



# Régulation et asservissement - Première partie : Différences, types d'applications, aspect théorique

publié le 24/01/2021

## Analyse d'une régulation de température et structures de base des asservissements

### Descriptif :

A partir d'un exemple de régulation classique de température et de diverses simulations d'asservissements, découverte des limites classiques de la régulation et des caractéristiques supplémentaires des asservissements qu'il faut maîtriser au niveau bac : temps de réponse, précision et stabilité.

### Sommaire :

- Position du problème
- Régulation vs Asservissement
- Analyse du fonctionnement d'une régulation
- Théorie des systèmes linéaires et systèmes bouclés
- Documents ressources liés à cet article

Avant dernier volet d'une série de 7 articles amenant à maîtriser la modélisation de composants de la chaîne d'énergie et de la chaîne d'information dans le but d'effectuer la simulation d'un asservissement numérique de position la plus précise possible afin que le comportement réel soit totalement prévisible.

### ● Position du problème

La réalisation et la mise au point d'une maquette ou d'un prototype soulève de nombreux problèmes dès qu'il apparaît nécessaire de fixer très précisément, soit une vitesse, soit une position en fonction d'une consigne. La solution est, généralement, d'utiliser la technique des asservissements. Cette technique, à elle seule, demandait, il y a quelques années, la maîtrise totale de la théorie des systèmes bouclés (*systèmes asservis, niveau bac+2*). De nos jours, les outils de simulation permettent d'éviter ces calculs et méthodes complexes et de fortement diminuer la durée de la phase de mise au point. En effet, la mise au point de la maquette peut devenir un véritable casse-tête si l'on fait l'impasse sur la phase "simulation de l'ensemble du système bouclé", traitement numérique compris. La simulation multi-physique prend alors ici tout son rôle en facilitant les tests et les réglages nécessaires afin de garantir, autour du point de fonctionnement, la précision et la stabilité. Le transfert de ces résultats sur le prototype réel en sera grandement simplifié et la casse évitée...

La théorie et la réalisation d'asservissements en 2 grandes parties

- Première partie / cet article  
Le but de cet article est d'apporter le recul suffisant permettant de comprendre les principales différences entre une régulation et un asservissement et d'amener, tout en restant rigoureusement au niveau bac, les bases des asservissements (*structures, propriétés et vocabulaire associé*).
- Seconde partie / l'article suivant  
Le but de l'article suivant : [Régulation et asservissement - Seconde partie : Démarche, analyse et exemples](#) sera d'apporter le recul suffisant pour comprendre la structure, le fonctionnement et les techniques de réglages des asservissements, tout en restant rigoureusement au niveau bac, ce qu'autorise justement SinusPhy car il

ne fait nullement apparaître les divers outils mathématiques utilisés en post-bac.

L'approche utilisée, de type expérimental, sera découpée en deux grandes phases.

La première phase, que nous nommerons "analyse de l'existant/modélisation" devra être traitée avec la plus grande rigueur afin de coller au plus près au réel et testée seule afin de vérifier les caractéristiques (*constantes de temps, valeurs extrêmes...*).

La seconde phase, appelée "simulation/réglages" sera réalisée sur le système bouclé. L'analyse de ces deux phases sera l'occasion de montrer aux élèves de terminale la démarche à suivre et les points essentiels à connaître.

Quelques exemples d'asservissements de vitesse et position sur un système réel permettront de voir et tester plusieurs solutions.

Dans cet article :

1. **Régulation vs asservissement** : Communément, dans la littérature, la différence entre régulation et asservissement se fait par la nature de la consigne. Nous analyserons cette répartition basée sur cet unique critère en nous appuyant sur quelques exemples classiques.
2. **Analyse du fonctionnement d'une régulation** : L'analyse des résultats de simulations obtenus lors d'une régulation classique de température d'un local, permettra, dans un premier temps, de préciser les différences importantes existant entre régulations et asservissements. La simulation de différentes perturbations et l'étude du fonctionnement du comparateur démontreront les limites classiques d'une régulation et serviront à énoncer les caractéristiques supplémentaires que doivent posséder les asservissements.
3. **Théorie des systèmes linéaires et systèmes bouclés** : Un rappel sur la théorie des systèmes linéaires bouclés, limitée strictement au niveau bac et adaptée directement aux besoins, permettra d'amener les lois de base et de décrire la structure générale des systèmes bouclés. Cela montrera clairement quelles conditions satisfaire pour réaliser un asservissement performant et l'intérêt d'ajouter un élément particulier appelé amplificateur/correcteur au cœur du système bouclé.

Dans l'article suivant : [Régulation et asservissement - Seconde partie : Démarche, analyse et exemples](#) :

