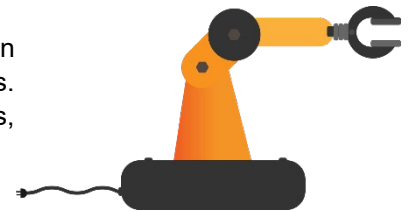


Question sociétale : Comment est-il possible d'imposer une vitesse à un véhicule avec le régulateur de vitesse et que celui-ci la maintienne constante quel que soit le profil de la route (plat ou côte), direction du vent, etc ?



Généralités

L'automatisme est la discipline qui traite de la commande des systèmes. On souhaite asservir des grandeurs physiques issues de processus technologiques. Ces grandeurs peuvent appartenir aux domaines Électriques, Mécaniques, Thermiques, Hydrauliques, Optique, Chimiques etc...



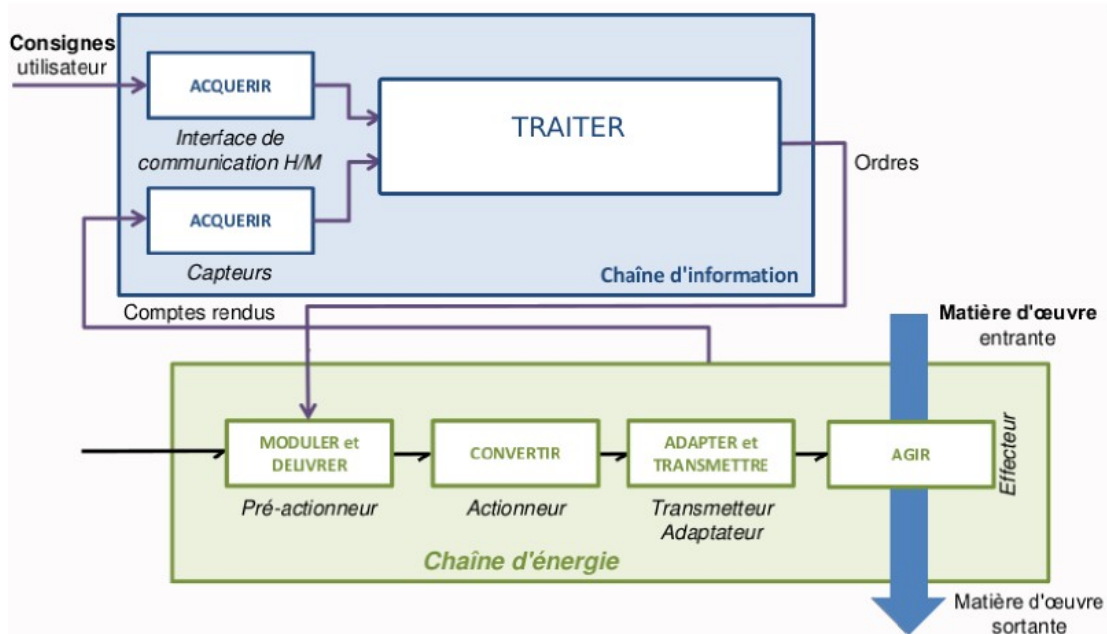
Quelle est la différence entre Réguler et Asservir ?

Asservissement : poursuite par la sortie d'une consigne variable dans le temps.
Exemple : reproduction des gestes d'un chirurgien par un robot distant.

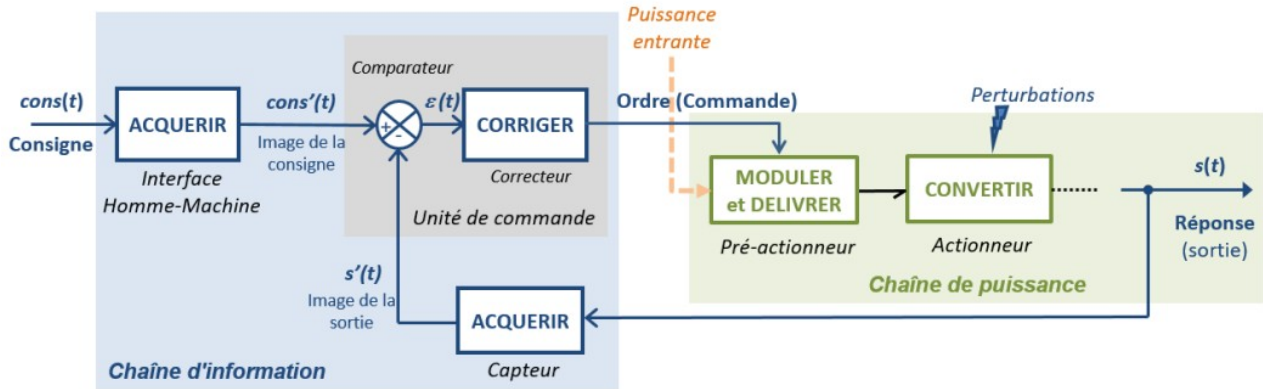
Régulation : la consigne est constante, le système compense les perturbations.
Exemple : maintenir la vitesse d'un véhicule quelles que soient les perturbations (profil de la route, vent, etc).

