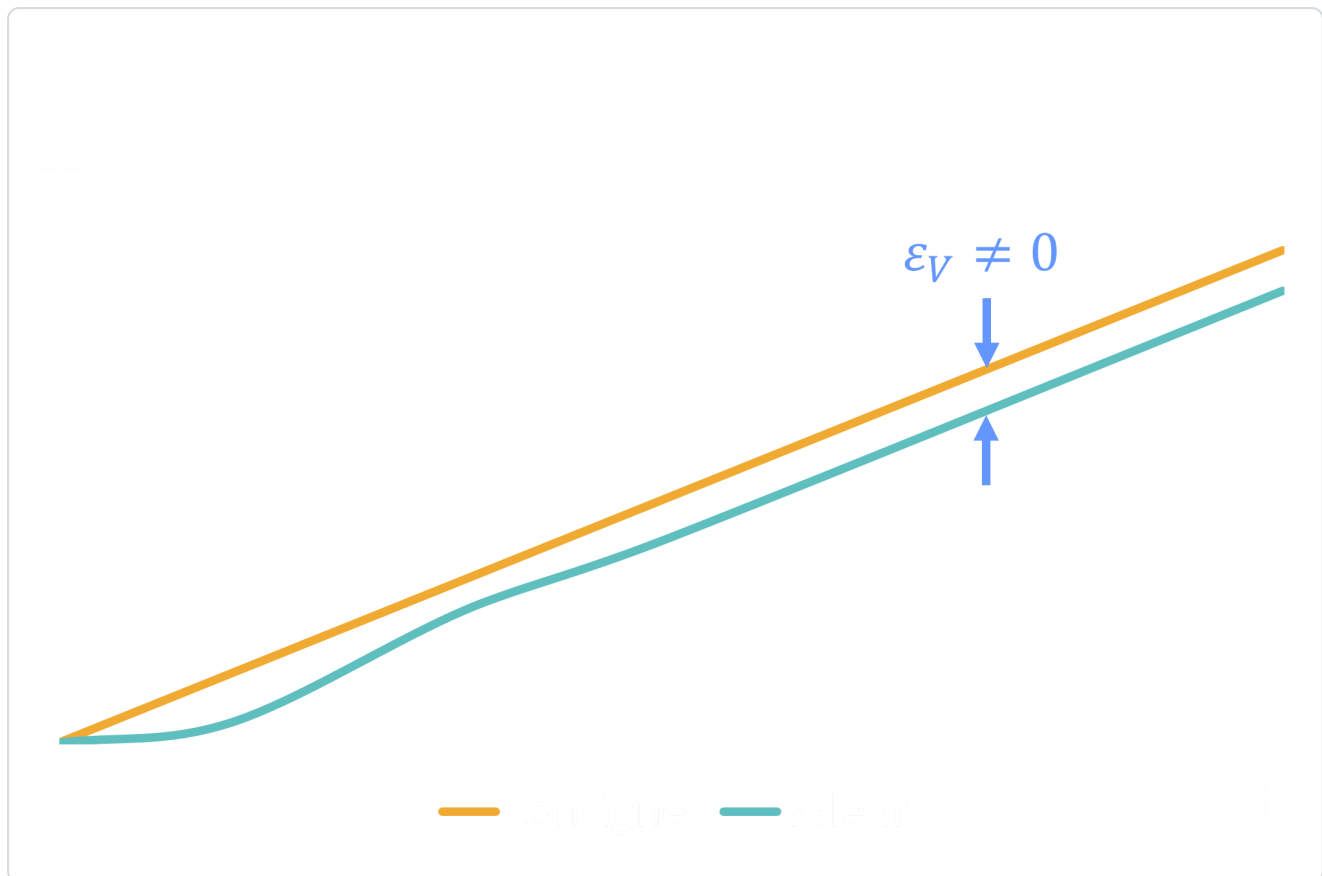
Erreur statique

L'*erreur statique* (ou écart de position) est la différence entre la *valeur de sortie* du système en régime permanent et la *valeur cible*. Elle reflète la capacité du système à atteindre précisément l'objectif sans influence dynamique.



Erreur dynamique

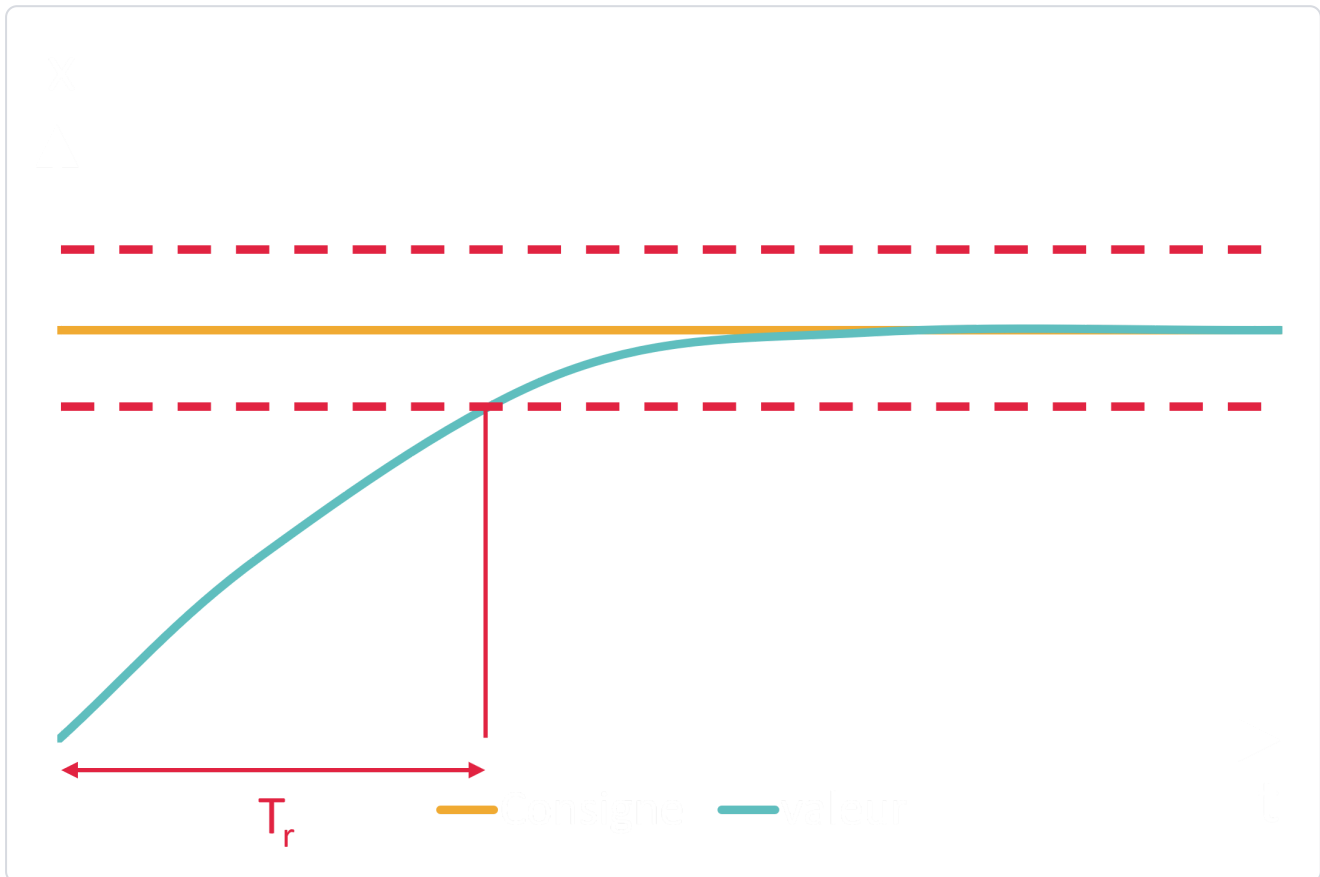
L'*erreur dynamique* (ou erreur de traînage) mesure l'écart permanent entre la variation de la **sortie du système** par rapport à la **cible variable**. Cette erreur est influencée par la rapidité et l'amortissement du système.



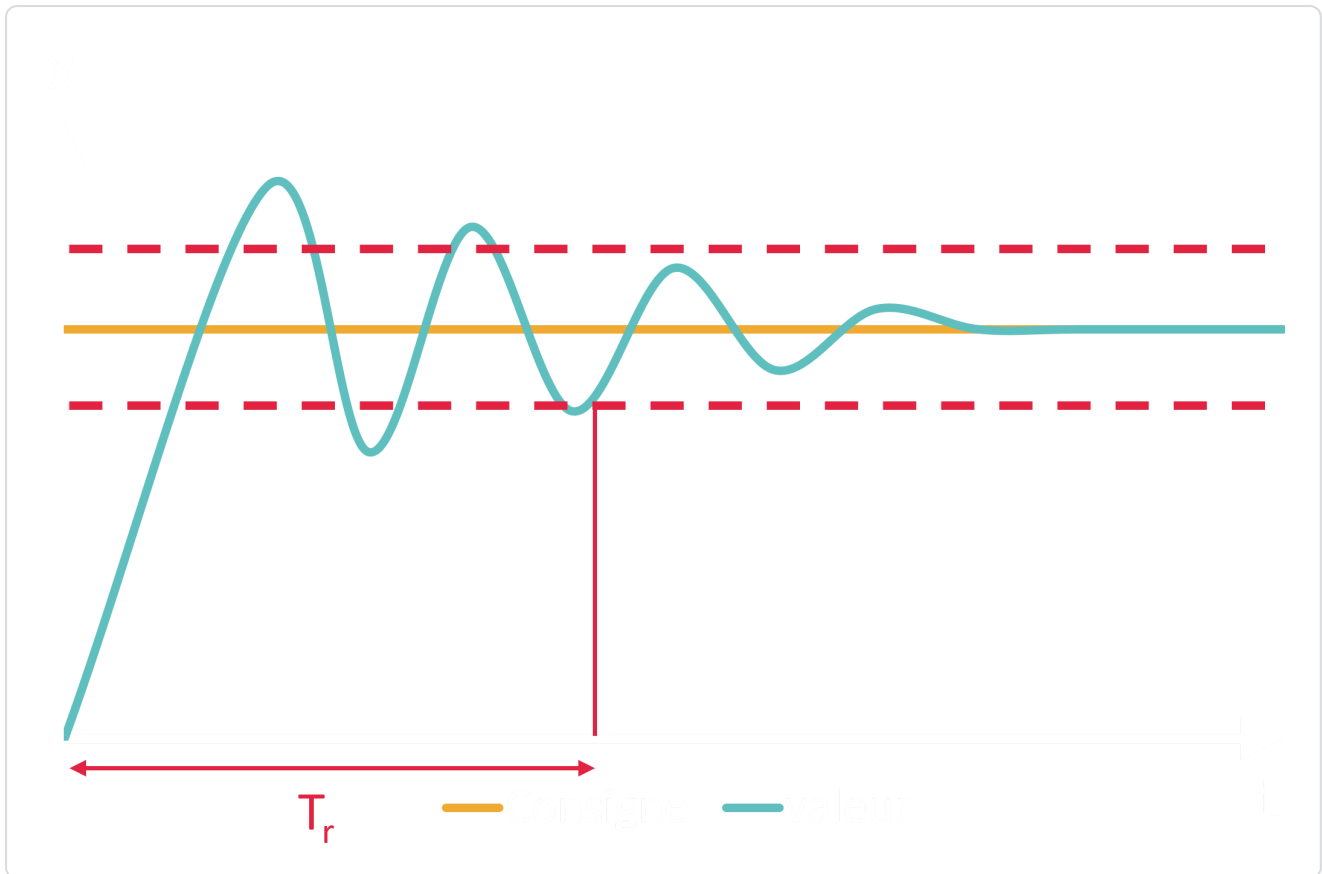
Connaître les paramètres d'erreur d'un système permet de prévoir la réponse de ce dernier à une consigne et ainsi d'adapter la grandeur réglée pour compenser.