1. **Méthode d'analyse à partir d'une chaîne d'énergie existante** :
  1. Pour réaliser rapidement le schéma de simulation et simuler l'asservissement de la manière la plus réaliste possible, la modélisation ACAUSALE de la chaîne d'énergie devra être utilisée telle quelle (*voir les articles précédents pour définir, tester et mettre au point les modèles de la façon la plus exacte possible*) ;
  2. Pour pouvoir appliquer, au niveau bac, la théorie des systèmes linéaires bouclés, il suffira de l'assimiler, dans un premier temps, (*au point de fonctionnement nominal ou, sinon, à vide*) à une fonction linéaire, c'est à dire à un unique coefficient d'amplification dont l'ordre de grandeur sera estimé très facilement. La connaissance de ce simple coefficient permettra de déduire l'ordre de grandeur de l'amplification supplémentaire théorique que devrait apporter le correcteur pour obtenir la précision requise selon le cahier des charges ;
  3. Pour mettre au point l'asservissement et le régler afin qu'il respecte tous les critères du cahier des charges, une méthode simplifiée, basée sur un exemple, avec l'analyse des résultats obtenus, sera proposée ;  
⇒ Avec cette approche, s'appuyant sur 1) **une modélisation ACAUSALE au plus près de l'existant**, 2) **la prédétermination du coefficient théorique de l'amplification supplémentaire** et 3) **une méthode de mise au point simplifiée**, il sera aisé de rendre, dans un premier temps, l'asservissement stable puis d'améliorer sensiblement ses performances en répétant la démarche "simulation⇒analyse⇒réglage". Les valeurs optimales des coefficients du correcteur PID pourront être alors utilisées telles quelles sur la maquette réelle.
2. **Exemples d'application** : Plusieurs exemples permettront de voir comment sont construits les

asservissements et comment intervenir sur les différentes propriétés abordées (*temps de réponse, gain en boucle ouverte, précision et stabilité*) : ( $\alpha$ ) un asservissement de vitesse purement théorique, ( $\beta$ ) des solutions constructives pour réaliser des asservissements de vitesse, ( $\gamma$ ) un asservissement de position totalement analogique et, enfin, ( $\delta$ ) une version avec traitement numérique (*en langage python*), du même asservissement de position, parfaitement implantable dans un microcontrôleur actuel disposant, entre autres, d'une entrée, généralement analogique (*CAN ou ADC*), pour le capteur de position et d'une sortie "analogique" (*MLI ou PWM*), adaptée pour la commande d'une chaîne d'énergie.

## ● Régulation vs Asservissement

Communément, dans la littérature, la différence entre régulation et asservissement se fait par la nature de la consigne et nous allons voir ce que cela implique et ce qu'il convient de préciser :

### ● Régulation :

(a) La consigne est constante, (b) Le système compense les perturbations (*exemples types : le maintien de la température d'une enceinte -four ou local d'habitation- ou le maintien de la vitesse d'une automobile -fonction "régulateur de vitesse"-*);

Cela implique que :

(a) Le temps de réponse ne sera généralement pas abordé, d'autant plus que celui-ci est principalement lié à la puissance maximale disponible, définie par ailleurs sur d'autres critères (*exemples : (1) la puissance de chauffage nécessaire et suffisante pour maintenir le local à 20 °C avec une température extérieure allant jusqu'à -5 °C ou (2) la puissance du moteur suffisante pour pouvoir garantir qu'en conditions normales, la vitesse du véhicule puisse atteindre facilement les 130 km/h...*) ;

(b) Les perturbations varieront, généralement, peu, lentement et toujours dans le même sens comme c'est généralement le cas pour les deux exemples cités -une température extérieure toujours inférieure à la température voulue, en période de chauffage-, -une résistance au roulement due aux frottements et au déplacement de l'air-.

### ● Asservissement :

(a) La consigne est variable dans le temps, (b) La sortie doit suivre en permanence la consigne quelque soient les perturbations (*exemples types : pilotes automatiques, domaine de la robotique, drones, systèmes de poursuite...*),

Il faut alors comprendre que :

(a) Le temps de réponse est un critère essentiel (*généralement très largement inférieur à la seconde*) ;

(b) Les perturbations peuvent être brusques et de signe quelconque (*chocs, efforts, charges ou géométries variables...*), ce qui demandera au système d'être toujours stable, c'est à dire, avoir la capacité de maintenir, dans tous les cas, la valeur de la sortie égale à la consigne avec la précision nécessaire. Le dimensionnement de la chaîne d'énergie sera un critère important et une mise au point fine sera nécessaire.

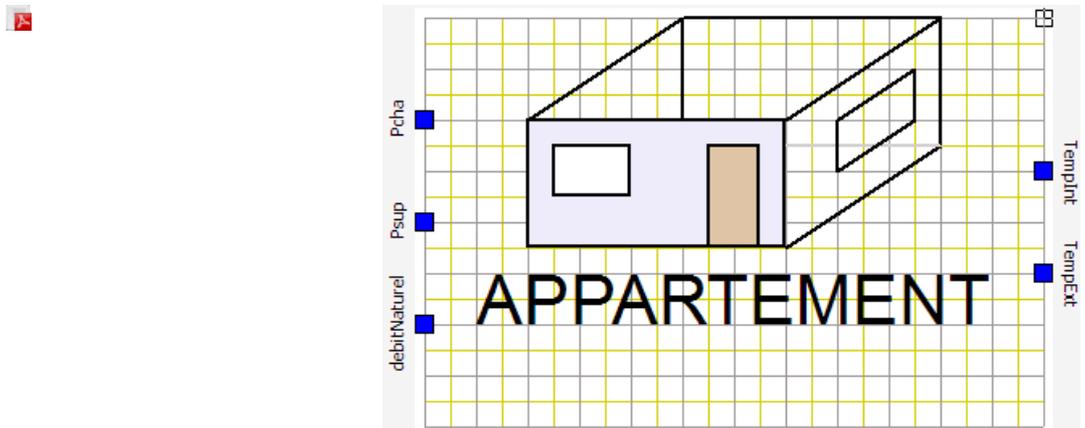
## ● Analyse du fonctionnement d'une régulation

Pour visualiser plusieurs phénomènes, deux variantes d'une régulation de température vont être simulées :

- **Un studio** (35m<sup>2</sup>) chauffé par un convecteur électrique dont la particularité est l'absence d'inertie ;
- **Un appartement** (72m<sup>2</sup>) dont la température est gérée par un chauffage central à eau chaude dont l'inertie est évidente.