Chaîne d'énergie et chaîne d'information – rappel :

On se permet de rappeler l'organisation d'un système selon le formalisme « chaîne de puissance – chaîne d'information ».



Cette chaîne de puissance – chaîne d'information peut être décomposée de la manière suivante afin de faire apparaître la structure propre à une régulation ou asservissement.



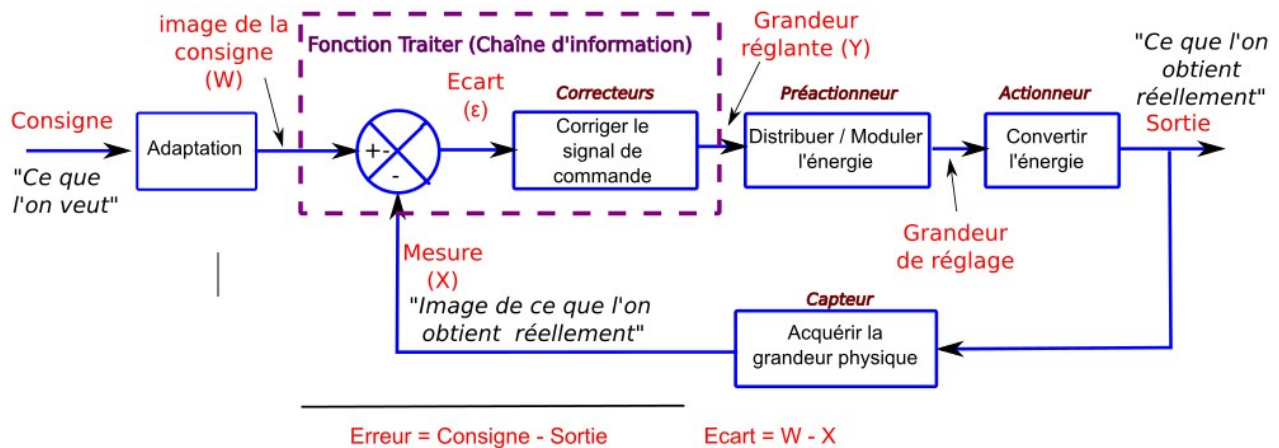
Le focus doit être mis sur l'« unité de commande » qui va assurer les fonctions fondamentales suivantes :

- **Comparer** les informations (d'ordre électrique en général) images de la consigne et de la sortie (Dans le cas d'une régulation de vitesse de véhicule, il s'agirait ici de l'image de la consigne en vitesse et de l'image de la vitesse réellement atteinte par le véhicule)
- **Corriger** en modifiant l'ordre de commande à la chaîne de puissance pour faire en sorte que la sortie (la vitesse) tende vers la consigne de vitesse imposée par le conducteur.

Schéma fonctionnel type d'une boucle de régulation

Dans un système en boucle fermée, on trouve les éléments suivants :

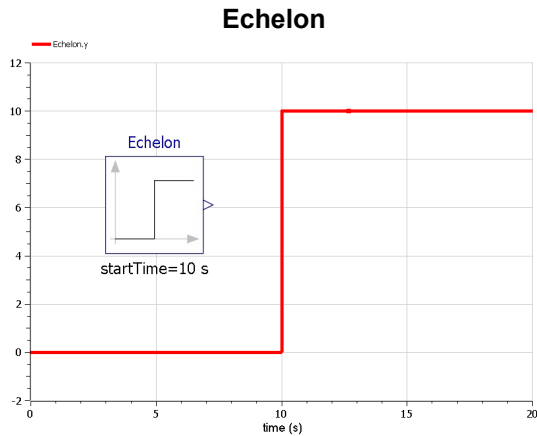
- un capteur pour mesurer la sortie ;
- un comparateur qui élabore l'erreur entre la consigne et la mesure de la sortie ;
- un correcteur qui élabore la commande en fonction du signal d'erreur ;
- un organe de commande qui module l'énergie envoyée au système.