Rapidité

La *rapidité* d'un système est évaluée par son *temps de réponse*, soit le temps nécessaire pour que la sortie atteigne et se stabilise autour de la valeur cible après une variation de l'entrée. Ce temps est généralement pris à 5%, c'est-à-dire le temps pour que la valeur réelle ne s'écarte plus de sa consigne de plus de 5%.



Si on augmente le gain de la commande, le système réagit plus vite et le temps de réponse diminue. Mais si le gain devient trop important, le système se met à osciller et le temps de réponse augmente.



Amortissement - Stabilité

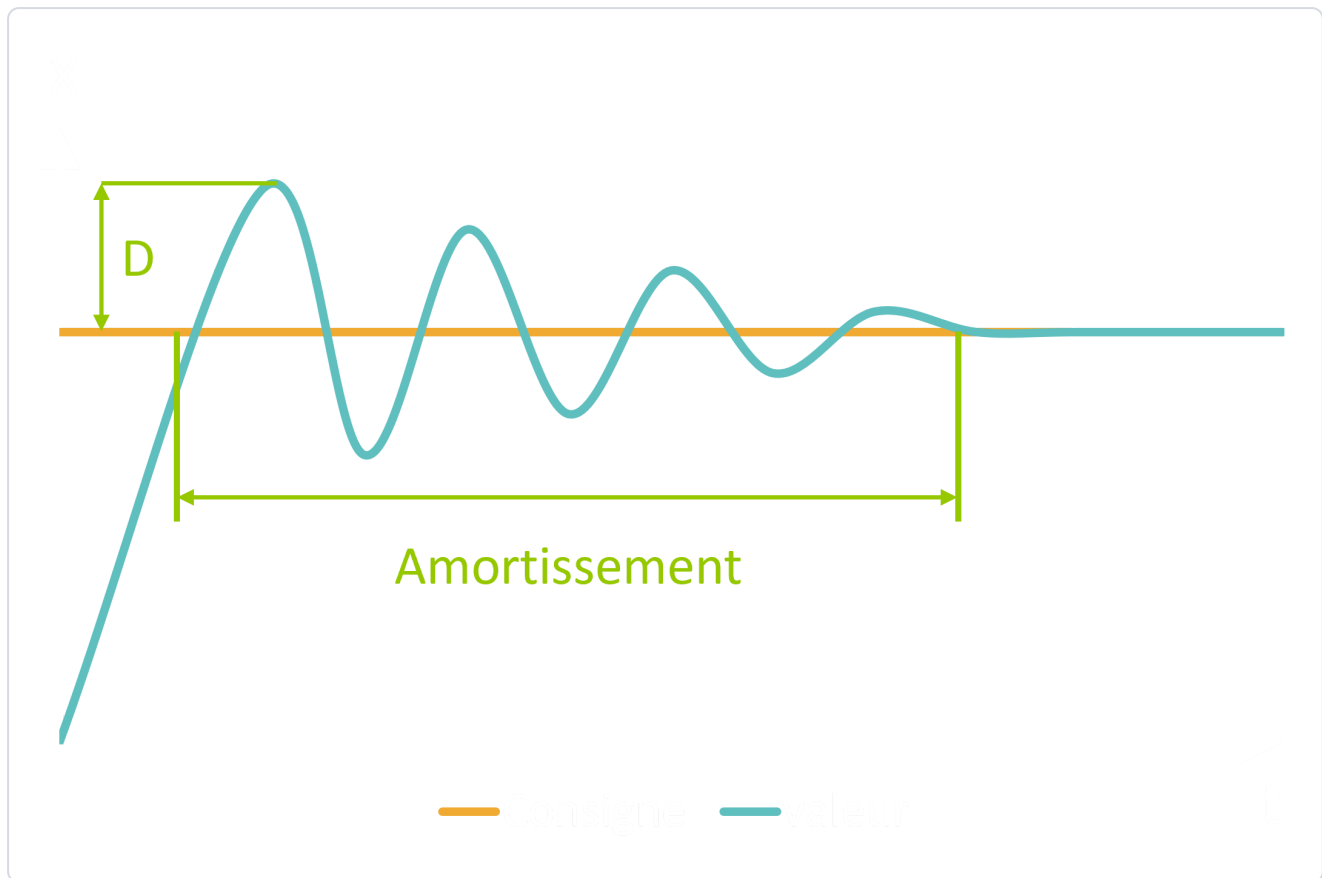
L'*amortissement* et la *stabilité* sont des aspects fondamentaux qui déterminent la capacité du système à revenir à un état stable après une perturbation et à ne pas présenter d'écarts trop importants.

Dépassement

Le *dépassement* est la mesure de l'excès de la *sortie* par rapport à la *valeur cible* lors de la première réponse avant de se stabiliser. Un dépassement minimal est souvent souhaité.

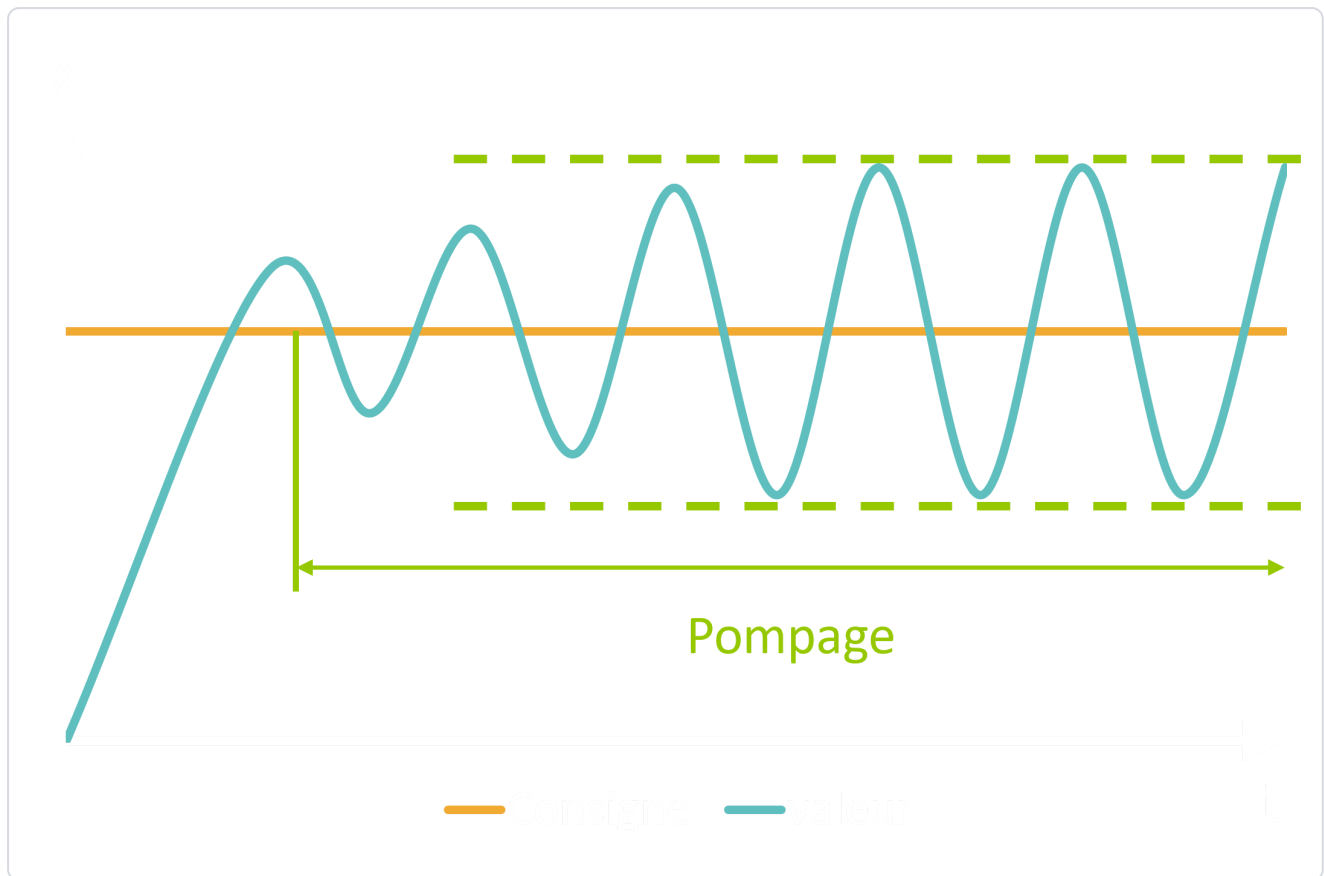
Amortissement

L'*amortissement* désigne la capacité du système à réduire l'*oscillation* de la *sortie*. Un système bien amorti revient rapidement à la stabilité sans oscillations excessives.



Pompage - Instabilité

Le *pompage* ou l'*instabilité* survient lorsque le système présente des *oscillations* continues ou croissantes, indiquant un manque d'amortissement. Le système est alors impossible à réguler correctement.