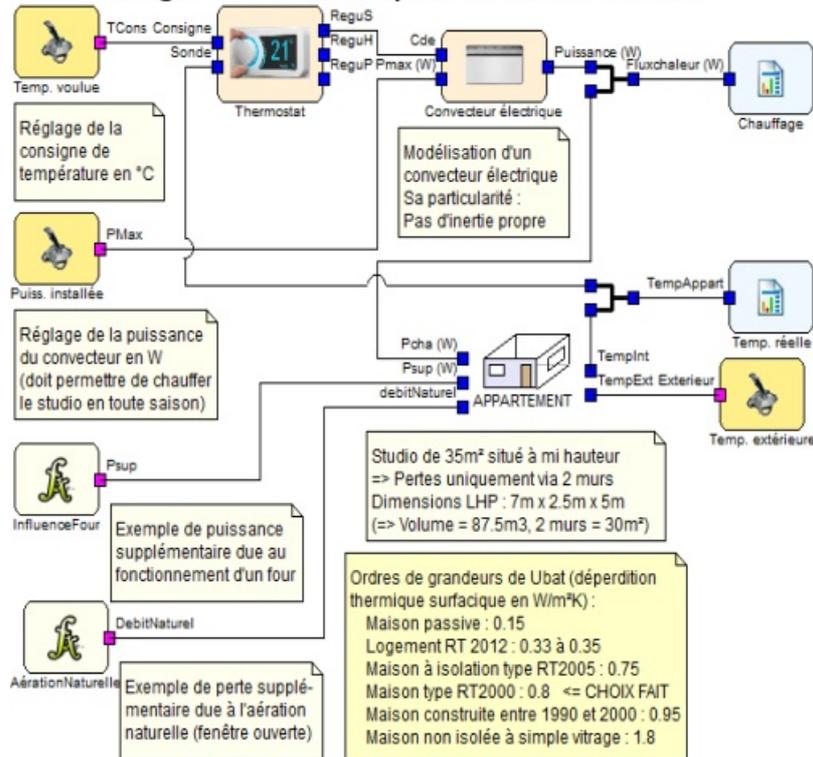
Ces 2 simulations vont utiliser, pour cela, le nouveau composant paramétrable APPARTEMENT, conçu à partir d'une méthode d'évaluation des déperditions thermiques standard (*Ubât*) décrite dans le document pdf joint à cet article. L'inertie thermique intégrée au modèle (*système du 1<sup>er</sup> ordre*) tient compte des caractéristiques de l'air (*masse volumique de l'air et constante thermique massique*). Les 2 entrées Psup (*échauffement supplémentaire*) et debitNaturel (*refroidissement brusque*) permettront d'ajouter des perturbations.

Comme tout modèle, il aura ses limites (*la température est considérée homogène, il n'y a pas de mouvements de l'air...*)



exempledecalsimpledesperditionthermiquesdunbatiement (PDF de 64.1 ko)

## Régulation de température d'un studio



Le composant paramétrable APPARTEMENT prend, ici, les caractéristiques d'un studio relativement bien isolé et ventilé. Le système de chauffage est de type électrique (*un convecteur ultra basique, composé d'un simple fil résistant, et relié à un thermostat*). La durée de simulation est de 10 heures (36000 s)



**Repère 1** : Durée de la montée en température (*de l'ordre de 3600 s*) liée aux caractéristiques du studio (*dont la constante de temps est :  $t_{th} = R_{th} \times C_{th} \approx 3600$  s*), à la puissance de chauffage (1200 W), à la température de consigne (21 °C) et aux conditions météo (*Temp. extérieure = -5 °C*). A noter que la température est atteinte et maintenue sans aucun dépassement dans les conditions normales (*caractéristique classique d'un système bouclé du premier ordre*).

**Repère 2** : Ouverture des fenêtres pendant 1 heure, multipliant environ par 6 le renouvellement de l'air. La puissance de chauffage ne suffit évidemment plus ici avec le convecteur 1200 W dont le dimensionnement est

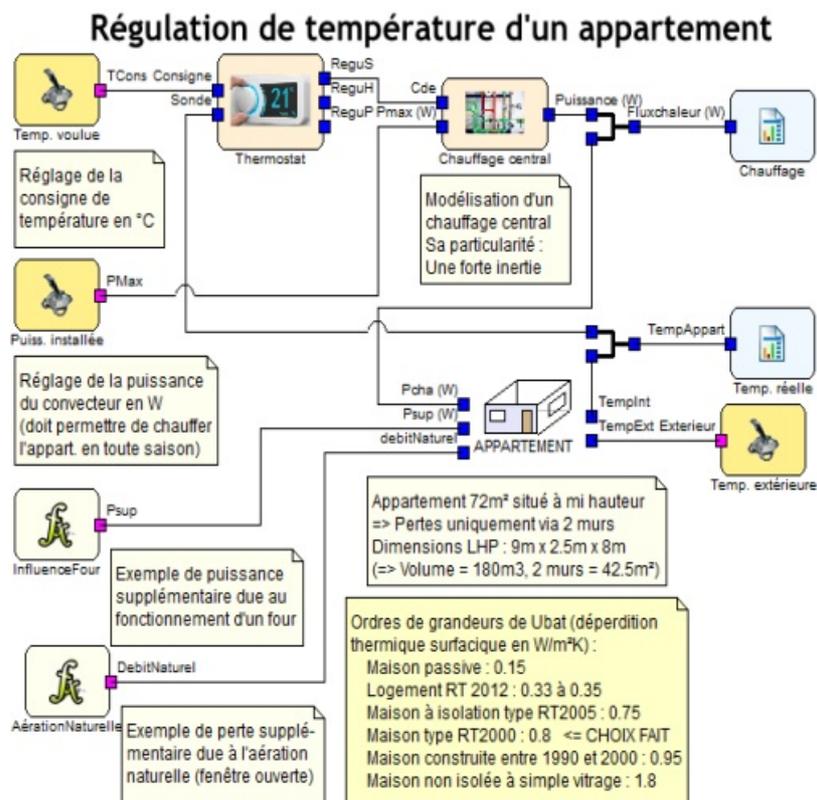
correct (voir le fichier pdf pour comprendre comment sa valeur a été déterminée). A noter que lors de l'aération du studio, le chauffage électrique devrait être coupé.