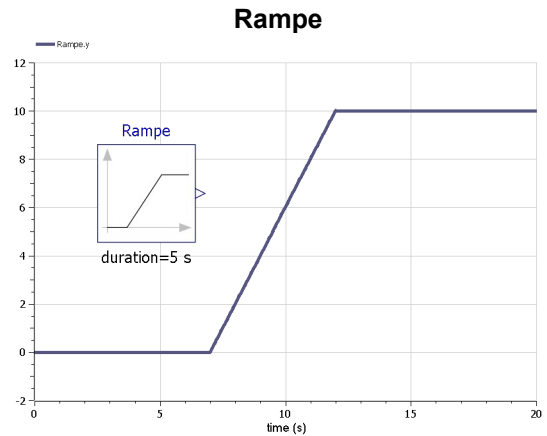
Réponse d'un système asservi

La **réponse d'un système asservi** dépend du signal d'entrée et les performances sont généralement évaluées à partir d'une entrée constante, appelée **consigne**.

La consigne peut être de différente nature :



Exemples : interrupteur, bouton poussoir...



Exemples : potentiomètre, joysticks....

Nous utiliserons principalement la consigne Echelon

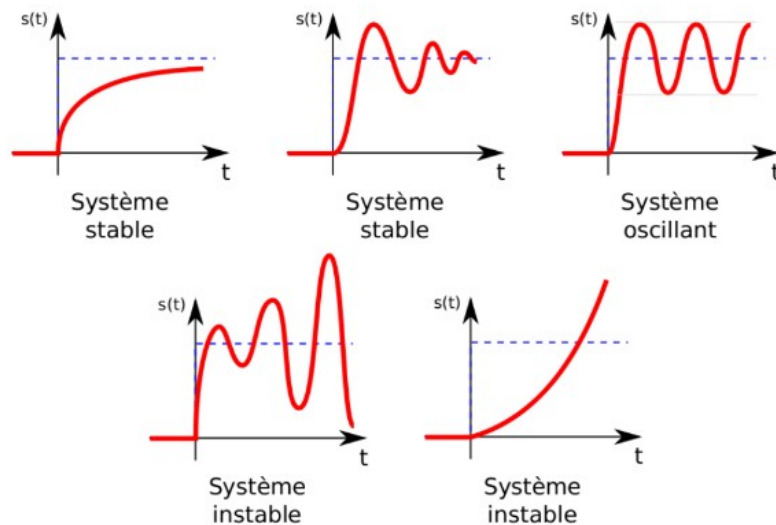
Comment caractériser les performances d'un système asservi ou régulé ?

Un système asservi est caractérisé par :

- sa **précision** ;
- sa **rapidité** ;
- sa **stabilité**.

Pour un système donné, il faudra trouver le bon compromis entre les 3 critères !

Avant d'évoquer la **rapidité** et la **précision**, il faut dans un premier temps d'assurer que le système est **stable** (les exemples ci-dessous illustrent la réponse d'un système à l'échelon).



La précision :

C'est la capacité du système à se rapprocher le plus possible de la valeur de consigne.