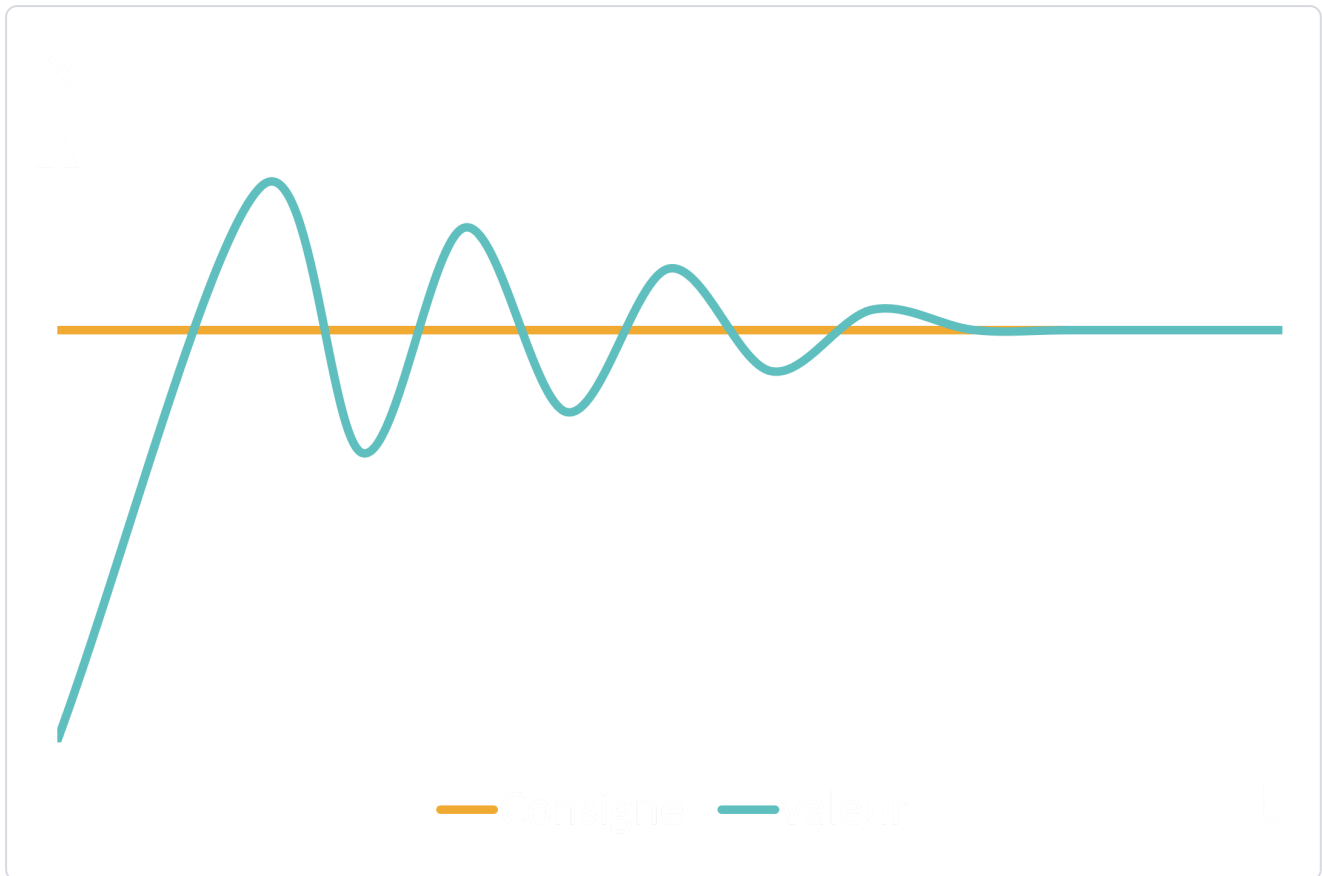


Réglage

Le *réglage* du système est essentiel pour atteindre les performances désirées. Il s'agit d'ajuster les paramètres pour optimiser la **précision**, la **rapidité**, l'**amortissement** et la **stabilité**.

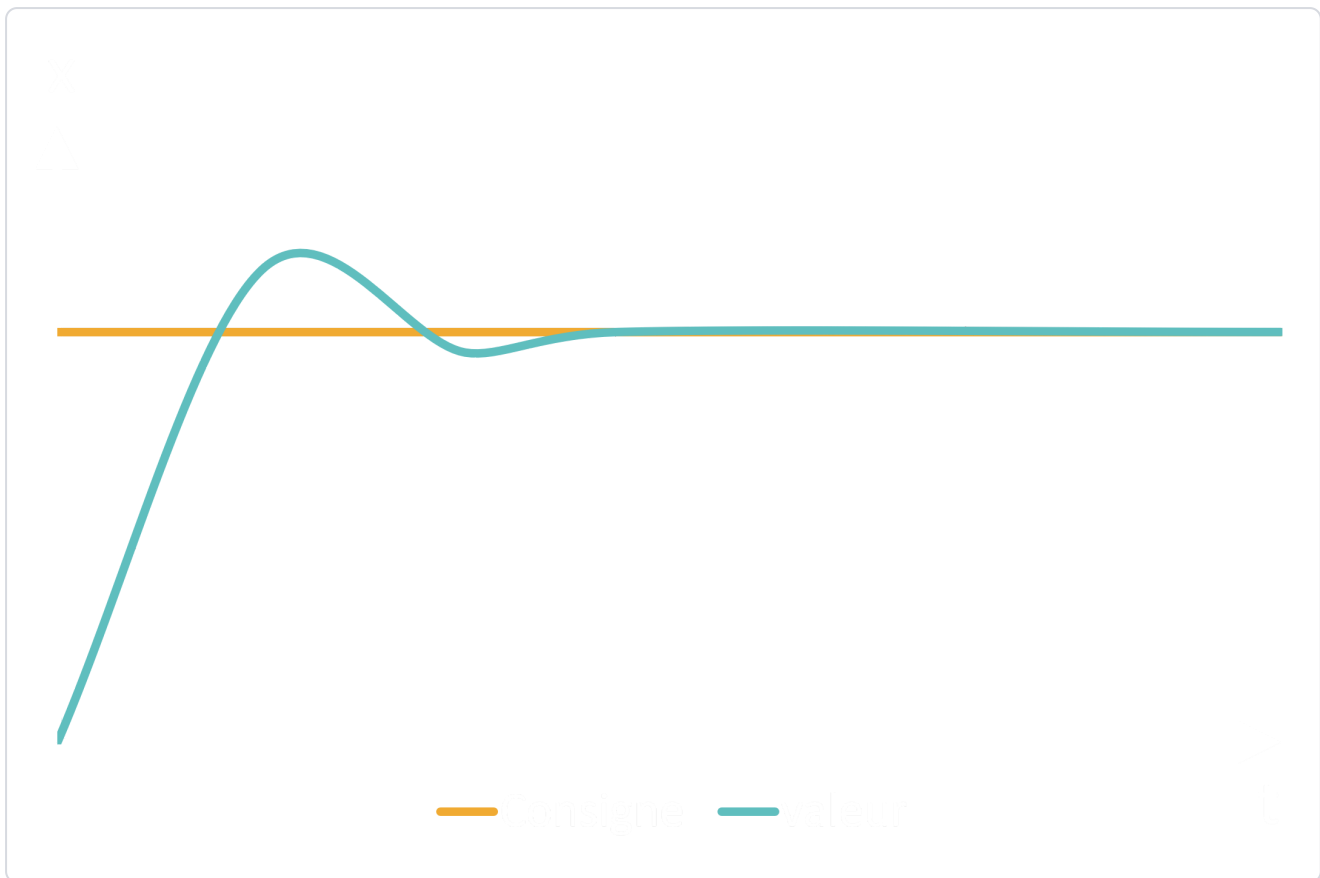
Trop peu amorti

Un système *trop peu amorti* présente un **dépassement** excessif et des **oscillations nombreuses** entraînant un **temps de stabilisation** long, ce qui est indésirable pour la plupart des applications. Les oscillations peuvent également être source de danger (pièce mécanique) ou d'usure (contacteur).



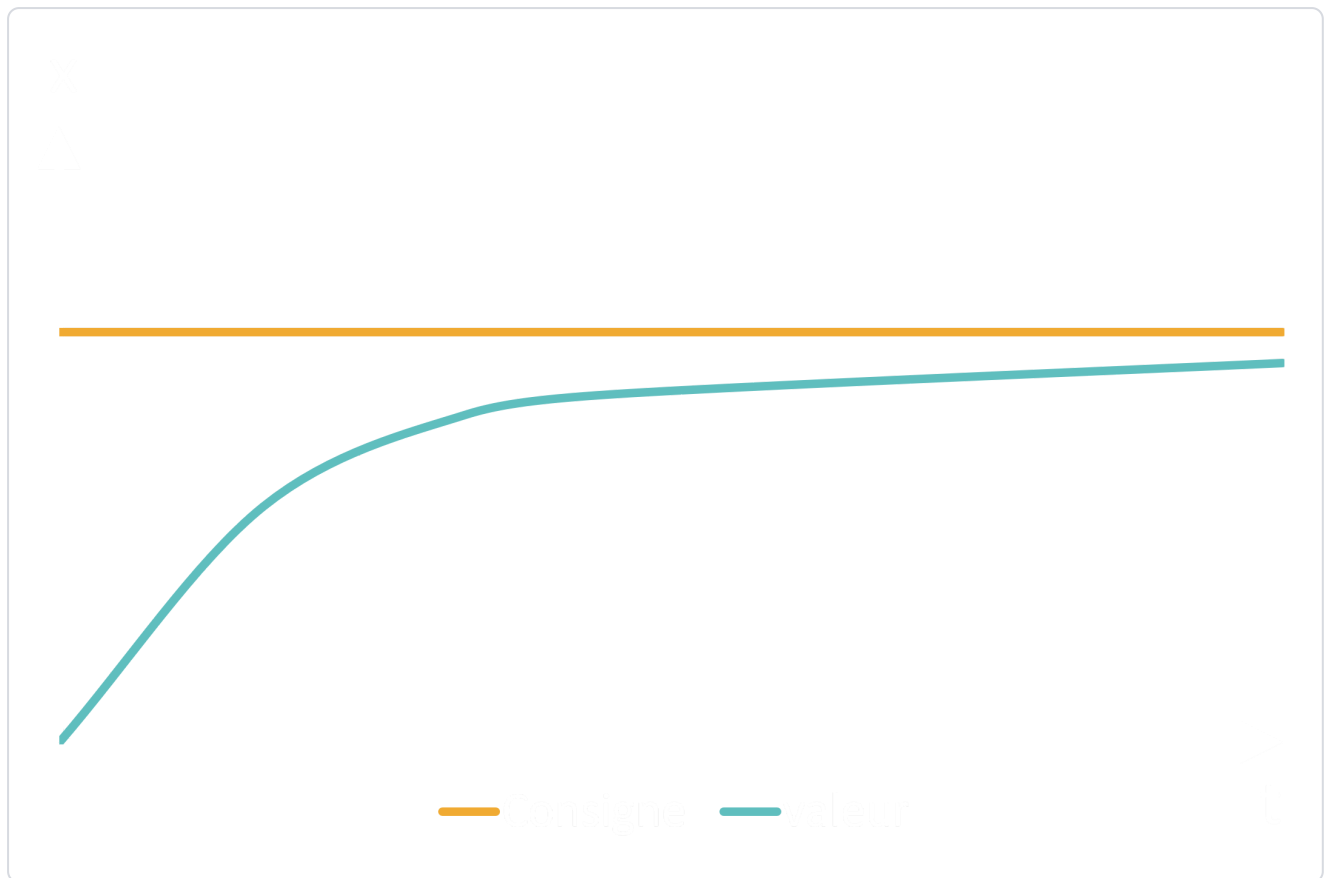
Correctement amorti

Un système *correctement amorti* atteint la stabilité rapidement sans **oscillations** excessives, offrant un bon compromis entre **rapidité** et **précision**. Le **dépassement** sera également faible.