**Repère 3** : Fonctionnement du four (1000 W), la régulation de température est prise en défaut ici car, par principe, la régulation ne peut qu'augmenter la température. A noter qu'une régulation ne fait généralement qu'une partie du travail (évidemment, il faut éviter tout gaspillage inutile d'énergie à l'aide d'une climatisation, l'ouverture des fenêtres ou l'activation de la hotte aspirante répondront, si nécessaire, totalement au problème)

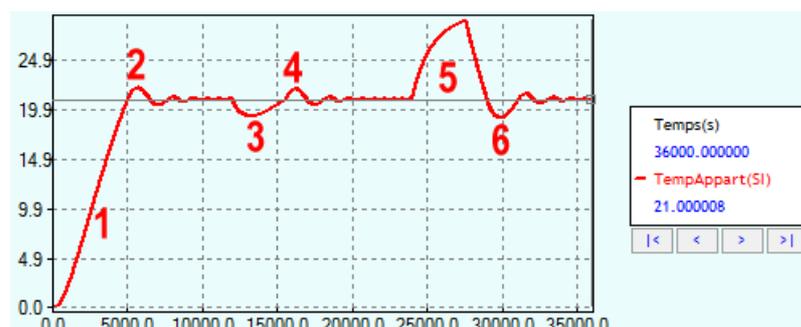
Le thermostat possède volontairement trois sorties simulant différentes solutions technologiques :

1. **Sortie ReguS** : Comparateur simple à sortie TOR (  $ReguS = \text{if}(Sonde < Consigne, on, off)$  )
2. **Sortie ReguH** : Comparateur à hystérésis (2 seuils séparés, ici, de 0.5 °C avec phénomène mémoire) à sortie TOR (  $ReguH = \text{if}(Sonde > Consigne + hysteresis/2, off, \text{if}(Sonde < Consigne - hysteresis/2, on, ReguH))$  )
3. **Sortie ReguP** : Commande proportionnelle toujours positive, variant entre 0% (off) et 100% (on) (  $ReguP = \text{clamp}(Kp * (Consigne - Sonde), off, on)$  )

Les différents essais montrent que, quelque soit le type de commande, les courbes de température sont très semblables (dans le fichier zip joint, existent les copies d'écran des différentes courbes et le fichier Sinusphy pour effectuer à volonté tous les tests).



Le composant paramétrable APPARTEMENT prend, ici, les caractéristiques d'un appartement deux fois plus grand, bien isolé et ventilé. Le système de chauffage est de type chauffage central à eau chaude. La durée de simulation est de 10 heures (36000 s)



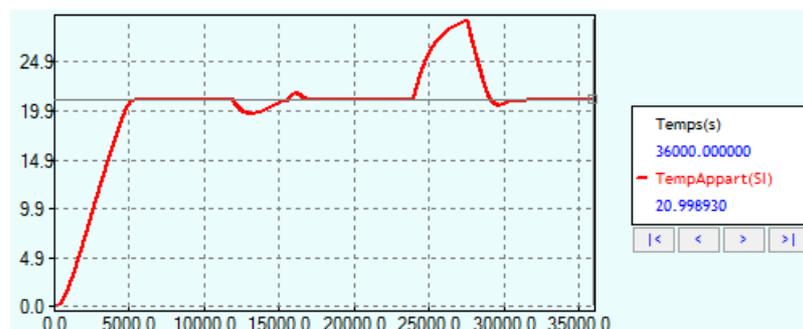
**Repère 1 :** Forme de la montée en température, différente d'une exponentielle (*présence d'un retard au démarrage*), montrant la présence d'un système du 2<sup>ème</sup> ordre car le chauffage central ajoute sa propre constante de temps (*ici  $\tau = 1200$  s*) (*tau est un paramètre interne au composant CHAUFFAGE CENTRAL et modifiable*)

**Repères 2, 4 et 6 :** Des dépassements bien visibles à chaque fois qu'une variation brusque déclenche le chauffage. Ceci montre la nécessité, du fait de l'inertie du chauffage central, d'anticiper en coupant le chauffage avant que la température voulue ne soit atteinte. A noter que ceci est intégré, depuis toujours, dans tous les thermostats, bien avant les thermostats électroniques. En effet, dans les thermostats à contact sec, lorsque le bilame fermait le contact pour activer le chauffage, il alimentait également une petite résistance ( $\approx 1/2$  watt) chargée d'élever la température interne du thermostat afin de lui permettre de couper le contact avant que la température ambiante ne soit atteinte... Nous verrons qu'une solution moins expérimentale sera utilisée dans les asservissements.