La précision est caractérisée par l'écart $\epsilon = W - X$ nommé « Ecart statique » que l'on peut s'exprimer en pourcentage : $\epsilon(\%) = \frac{W - X}{W}$

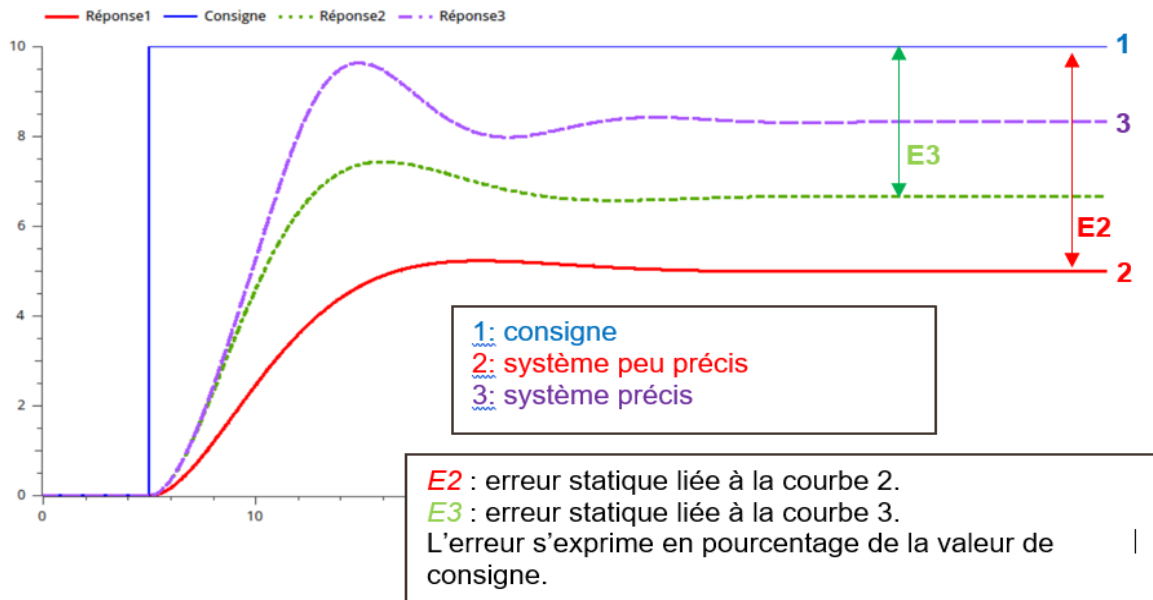
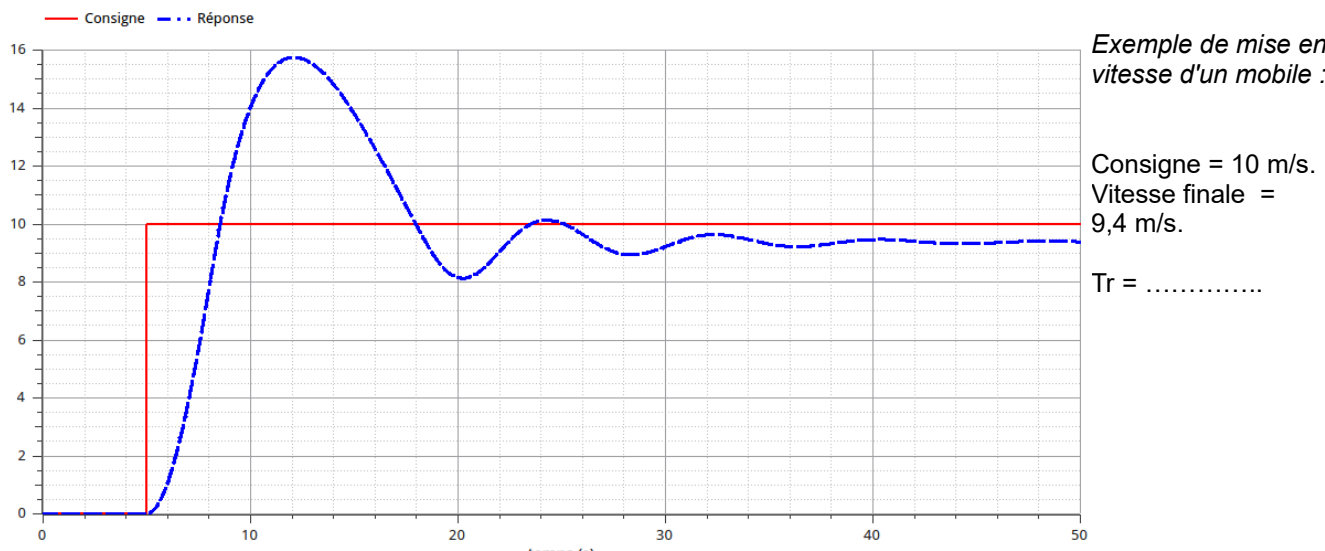


figure 1

La rapidité :

C'est la capacité du système à atteindre dans les meilleurs délais son régime stable. La rapidité d'un système est définie par son temps de réponse t_r (plus t_r est petit plus le système est dit rapide).