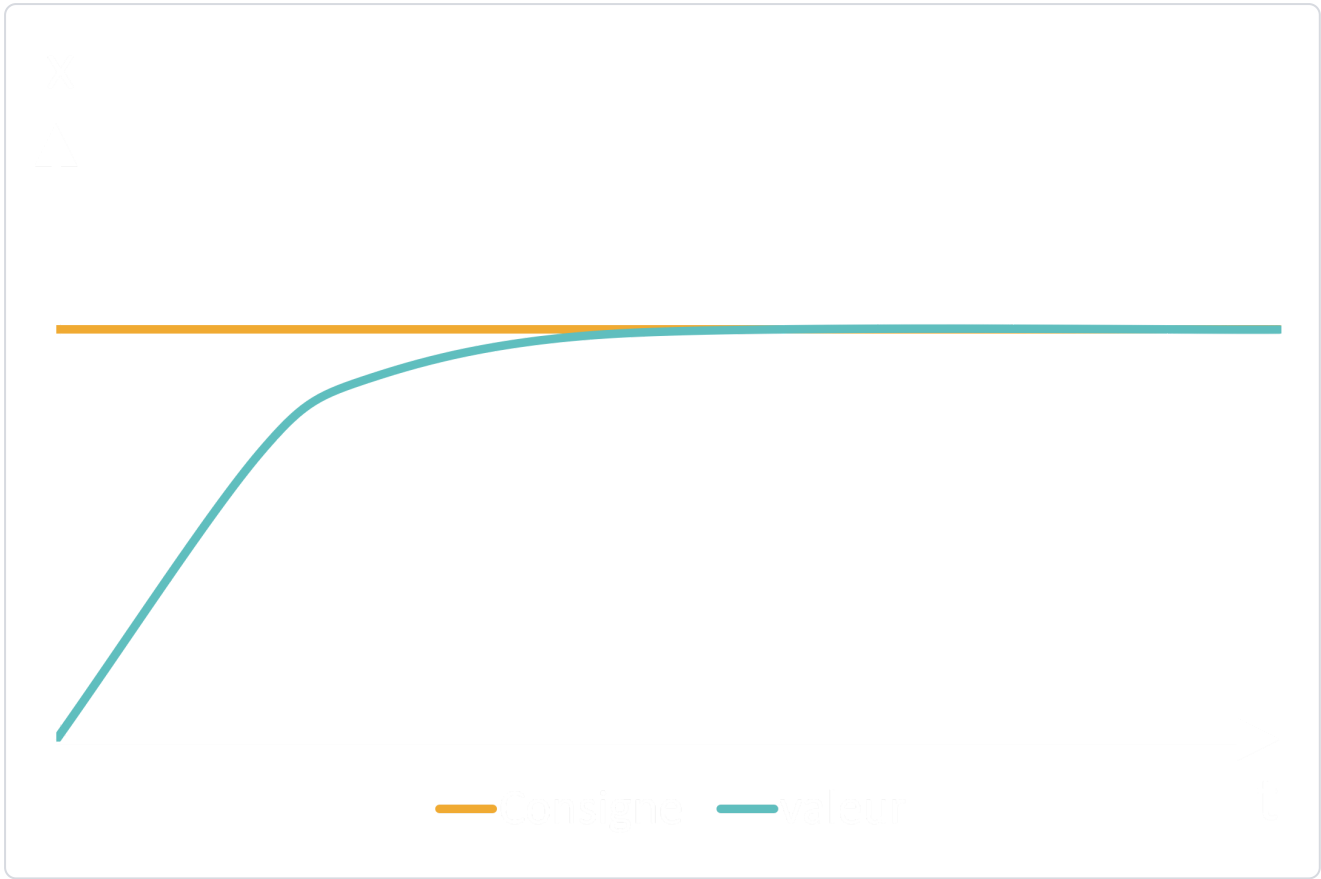
Trop amorti

Un système *trop amorti* peut être **lent** à atteindre la **valeur cible**, sacrifiant la rapidité pour une stabilité excessive. Un tel système ne présente pas d'oscillation.



Correctement amorti sans dépassement

Un système *correctement amorti sans dépassement* est idéal pour des applications nécessitant une grande précision sans tolérance pour le dépassement (usinage de pièce métalliques par exemple), atteignant la stabilité sans jamais dépasser la consigne mais en conservant un temps de réponse relativement court.

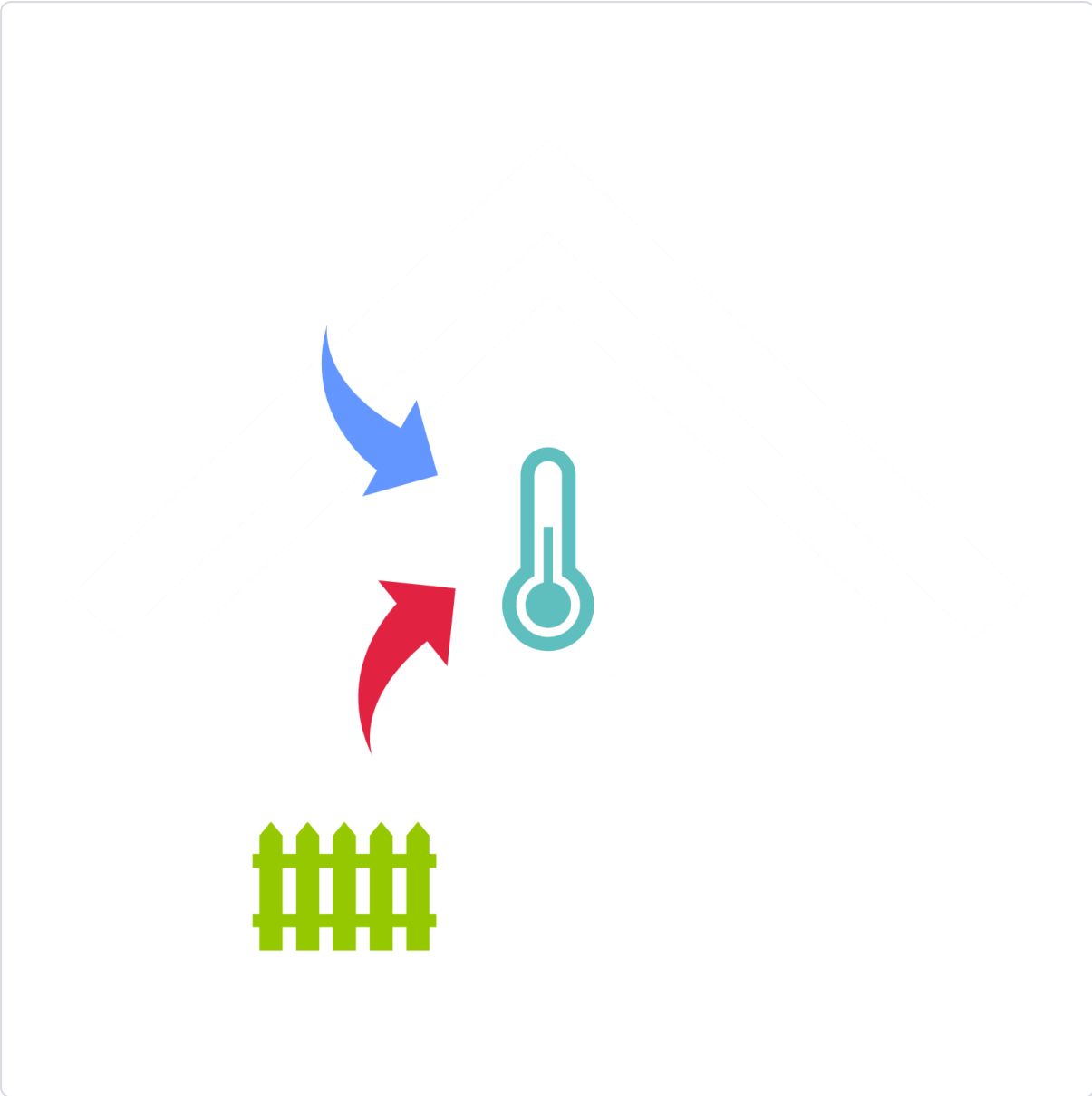


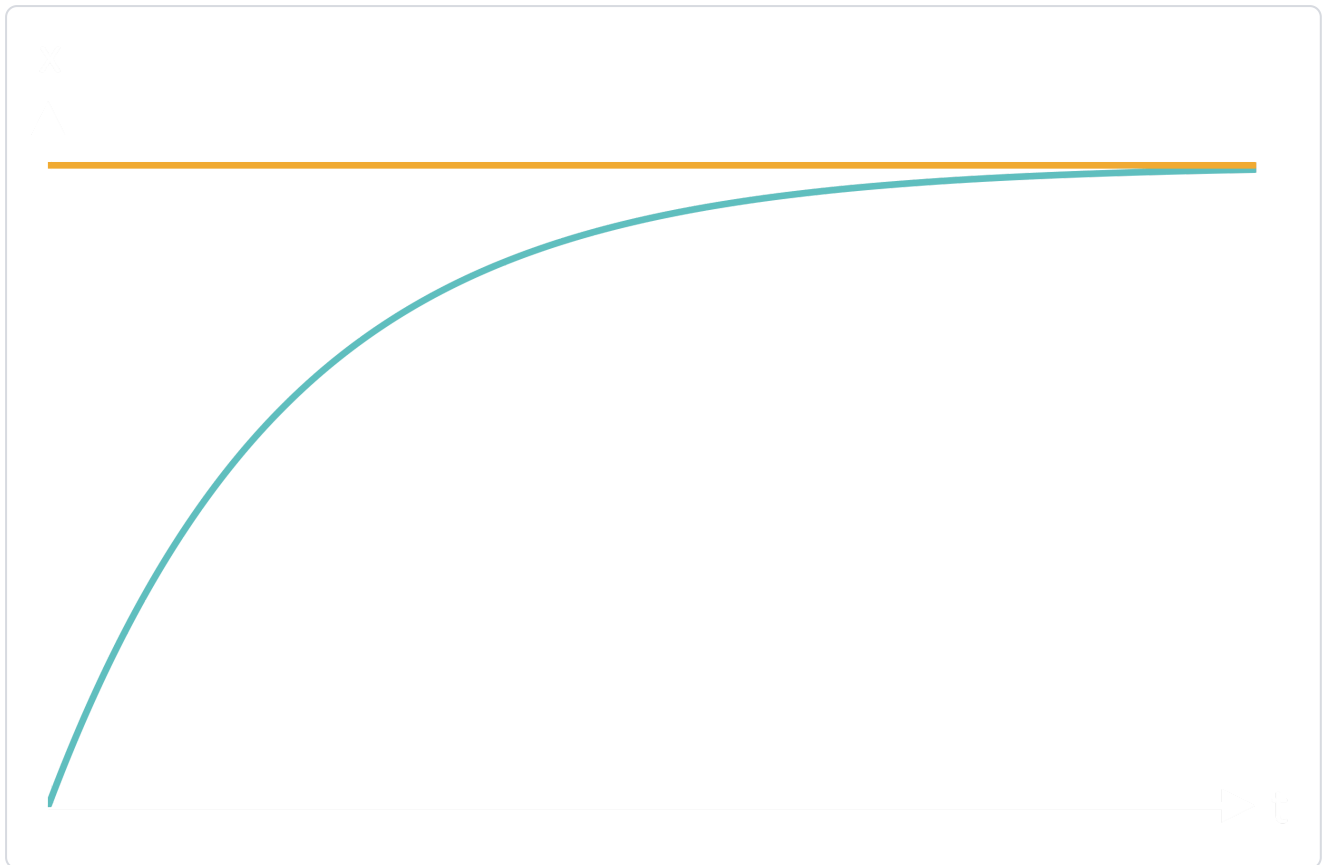
CHAPITRE 3

Systèmes

Systèmes avec compensation

Dans un système d'*asservissement* comprenant un mécanisme de compensation, lorsqu'on ajuste manuellement un taux de *modulation* spécifique à l'aide d'un régulateur et qu'on attend, la valeur réelle se stabilise et devient constante. Le résultat obtenu est une grandeur qui se trouve être ajustée de manière proportionnelle à ce taux de modulation. Pour illustrer ce principe, prenons l'exemple d'un système de chauffage domestique. Si le régulateur est réglé pour augmenter la température (taux de modulation), la chaleur fournie par le système sera augmentée à ce réglage. La température de l'habitation va alors augmenter progressivement. Cette élévation provoque une augmentation des pertes thermiques, jusqu'à atteindre un nouvel équilibre entre chaleur apportée par le chauffage et perdue. La température est alors stable, et proportionnelle à la chaleur apportée.