**Repère 3 :** Ouverture des fenêtres pendant 1 heure. Ce type de chauffage ne pouvant pas être coupé, il atténue fortement ici la baisse de la température qui, sinon, pourrait atteindre la température extérieure.

**Repère 5 :** Ici aussi, le fonctionnement du four (1000 W) augmente sensiblement la température s'il n'y a pas de ventilation. La régulation ne fonctionnera pas dans ce cas.

Le thermostat est ici totalement identique au précédent et les différents essais montrent également que, quelque soit le type de commande, les courbes de température sont semblables (*dans le fichier zip joint, existent les copies d'écran des courbes et le fichier Sinusphy pour effectuer à volonté tous les tests*).



Dans ce nouveau résultat de simulation, il apparaît nettement, ci-dessus, que les dépassements ont été éliminés. Cela a été obtenu avec la simulation de l'appartement de 72 m<sup>2</sup> en ajoutant dans le thermostat une simple fonction d'anticipation de l'arrêt du chauffage (*utiliser le fichier Sinusphy correspondant, disponible dans l'archive fournie, pour tester l'influence de cette correction en modifiant le paramètre noté coefKd*)

En conclusion :

- La réaction de la régulation est souvent non symétrique et incomplète (*le même phénomène se retrouve, en effet, avec le régulateur de vitesse installé sur une automobile à moteur thermique où seul le moteur est commandé et très rarement le frein*) ;
- Le système de régulation montre certaines limites dues à la puissance maximale disponible (*temps de réponse important, impossibilité de compenser une forte perturbation*) ;
- Des instabilités existent si le système comporte plus d'une constante de temps mais il est possible de les réduire, voire de les éliminer, en ajoutant un élément correctif dans la commande (*ici, en arrêtant le chauffage avant que la température n'atteigne la température de consigne*).

### ● Théorie des systèmes linéaires et systèmes bouclés

Les asservissements sont des systèmes bouclés comportant des blocs/fonctions linéaires ou assimilé(e)s.

Les fonctions à réponse linéaire sont des fonctions dont l'amplitude de la grandeur de sortie varie linéairement en fonction de l'amplitude de la grandeur d'entrée. Chaque fonction sera représentée sous la forme d'un bloc dans lequel sera noté le coefficient directeur.

Par exemple :

1. Pour un diviseur de tension (*plus généralement, un atténuateur*) ou pour un amplificateur (*les grandeurs d'entrée et de sortie sont des tensions*) :

$$U_s [V] = A [-] \cdot U_e [V]$$

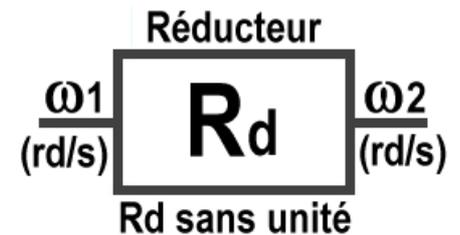
(Note : la notation [-] signifie qu'il n'y a pas d'unité associée)

### Amplificateur/Atténuateur



1. Pour un réducteur de vitesse, à engrenages, poulies-courroie ou pignons-chaîne... (*les grandeurs d'entrée et de sortie sont des vitesses de rotation*) :

$$\omega_2 [rd/s] = R_d [-] \cdot \omega_1 [rd/s]$$

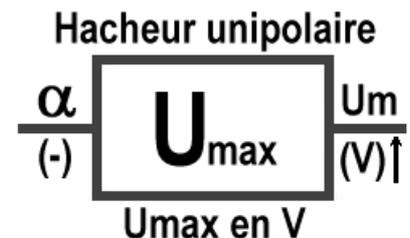


Dans le domaine de l'automatique, les grandeurs d'entrée et de sortie peuvent être différentes et le coefficient possède alors une unité.

Par exemple :

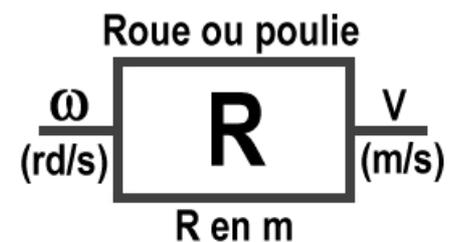
1. Pour un hacheur simple (*la grandeur d'entrée, notée alpha (alpha) est comprise en 0% et 100% (le support de l'information étant le rapport cyclique de la PWM) et n'a pas d'unité, la grandeur de sortie est une tension positive ou nulle*) :

$$U_m [V] = U_{max} [V] \cdot \alpha [-]$$



2. Pour une roue (*ou une poulie, tambour...*) (*la grandeur d'entrée est une vitesse de rotation et la grandeur de sortie est une vitesse de translation*) :

$$V [m/s] = R [m] \cdot \omega [rd/s]$$



3. Pour une génératrice tachymétrique (*ou tout autre capteur de vitesse analogique*) (*la grandeur d'entrée est une vitesse de rotation et la grandeur de sortie est une tension*) :

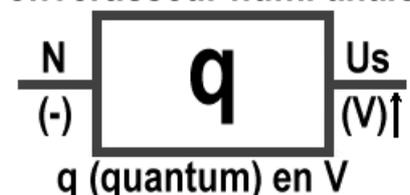
$$U_{gt} [V] = K_{gt} [V/rd/s] \cdot \omega [rd/s]$$



4. Pour un convertisseur numérique-analogique (*en abrégé CNA en français ou DAC en anglais*) (*la grandeur d'entrée est un nombre N, sans unité (si N est codé sur n bits, Nmax = 2^n - 1) et la grandeur de sortie est une tension*) :

$$U_s [V] = q [V] \cdot N [-] \text{ (avec } q = V_{ref}/2^n \text{)}$$

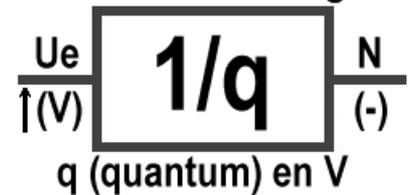
### Convertisseur num. analog.