Pour trouver le temps de réponse « t_r » on trace la zone des 5 % autour de la **valeur finale atteinte**, soit une droite à $1,05 \cdot V_f$ et une autre droite à $0,95 \cdot V_f$.



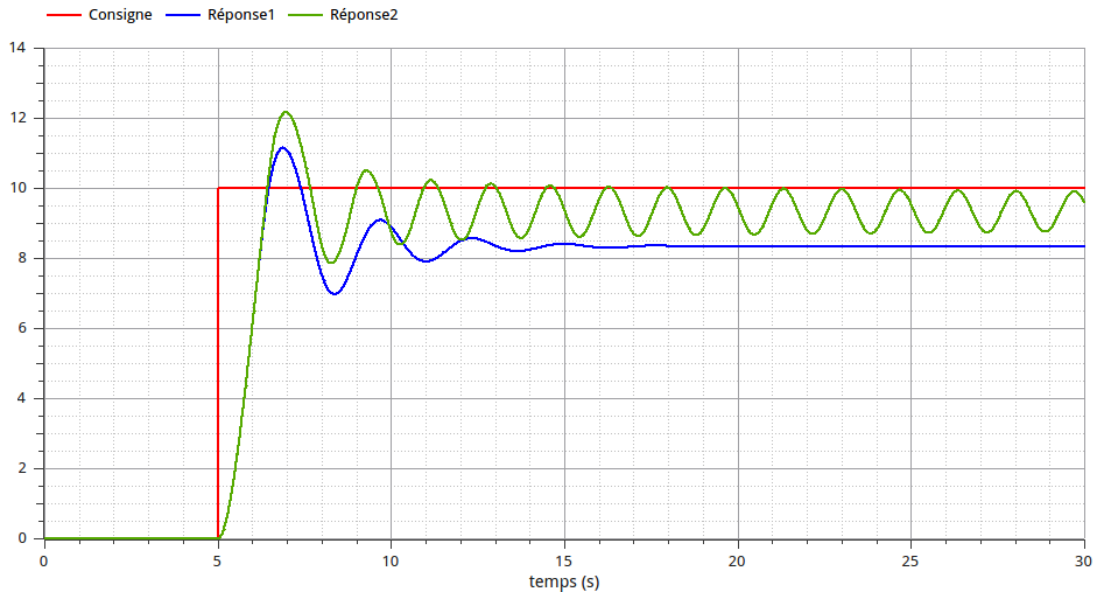
En vous appuyant sur les réponses données figure 1, **préciser** laquelle des réponses est la plus rapide.

La stabilité :

Pour une consigne constante la sortie doit tendre vers une réponse stable.

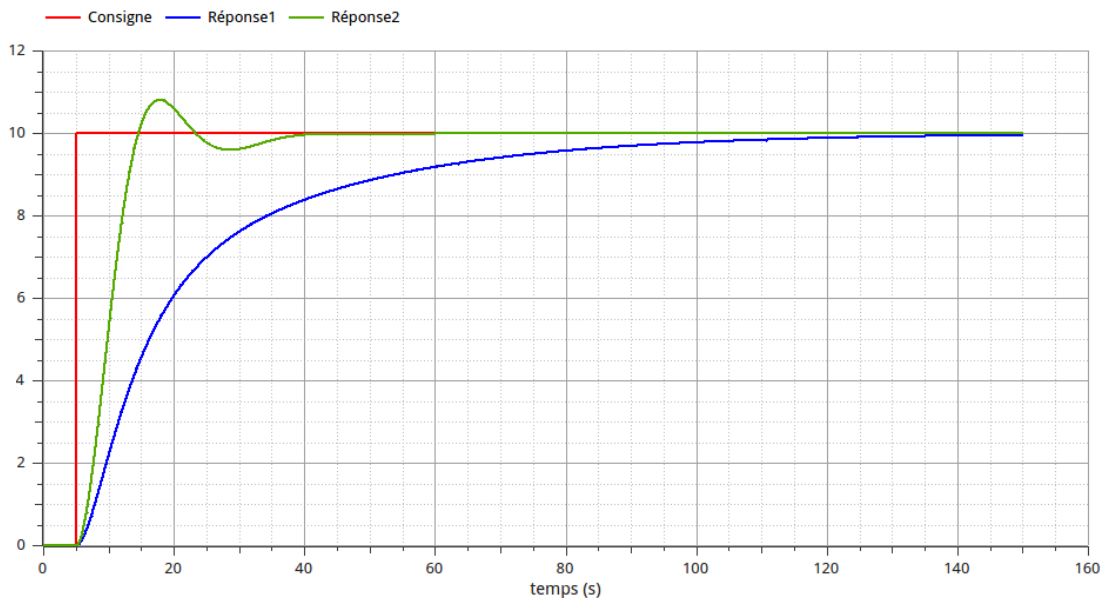
On distingue 3 types de réponses :