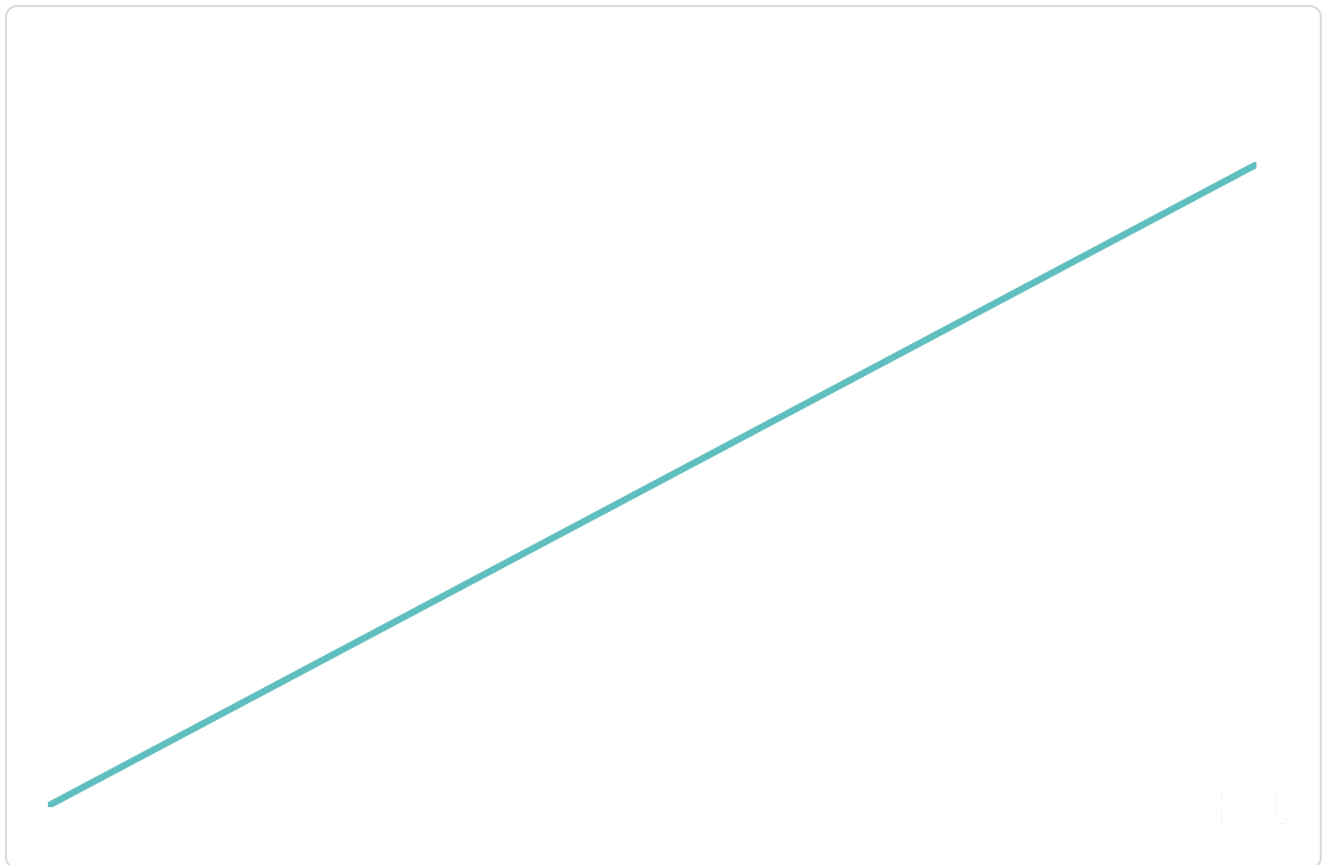




Systèmes sans compensation

Un système sans compensation est un dispositif qui, face à des modifications du taux de modulation, montre un changement constant dans sa sortie, autrement dit, dans sa valeur réelle. Cette variation continue est le résultat direct des caractéristiques propres au système. Plus spécifiquement, l'écart observé entre la valeur souhaitée (ou théorique) et la valeur réelle (ou pratique) est influencé par deux facteurs principaux : le taux de modulation et la durée pendant laquelle ce taux est appliqué. En d'autres termes, plus le taux de modulation est élevé ou plus il est maintenu longtemps, plus l'écart sera marqué.





Ces systèmes possèdent une particularité notable : ils intègrent les variations survenues au fil du temps, c'est-à-dire qu'ils cumulent les écarts pour produire leur sortie. C'est pour cette raison qu'on les désigne souvent sous le terme de systèmes à action intégrale, ou plus simplement, systèmes I.

Exemple : Imaginons un bassin d'eau que l'on souhaite maintenir à un niveau constant. Si on ouvre le robinet pour remplir le bassin et que, simultanément, une fuite se développe, le débit de remplissage devra être ajusté pour compenser la perte d'eau due à la fuite. Si l'ajustement du débit d'eau n'est pas correctement calibré en fonction de l'intensité de la fuite, le niveau d'eau dans le bassin peut finir par être soit trop bas, soit trop élevé par rapport au niveau désiré. Dans un système sans ajustement adéquat, cette inadéquation du niveau d'eau continue jusqu'à ce qu'une correction soit appliquée. L'évolution du niveau d'eau est constante dans le temps, et dépend de l'écart entre remplissage et fuite. On a donc bien un système dont l'écart grandit avec le temps, un système intégral.

Cela illustre bien le comportement d'un système à action intégrale : malgré un objectif clair, sans ajustements appropriés et en temps réel, l'écart entre l'objectif et la réalité va s'accroître avec le temps.

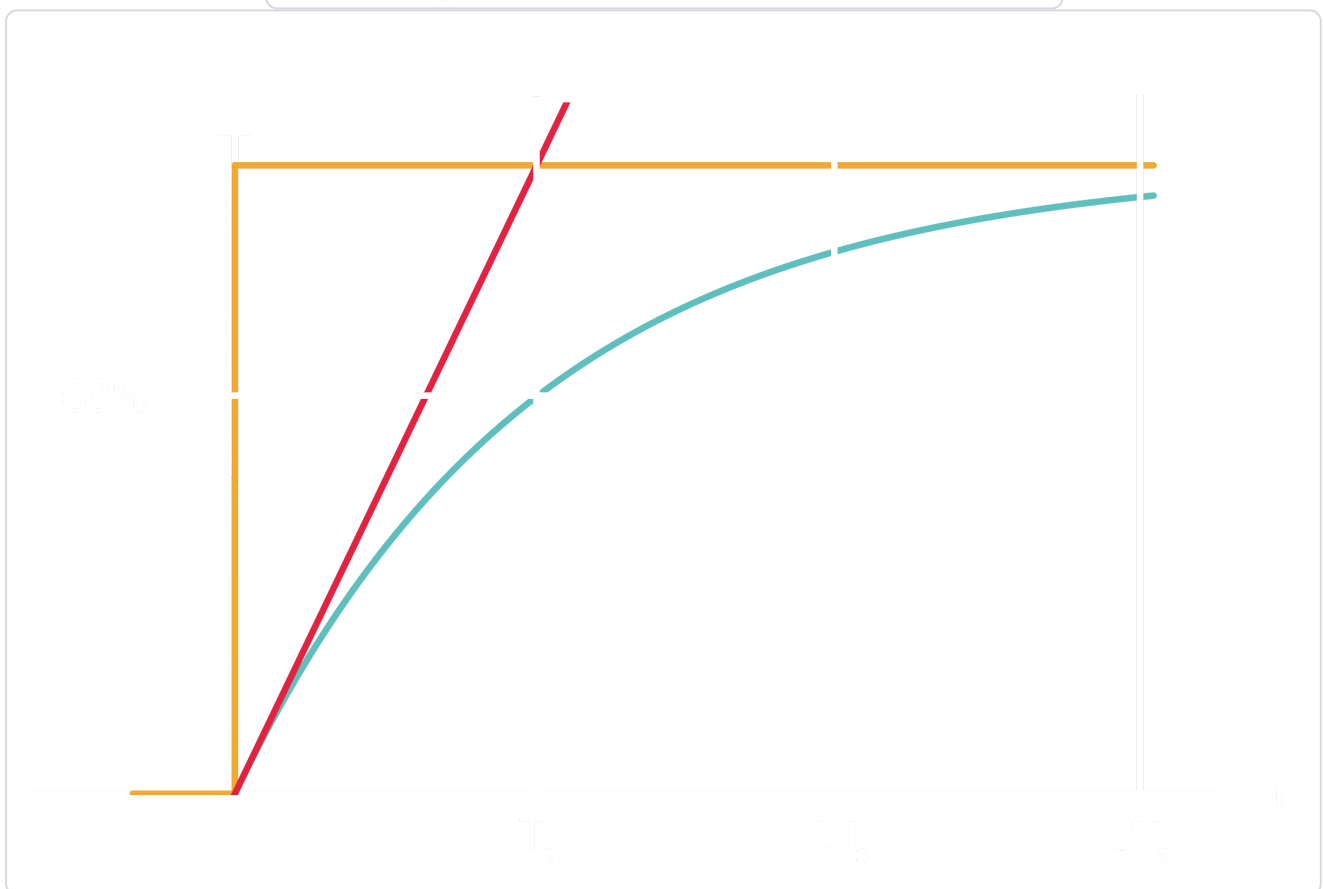
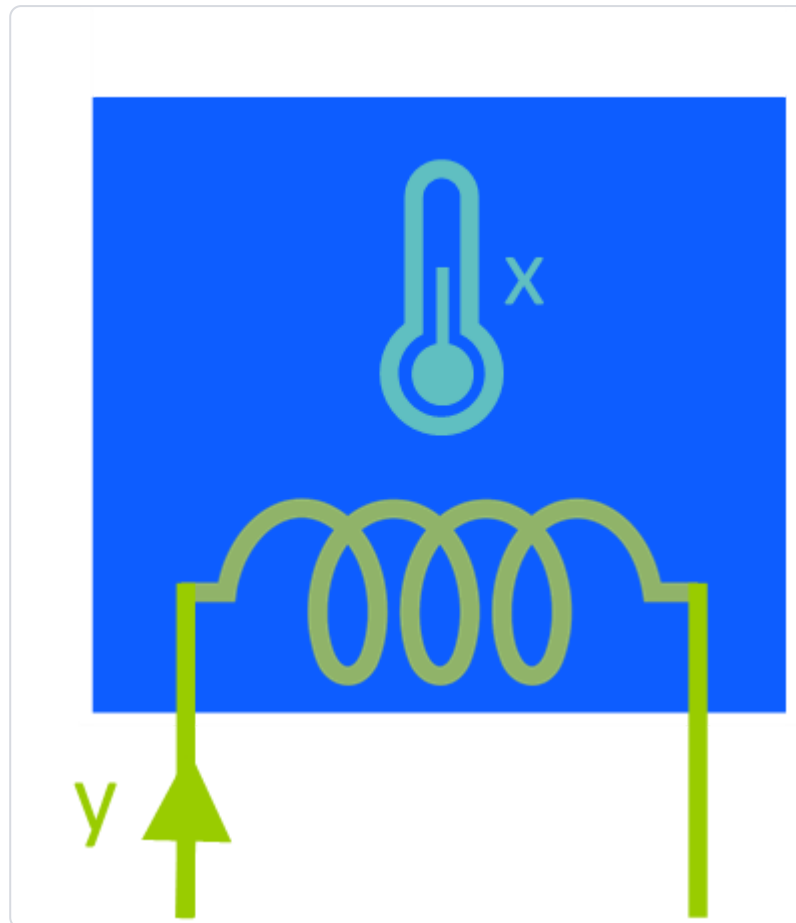
Systèmes avec retard