5. Pour un convertisseur analogique-numérique (en abrégé CAN en français ou ADC en anglais) (la grandeur d'entrée est une tension et la grandeur de sortie est un nombre  $N$ , sans unité (si  $N$  est codé sur  $n$  bits,  $N_{max} = 2^n - 1$ )) :

$$N [-] = 1/q [V] \cdot U_e [V] \text{ (avec } q = V_{ref}/2^n \text{)}$$

### Convertisseur analog. num.



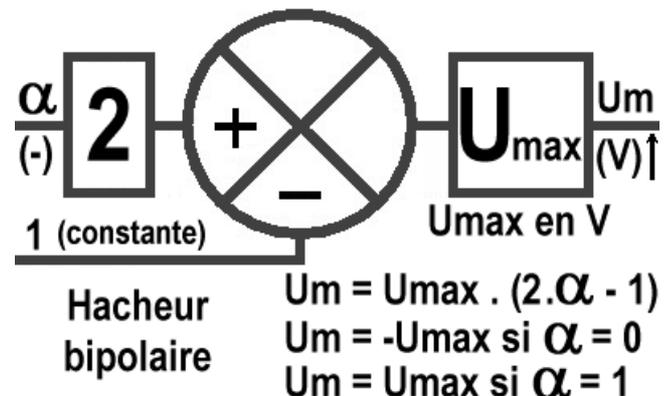
Certains éléments ne se réduisent pas à un simple coefficient. Soit, il existe un décalage d'origine (fonction affine du type  $y = a.x + b$ ), soit l'élément possède plusieurs entrées variables (typiquement :  $y = a.x1 + b.x2$ ).

Par exemple :

1. Pour un hacheur bipolaire (la tension  $U_m$  peut alors être positive ou négative, la grandeur d'entrée, notée  $\alpha$  (alpha) est sans unité et toujours comprise en 0% et 100%. Ce hacheur peut, par exemple, commander le sens et la vitesse d'un moteur en ne faisant varier que  $\alpha$  (alpha) entre 0% et 100% ( $U_m = 0$  V si  $\alpha$  (alpha) = 50%)) :

$$U_m [V] = U_{max} [V] \cdot (2 \cdot \alpha [-] - 1)$$

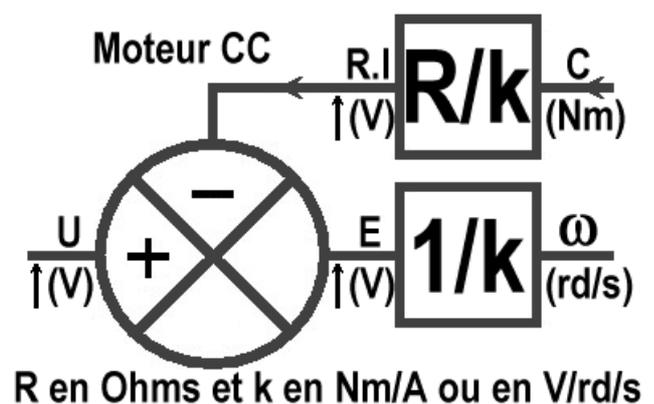
(Note : Le décalage d'origine n'est généralement pas gênant car il suffit de le compenser dans la fonction précédente, ce qui est d'autant plus facile si celle-ci (l'amplificateur/correcteur) est réalisée par programme)



2. Pour un moteur à courant continu en tenant compte de l'influence du couple (la vitesse de rotation est proportionnelle à la FEM (notée  $E$ ) interne au moteur. ( $\omega$  [rd/s] =  $1/k$  [V/rd/s] .  $E$  [V] avec  $E$  [V] =  $U_m$  [V] -  $R$  [ $\Omega$ ] .  $I$  [A] et  $I$  [A] =  $1/k$  [Nm/A] .  $C$  [Nm]) :

$$\omega$$
 [rd/s] =  $1/k$  [V/rd/s] . ( $U_m$  [V] -  $R$  [ $\Omega$ ] .  $1/k$  [Nm/A] .  $C$  [Nm])

(Note : Nous verrons, ci-après, que l'utilisation de ce modèle complexe sera inutile)



3. Le moteur à courant continu peut, en effet, être vu ainsi car  $E$  [V]  $\approx$   $U_m$  [V] lorsque le moteur est à vide ou, en analysant les courbes de petits moteurs à courant continu, il apparaît que  $E$  [V]  $\approx$   $4/5$  .  $U_m$  [V] lorsque le moteur fonctionne autour du point nominal :

$$\omega$$
 [rd/s]  $\approx$   $1/k$  [V/rd/s] .  $U_m$  [V] à vide ou bien

$$\omega$$
 [rd/s]  $\approx$   $4/5$  .  $1/k$  [V/rd/s] .  $U_m$  [V] au point nominal

Note : Nous verrons, ci-après, que les évolutions du coefficient

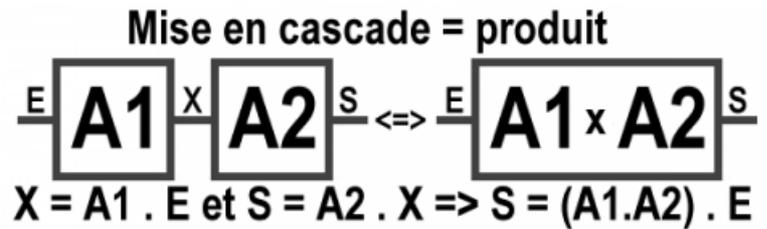
directeur, dues aux variations du couple, n'influenceront que très peu la précision de l'asservissement.