- stable ;
- oscillante ;
- instable (non représentée : à réaliser à la main!)



Les dépassements

Selon les procédés à réguler ou asservir il n'est pas possible de tolérer des dépassements telle que la réponse 2.



Exemple : l'asservissement de position d'une fraise d'usinage de machine outil ne doit jamais subir de dépassement au risque d'enlever de la matière sur la pièce à usiner (on rappelle que les fraises à « rajouter » de la matière n'existent pas ! 😊)

Le taux de dépassement caractérise l'amplitude maximale des oscillations. On l'exprime de la façon suivante:

$$D1\% = \frac{s(t_1) - s(t_f)}{s(t_f)} \cdot 100$$

avec :

- $s(t_1)$: valeur de s à l'instant du 1^{er} dépassement
- $s(t_f)$: valeur de s à l'instant où s est stabilisée ($t_f = t_{\text{final}}$)

Remarque : D1 % est le pourcentage du premier dépassement. Lorsqu'il existe plusieurs dépassement, on peut les caractériser par D2 %, D3 %, etc

Comment agir à présent sur les trois critères « Précision-Rapidité-Stabilité » ?

On rappelle que le but d'une régulation ou d'un asservissement est de faire en sorte que la sortie soit égale à la consigne, cela revient à faire en sorte que la mesure X soit égale à l'image de la consigne W le plus rapidement possible.

$$\text{Écart} : \epsilon = W - X = 0$$

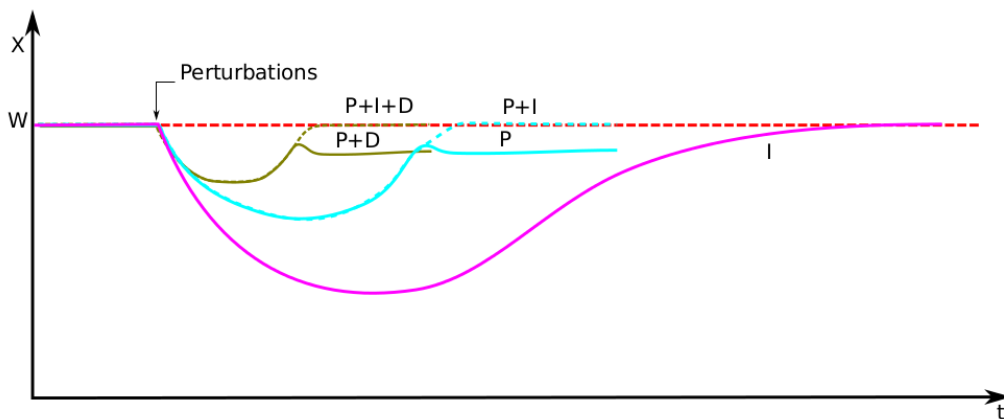
L'idée est de venir corriger les imperfections avec trois types de correcteurs :

- **Proportionnel (P);**
- **Intégral (I);**
- **Dérivé (D).**

On parle ainsi de correcteur PID.

Les associations de correcteurs possibles sont les suivantes : P;P+D ; P+I ; P+I+D

La figure suivante résume de manière simpliste les qualités de chacun des correcteurs cités ci-avant :



Remarque : les correcteurs Dérivé et Intégral seuls ne peuvent pas être utilisés ! On doit leur associer un correcteur Proportionnel.