Retard du premier ordre

Un système d'asservissement avec un retard du premier ordre est caractérisé par la présence d'un seul accumulateur d'énergie, ce qui signifie que la grandeur réglée du système suit une progression de type exponentielle.

- Le *temps caractéristique* T_s décrit la vitesse à laquelle un système répond à une variation. Plus T_s est petit, plus le système est rapide à atteindre son nouvel état d'équilibre. Un T_s élevé entraîne une réponse plus lente, ce qui peut être préjudiciable dans des situations où une réactivité rapide est nécessaire. Il s'agit cependant d'un paramètre qui n'est pas ajustable facilement, et il doit donc être pris en compte à la conception.
- Le *gain* K_s , quant à lui, représente l'amplitude de la réponse du système face à une entrée donnée. Un *gain* K_s élevé indique une réponse plus importante du système face à des variations externes. Un *gain* K_s faible peut ne pas permettre au système de répondre de manière suffisamment forte aux changements requis, tandis qu'un *gain* K_s trop élevé peut entraîner une instabilité.

Exemple : un bassin d'eau est chauffé par un filament électrique. Dans ce système, le retard manifeste se trouve dans le délai entre l'activation du filament et l'atteinte par l'eau d'une température stable, dû à la capacité thermique de l'eau (accumulation de chaleur). Un brusque changement de la puissance délivrée par le filament entraînera une variation progressive de la température, qui sera de plus en plus faible jusqu'à se stabiliser.

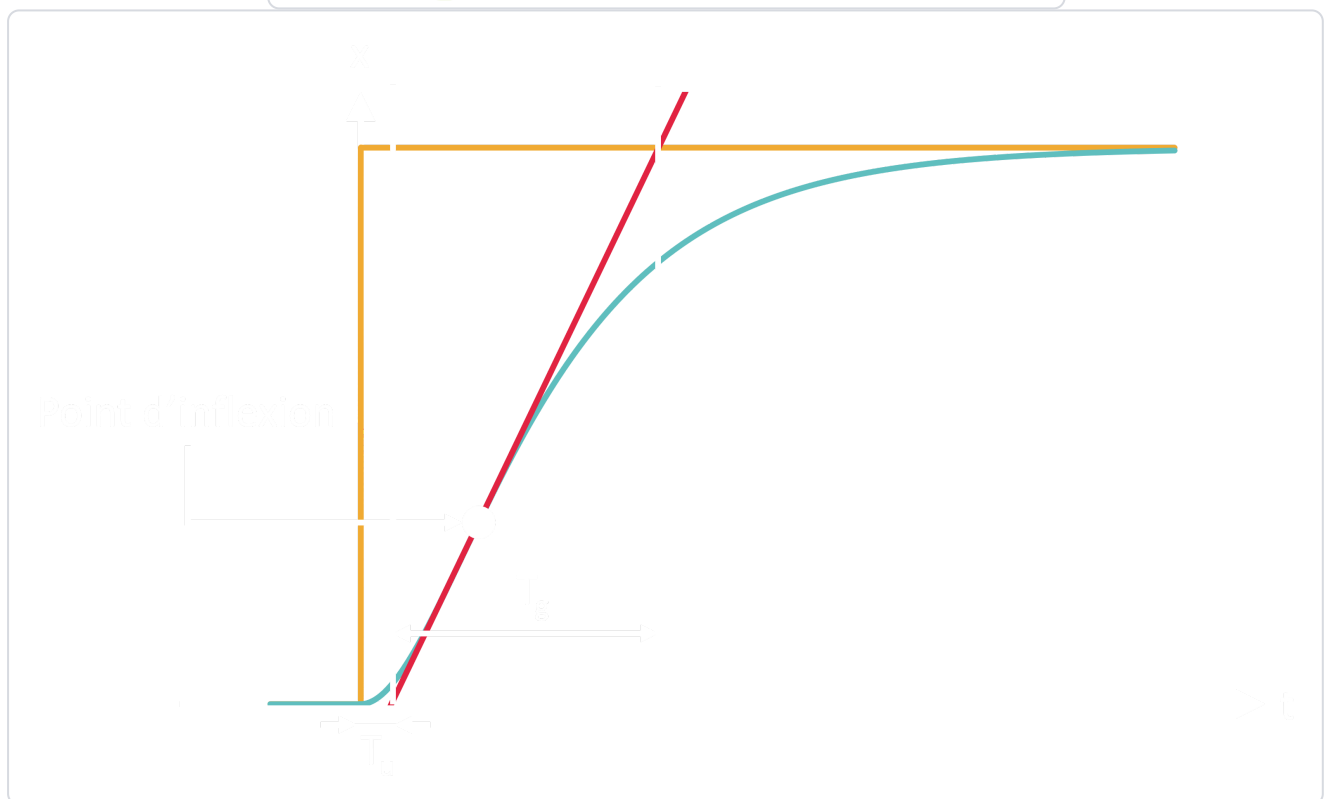
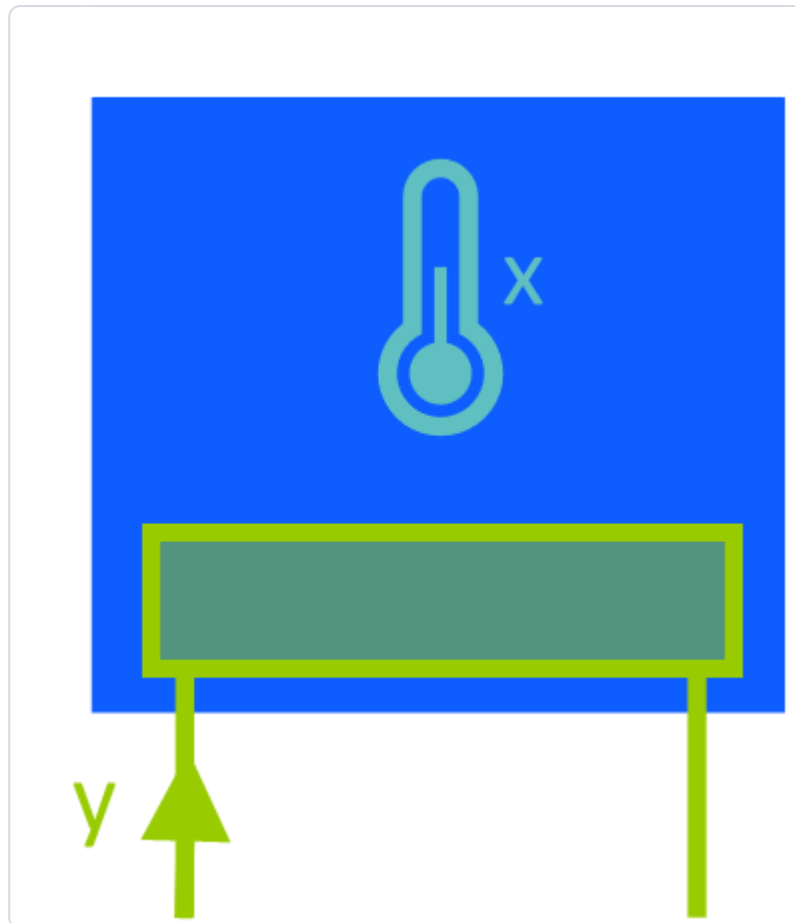


Retard du deuxième ordre

Un système d'asservissement avec deux retards, ou système du deuxième ordre, se distingue par la présence de deux accumulateurs d'énergie. Cette configuration entraîne une dynamique plus complexe par rapport aux systèmes du premier ordre, car elle implique une interaction entre deux processus de retard.

- Le *gain* K_s joue un rôle similaire à celui dans les systèmes du premier ordre, déterminant l'amplitude de la réponse du système face à une entrée donnée. Un *gain* K_s élevé signifie que le système réagit fortement aux variations externes, tandis qu'un *gain* K_s faible peut ne pas être suffisant pour répondre adéquatement aux changements.
- Le *temps* T_1 représente le retard introduit par le premier accumulateur d'énergie. Il reflète la vitesse à laquelle ce premier élément du système réagit à une variation. Un T_1 court indique une réponse rapide du premier accumulateur, tandis qu'un T_1 long signale une réponse plus lente.
- Le *temps* T_2 , quant à lui, est associé au retard introduit par le second accumulateur d'énergie. Ce temps caractérise la manière dont le deuxième élément du système suit la réponse initiée par le premier accumulateur. La relation entre T_1 et T_2 est cruciale pour comprendre la réponse globale du système, car elle détermine la façon dont les deux retards interagissent pour former la réponse finale.