### Moteur CC partiel (R.I négligé)



Différents assemblages sont possibles : la mise en cascade, la mise en parallèle et la rétroaction.

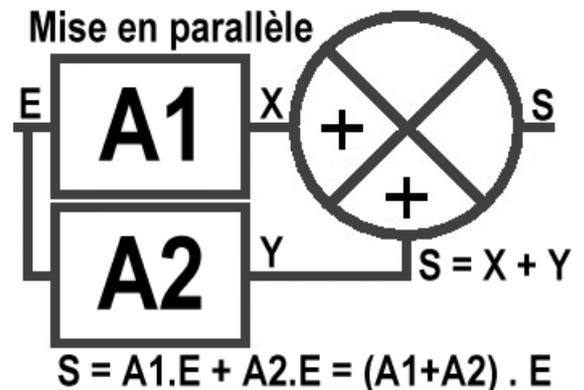
1. **La mise en cascade correspond à un produit.** Ceci sera mis en application avec la chaîne d'énergie (*hacheur -> moteur -> réducteur...*). La mise en cascade de n éléments est équivalente à un seul élément dont le coefficient est le produit des n coefficients.



Application : La chaîne d'énergie sera vue comme un unique coefficient.

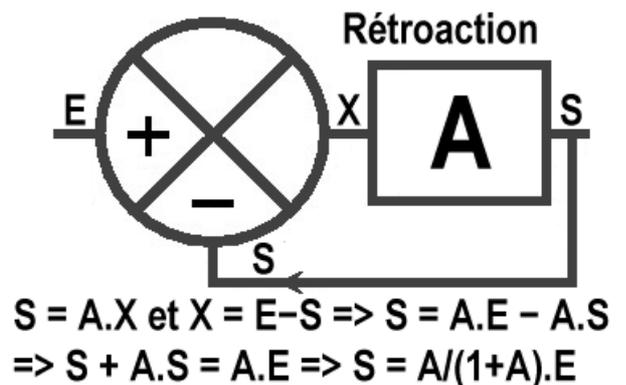
2. **La mise en parallèle correspond à une somme algébrique.** Classiquement, il est possible de mettre en parallèle jusqu'à 3 éléments. Ceci sera mis en application avec le composant correcteur qui comportera 2 ou 3 éléments en //. La mise en parallèle de n éléments est équivalente à un seul élément dont le coefficient est la somme des n coefficients.

Application : Le correcteur (*appelé correcteur PID*) est chargé de rendre l'asservissement performant. Pour optimiser le temps de réponse, la précision et la stabilité, il faudra superposer les influences de 2 ou 3 réglages.



3. **La rétroaction est à la base des systèmes bouclés et le résultat obtenu a la forme d'un quotient.** Ceci sera mis en application dans les asservissements. La valeur de la sortie S est, ici, directement comparée à la valeur de l'entrée E (*voir le signe -*) et le résultat de la rétroaction correspond à un coefficient dont l'expression est  $S / E = A / (1 + A)$  et dont la valeur reste toujours inférieure à 1.

Application : Si la précision attendue pour l'asservissement est de l'ordre de 1% (*soit l'erreur relative entre la sortie S et l'entrée E*), il faudra effectuer le nécessaire pour que la valeur de A soit toujours supérieure ou égale à 100 ( $100/(1+100) \approx 0,9901 \approx 99\%$ ). Plus généralement, la valeur de A doit être la plus grande possible pour que le quotient  $A/(1+A)$  tende vers 1, ce qui, dans l'absolu, garantira que la valeur de la sortie soit toujours égale à la valeur d'entrée.

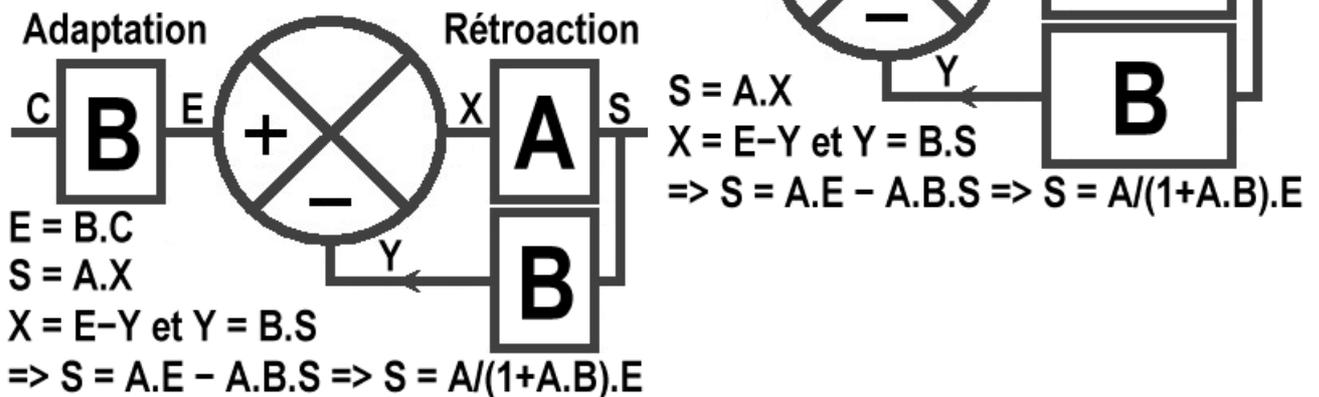


4. **Pour réaliser un asservissement, il est nécessaire d'utiliser un capteur.** En effet, la comparaison ne pourra, réellement, se faire dans le système, qu'entre, généralement, une tension ou un nombre, représentant la consigne, et une image, de même nature, de la sortie, réalisée par le capteur.