Prenons le temps de comprendre le graphe ci-avant en complétant le tableau suivant afin de retenir les qualités des correcteurs Intégral et Dérivé :

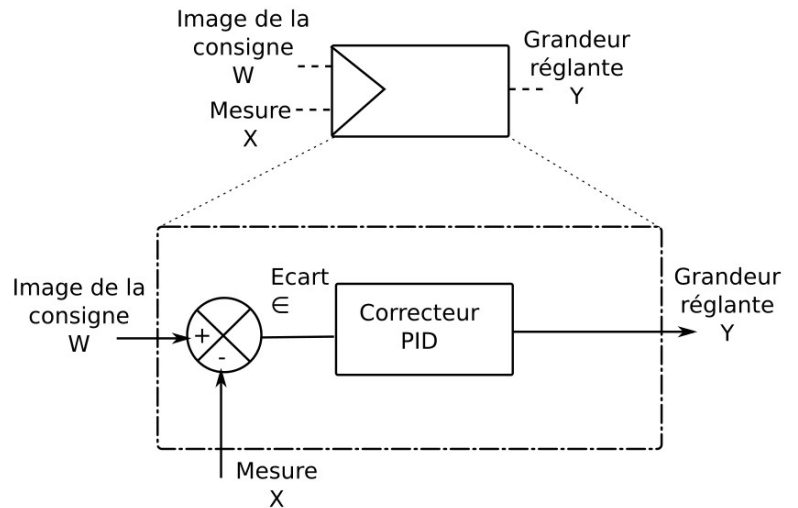
Qualités des correcteurs	Améliore la précision en annulant l'écart	Améliore la rapidité
Intégral et Dérivé		
Correcteur intégral		
Correcteur Dérivé		

Sur quels paramètres des correcteurs faut-il agir pour corriger les imperfections et n'y a-t-il pas de risques ?

Pour corriger les imperfections, il faut agir sur trois paramètres :

- **Kp** : le gain proportionnel (paramètre du correcteur **proportionnel**) ;
- **Ti** : le temps intégral (paramètre du correcteur **intégral**) ;
- **Td** : le temps dérivé (paramètre du correcteur **dérivé**).

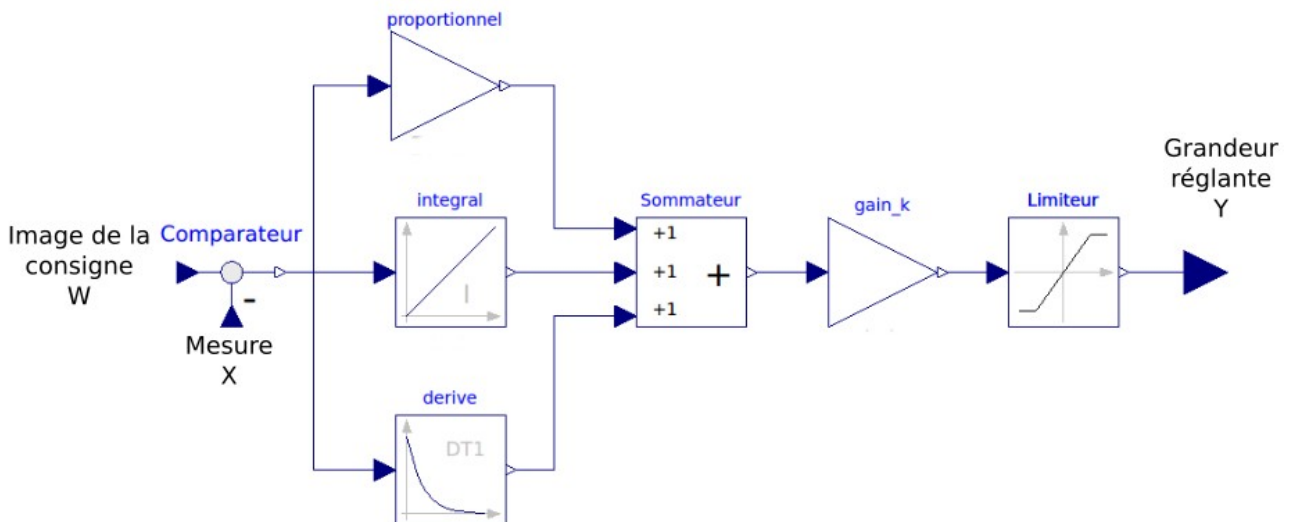
Pour bien comprendre il est intéressant d'observer ce que fait la régulation :