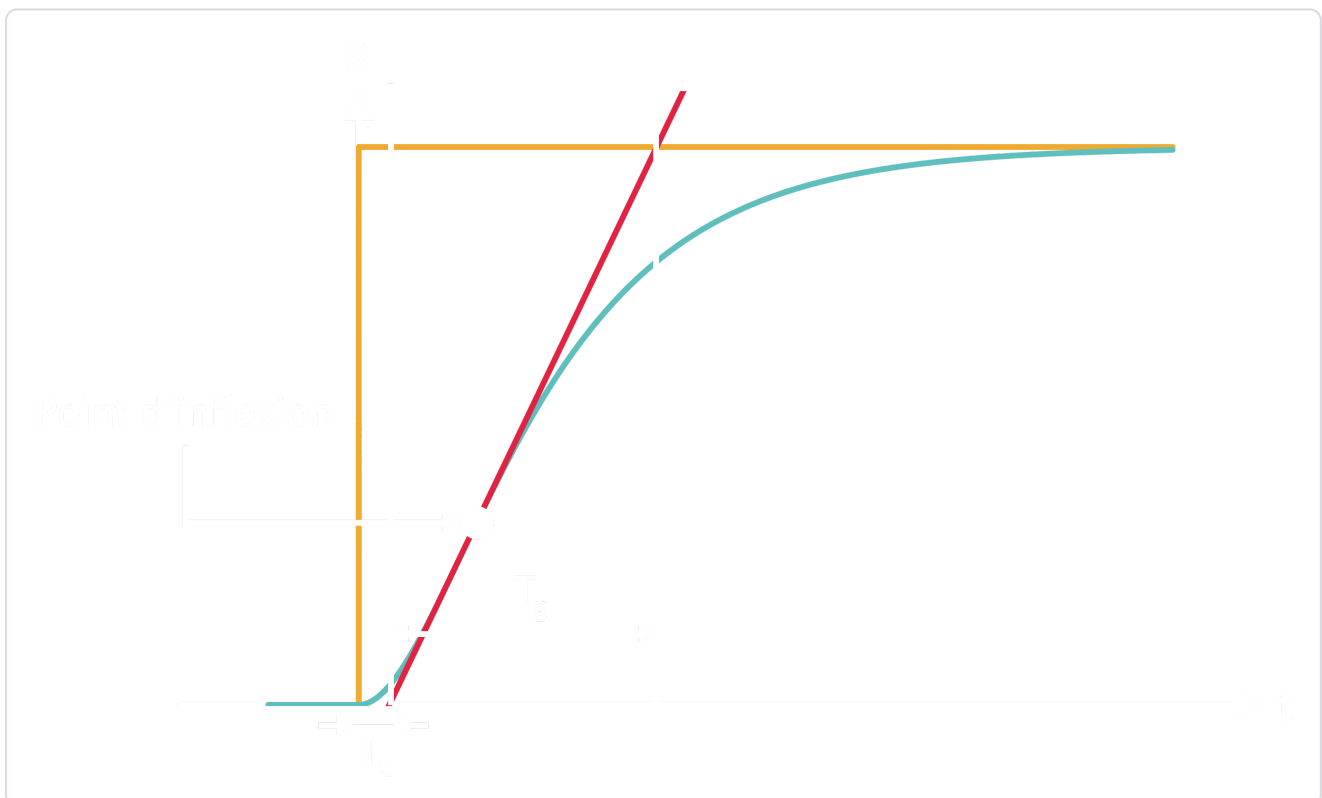
Exemple : Si nous remplaçons le filament chauffant d'un bassin d'eau par une cartouche chauffante, de masse relativement grande, nous introduisons un deuxième accumulateur d'énergie dans le système. La cartouche chauffante, avec sa masse importante, met plus de temps à chauffer et à refroidir, ajoutant ainsi un retard supplémentaire (T_1) à la réponse du système. L'eau du bassin est le second accumulateur d'énergie, dont la constante de temps (T_2) est identique au système du premier ordre (T_s). Lorsqu'une variation de puissance est appliquée, la température de l'eau ne suit pas immédiatement ; elle montre d'abord la réponse due au premier retard (T_1 , le temps nécessaire pour que la cartouche chauffante change de température), puis une adaptation plus lente liée au deuxième retard (T_2 lié à la capacité thermique de l'eau).



Retards d'ordres supérieurs

Les systèmes d'asservissement avec retard d'ordre supérieur se caractérisent par la présence de multiples accumulateurs d'énergie, ce qui introduit des dynamiques encore plus complexes que celles observées dans les systèmes du premier et du deuxième ordre. Dans ces systèmes, le comportement global est influencé par plusieurs retards qui interagissent entre eux, rendant la modélisation et le contrôle plus délicats. Plutôt que de chercher à déterminer l'ensemble des retards, on utilise deux grandeurs de remplacement : le temps mort T_u et le temps de compensation T_g . Le système de régulation choisi dépendra de ces paramètres (voir chapitre suivant).

- Le *gain* K_s dans un système d'ordre supérieur détermine, comme dans les cas précédents, l'amplitude de la réponse du système à une entrée donnée. Un *gain* K_s élevé signifie que le système est très sensible aux variations externes, ce qui peut être à la fois un avantage et un inconvénient, selon la stabilité et la précision requises.
- Le *temps mort* T_u représente un délai fixe pendant lequel (presque) aucune réponse du système n'est observée après une variation d'entrée. Ce temps mort est dû à des processus physiques inévitables qui prennent du temps avant de commencer à affecter la sortie du système (accumulation de chaleur par exemple).
- Le *temps de compensation* T_g est une mesure du temps nécessaire pour que la réponse du système commence à compenser le changement de consigne. Une fois les variations du système visibles, le temps de compensation est caractéristique de la vitesse de variation.



CHAPITRE 4

Régulation

Ce chapitre explore les différents types de régulateurs et de régulations, en mettant l'accent sur leur fonctionnement, leurs avantages, inconvénients, et les aspects mathématiques sous-jacents.

Types de régulateurs

Régulateur à deux plages

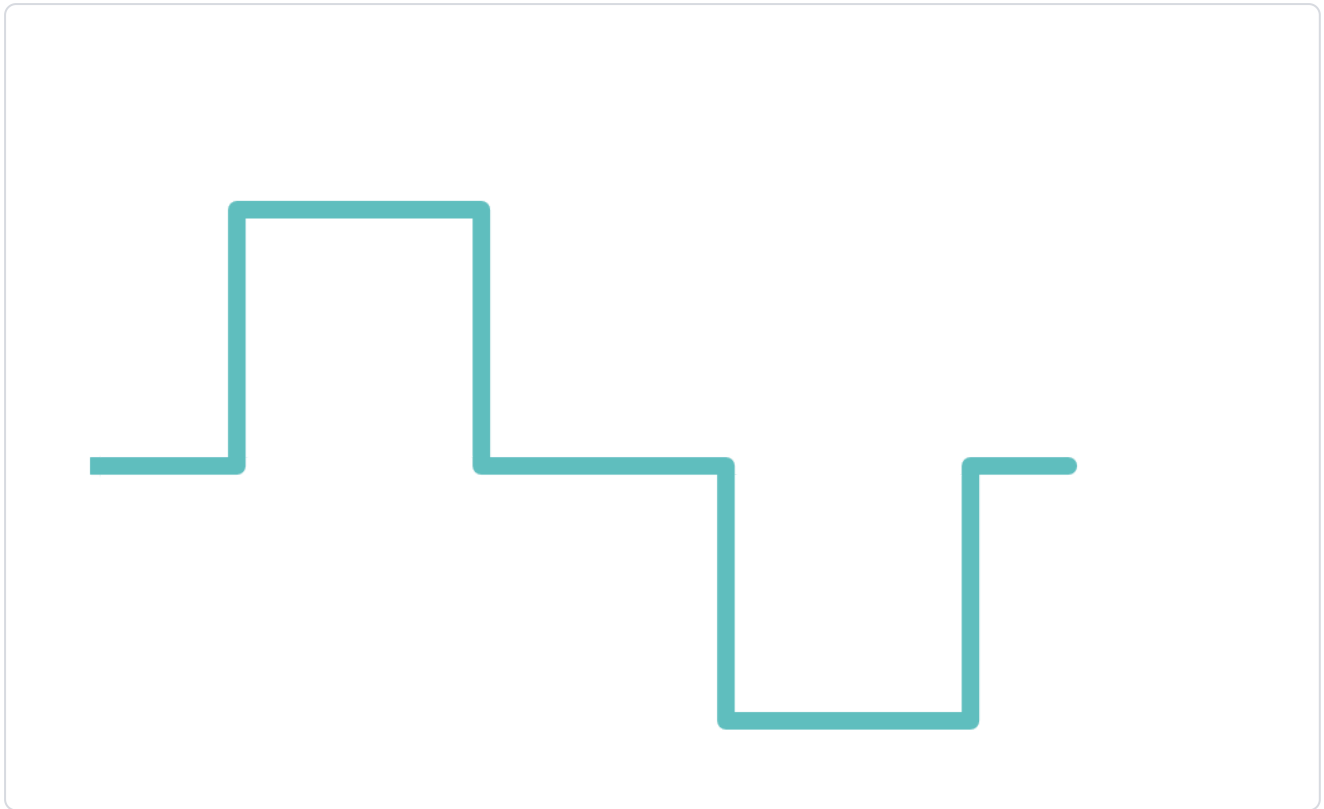
Le *régulateur à deux plages* fonctionne selon deux états : actif ou inactif. La sortie est donc soit à 100% soit à 0% de puissance. Il est souvent utilisé pour des applications simples comme le chauffage.

Pour moduler la puissance, on travaille en modulation de largeur d'impulsion (PWM).



Régulateur à trois plages

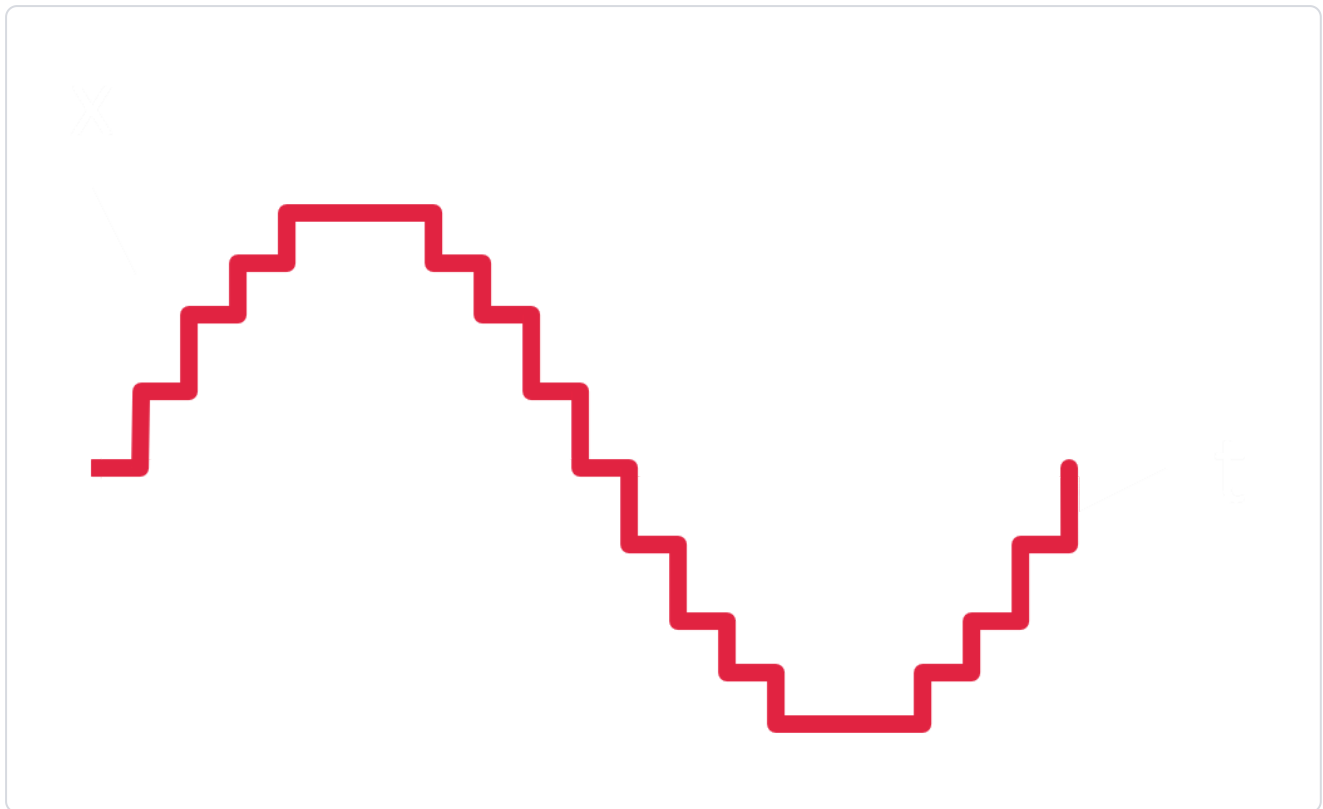
Le *régulateur à trois plages* ajoute une seconde sortie au fonctionnement binaire du régulateur à deux plages. Par exemple, une régulation de température ayant d'un côté un chauffage et de l'autre une climatisation. Les deux canaux peuvent soit être actif, soit inactif. La puissance délivrée peut donc être de -100%, 0% ou 100%. Comme pour le régulateur à deux plage, la modulation de puissance se fait via la largeur d'impulsion (PWM).