Exemple : Le capteur fournira une tension  $U_{cap} = 2,5$  V pour une vitesse réelle de 2,5 m/s.

**A** correspond à la chaîne directe (*la mise en cascade de l'amplificateur/correcteur et de la chaîne d'énergie*), **B** correspond à la chaîne de retour (*le capteur, suivi, éventuellement, d'une adaptation*). L'expression est

maintenant  $S / E = A / (1 + A \cdot B)$  et sa valeur reste toujours inférieure à  $1 / B$ .



5. Idéalement, pour être complet, la structure de l'asservissement doit être précédée par un élément supplémentaire chargé de transformer la consigne (la valeur théorique que devra suivre la sortie) en une image exploitable (généralement une tension ou un nombre)

Exemple : La consigne de 2,5 m/s sera soit transformée en une tension  $U_{cons} = 2,5$  V soit codée en un nombre entier  $N_{cons} = 250$ .

Ainsi l'expression finale est  $S / C = B \cdot (A / (1 + A \cdot B))$  ou  $S / C = (A \cdot B) / (1 + A \cdot B)$ , sa valeur restant toujours inférieure à 1.

Application : Si la précision attendue pour l'asservissement est de l'ordre de 1%, il faudra effectuer le nécessaire pour que la valeur  $(A \cdot B)$  (appelée amplification en boucle ouverte) soit toujours supérieure ou égale à 100 ( $100/(1+100) \approx 0,9901 \approx 99\%$ ). Plus généralement, l'amplification en boucle ouverte doit être la plus grande possible pour garantir que la valeur de la sortie soit toujours égale à la consigne. Ceci signifie que l'amplification en boucle fermée (qui correspond à  $S / C = (A \cdot B) / (1 + A \cdot B)$ ) tend vers 1.

Termes et notions vues au niveau bac :

- **Sortie** : la grandeur à asservir (à piloter...);
- **Consigne** : La valeur que doit suivre la sortie (souvent une image d'une consigne);
- **Comparateur** : En réalité, un soustracteur (qu'il soit analogique ou numérique);
- **Capteur** : Fournit une image de la sortie (généralement sous forme d'une tension ou d'un nombre);
- **Correcteur (ou amplificateur/correcteur)** : Améliore précision, stabilité et temps de réponse;
- **Chaîne directe** : L'amplificateur/correcteur suivi de la chaîne d'énergie;
- **Chaîne de retour** : Le capteur, éventuellement suivi de sa mise en forme;
- **Boucle fermée** : La structure d'un système bouclé, ici un asservissement (consigne -> sortie);
- **Boucle ouverte** : Configuration obtenue lorsque le rebouclage n'est pas réalisé (consigne -> sortie du capteur).

Critères à respecter pour qu'un asservissement puisse fonctionner :

- Un rebouclage toujours négatif afin d'avoir un système qui puisse se "réguler" (exemple : si, pour une raison quelconque, la sortie augmente, ne serait-ce que légèrement, le système compensera en diminuant la sortie);
- Une valeur suffisamment grande et positive pour l'amplification en boucle ouverte (si, par construction, elle était négative, il faudrait utiliser un sommateur à la place du soustracteur pour conserver un rebouclage négatif);
- Un amplificateur/correcteur (appelé correcteur PID -Proportionnel-Intégrale-Dérivée-) correctement réglé pour satisfaire aux 3 critères : meilleur temps de réponse, précision suffisante et suppression des instabilités.

#### ● Documents ressources liés à cet article

Le fichier zip associé contient le composant Sinusphy créé, les fichiers de simulation, le document ressource sur le calcul de déperdition thermique et les différents éléments graphiques utilisés.

Suite de l'étude des asservissements :

▶ [Régulation et asservissement - Seconde partie : Démarche, analyse et exemples](#)

Article précédent :

▶ [Modélisations de solutions séquentielles destinées à piloter une chaîne d'énergie](#)

Liens à placer également dans chacun des autres articles

Article précédent :

▶ [Modélisations de solutions séquentielles destinées à piloter une chaîne d'énergie](#)

Article suivant :

▶ [Régulation et asservissement - Seconde partie : Démarche, analyse et exemples](#)

Les références des autres articles sont :

Présentation : [SinusPhy : présentation, types d'utilisations avec exemples](#)

1<sup>ère</sup> partie : [Choisir un modèle de composant, le paramétrer, le valider et l'adapter aux besoins](#)

2<sup>ème</sup> partie : [Modélisation d'un composant pour reproduire au plus près le comportement réel](#)

3<sup>ème</sup> partie : [Modélisations : Analyse d'un modèle de composant et exemples de modifications pour l'adapter aux besoins](#)

4<sup>ème</sup> partie : [Modélisations de composants spécifiques de la chaîne d'information](#)

5<sup>ème</sup> partie : [Modélisations de solutions séquentielles destinées à piloter une chaîne d'énergie](#)