Régulateurs pas à pas

Les *régulateurs pas à pas* (ou positionneur) ajustent la sortie par incréments fixes, permettant une approximation de la sortie continue en escalier. Ils sont utiles dans les systèmes où la précision n'est pas critique, mais où une certaine gradation de la réponse est nécessaire.

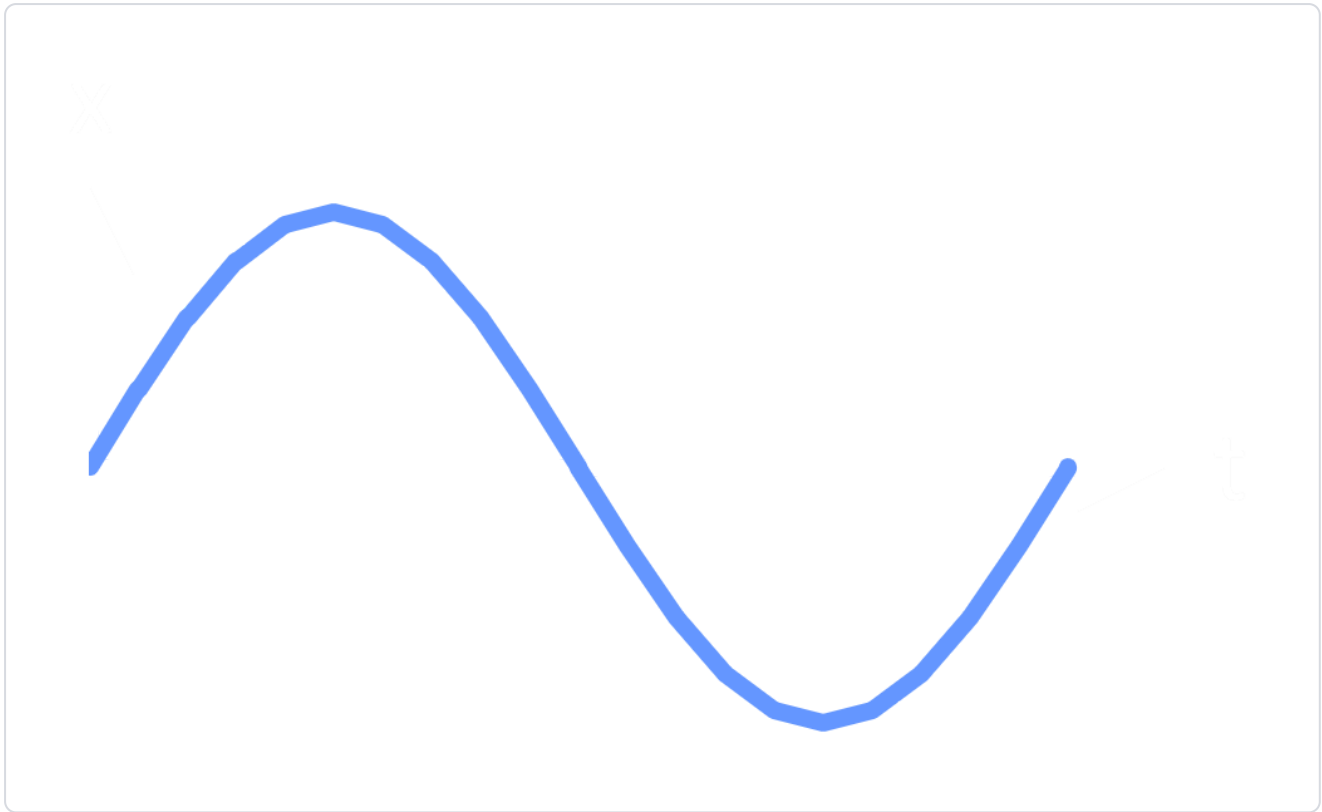
La puissance peut varier de 0% à 100% (ou de -100% à 100%) en un nombre limité de niveau intermédiaire, dépendant des caractéristiques du régulateur. Par exemple, on pourrait avoir 0%, 5%, 10%, ..., 90%, 95% et 100%.



Régulateurs à sortie continue

Les *régulateurs à sortie continue* fournissent une réponse variable en continu, permettant un contrôle précis de la grandeur régulée. Ils sont essentiels dans les systèmes où de petites variations peuvent avoir de grands impacts.

La puissance délivrée peut prendre n'importe quelle valeur entre 0% et 100% (ou -100% à 100%).



Choix du type de régulation

Le choix du type de régulation est crucial pour l'efficacité et la performance d'un système. Il dépend de plusieurs facteurs, dont le rapport entre le temps de compensation (T_g) et le temps mort (T_u). Ce rapport indique la rapidité de la réponse du système par rapport à la vitesse à laquelle le système peut changer. Selon la valeur de T_g/T_u , différents types de régulation sont recommandés pour optimiser la performance du système.

Régulation Tout ou Rien

Si T_g/T_u est supérieur à 20, la régulation *Tout ou Rien* est généralement la meilleure option. Ce type de régulation est simple et efficace pour les systèmes où une réponse rapide et catégorique est souhaitable, sans nécessité d'une grande précision.

Régulation P (Proportionnelle)

Lorsque T_g/T_u est compris entre 10 et 20, une régulation *P* (Proportionnelle) est appropriée. Ce type de régulation ajuste la sortie proportionnellement à l'erreur actuelle, offrant un équilibre entre simplicité et précision pour des systèmes avec une dynamique modérément rapide.

Régulation PI (Proportionnelle-Intégrale)

Pour un rapport T_g/T_u compris entre 5 et 10, la régulation *PI* (Proportionnelle-Intégrale) est recommandée. En ajoutant une action intégrale à la régulation proportionnelle, ce type de régulation permet de corriger les erreurs statiques et d'améliorer la précision du système.

Régulation PID (Proportionnelle-Intégrale-Dérivée)

Si le rapport T_g/T_u se situe entre 2 et 5, une régulation *PID* (Proportionnelle-Intégrale-Dérivée) est conseillée. En combinant les actions proportionnelle, intégrale et dérivée, la régulation PID offre une réponse hautement adaptable et précise, idéale pour des systèmes avec des dynamiques plus complexes.

Régulation multi boucles

Enfin, si T_g/T_u est inférieur à 2, une régulation *multi boucles* est souvent la meilleure solution. Ce type de régulation utilise plusieurs boucles de régulation pour gérer différentes parties du système, permettant une précision et une stabilité accrues dans des systèmes hautement dynamiques ou avec plusieurs variables à contrôler.

Le choix du type de régulation doit être fait avec soin, en tenant compte non seulement du rapport T_g/T_u , mais aussi des spécificités du système, de l'environnement d'opération, et des objectifs de performance.

Fin du syllabus en l'état actuel. La suite n'est pas relue !

Régulation Tout ou Rien

Fonctionnement simple et avec hystérésis

La régulation *Tout ou Rien* est la plus simple, activant ou désactivant la sortie sans état intermédiaire. Si la valeur mesurée est inférieure à la consigne, le système active la sortie à 100%. Une fois que la valeur mesurée repasse au dessus de la consigne, le système se coupe.

L'hystérésis peut être ajouté pour éviter les oscillations autour du point de consigne, définissant deux seuils pour l'activation et la désactivation. Le système s'enclenche lorsque la valeur repasse sous la consigne inférieure et se coupe une fois la limite supérieure dépassée. Cela permet de limiter le nombre d'allumage et de coupure du système, en lui donnant une certaine inertie.

Avantages et inconvénients

L'avantage principal de cette régulation est sa simplicité (entraînant généralement un faible coût). Toutefois, elle provoque une oscillation importante et permanente du système, créant un bruit de fond et une relative instabilité. L'ajout de l'hystérésis permet de réduire le nombre d'oscillations, mais ne les enlève pas.

Cette régulation est très dépendante des paramètres fixes du système et doit être ajustée pour leur correspondre. Si la consigne s'écarte trop de son optimum, l'instabilité augmente fortement et rend le système globalement peu fiable.

Si le temps de réponse du système est asymétrique entre la montée et la descente, cela introduit un comportement erroné du système. La valeur mesurée moyenne se déplace vers le haut si la descente est lente, ou vers le bas si elle est trop rapide. Ce décalage de la valeur moyenne avec la valeur de déclenchement (consigne) est une erreur statique.

PWM (Modulation de Largeur d'Impulsion)

Fonctionnement

La *PWM* contrôle la puissance fournie à un système en modulant la largeur des impulsions d'une onde carrée, permettant un contrôle fin de la sortie.

Avantages et inconvénients

La PWM est efficace et précise, mais peut introduire du bruit dans certains systèmes.

Correcteur proportionnel

Bande proportionnelle et fonctionnement

Le correcteur proportionnel ajuste la sortie proportionnellement à l'erreur. La *bande proportionnelle* détermine la sensibilité de la réponse.

Avantages et inconvénients

Bien qu'offrant un contrôle simple et direct, il peut laisser une erreur statique et peut ne pas être suffisant pour des systèmes complexes.

Correcteur Intégral

Fonctionnement

Le correcteur intégral accumule l'erreur au fil du temps, permettant de corriger les erreurs statiques.

Avantages et inconvénients

Il garantit l'élimination de l'erreur statique mais peut introduire une instabilité si mal réglé.

Correcteur dérivé

Fonctionnement

Le correcteur dérivé réagit aux variations de l'erreur, anticipant les changements futurs.

Avantages et inconvénients

Il améliore la réactivité du système mais est sensible au bruit.

Régulateur PID

Fonctionnement

Le *régulateur PID* combine les actions proportionnelle, intégrale, et dérivée pour un contrôle précis et adaptable. Il est largement utilisé en raison de sa capacité à gérer une grande variété de systèmes avec une seule structure de régulation.

Ce chapitre a abordé les fondamentaux des différents types de régulation et régulateurs, en soulignant leurs principes de fonctionnement, avantages, inconvénients, et les aspects mathématiques clés. La compréhension de ces éléments est cruciale pour la conception et l'optimisation des systèmes de régulation dans diverses applications.