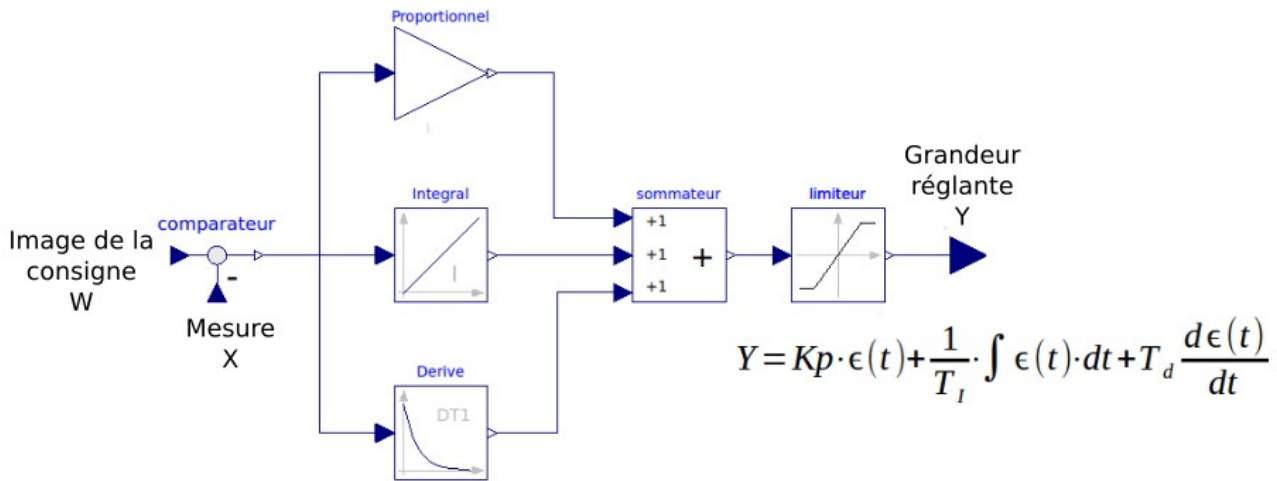
Le correcteur PID est en fait une association de correcteurs associés selon trois structures :

- Parallèle ;
- Série (non abordée dans ce cours) ;
- Mixte.

Illustration d'une structure **parallèle** :



La plus simple des structures à comprendre est la structure Parallèle .. représentée ci-dessous :



Prenons le temps d'analyser la structure, ainsi que l'équation de sortie Y et associons un sens physique aux équations !

Le limiteur est chargé de convertir le nombre en sortie du sommateur en une grandeur normalement physique (donc avec des limites) . Par exemple en un signal pouvant varier de 0 à 10 V.

Le correcteur Proportionnel fait croire à la régulation que l'erreur statique (l'écart) est plus important que réellement en multipliant l'écart par un gain K_p , ce qui a pour effet de « booster » le signal Y. Attention : trop de gain rendra donc la régulation instable !

Le correcteur intégral calcule l'aire sous-tendue entre la consigne et la mesure puis ajoute cette quantité multipliée par le rapport $1 / T_i$ au signal Y. Attention : plus le temps T_i est réglé petit et plus le signal Y sera fort ! La conséquence est de risquer d'emmener la régulation dans un régime instable !!

Le correcteur dérivé quant à lui fait la dérivée de l'écart, il cherche donc à connaître la variation de l'écart par rapport au temps donc à savoir à quelle vitesse la mesure s'écarte de la consigne. Plus la vitesse de variation sera grande et plus la régulation réagira rapidement pour stabiliser la mesure.

En résumé...

L'action proportionnelle :

- fait croire à la régulation que l'erreur statique (l'écart) est plus important que réellement ;
- déstabilise le système quand on augmente trop le gain ;
- n'annule pas l'erreur statique.

L'action intégrale :

- annule l'erreur statique ;
- déstabilise le système quand on augmente le gain intégral (T_i trop faible) ;

L'action dérivée :

- stabilise plus rapidement le système (temps réponse amélioré) ;
- n'annule pas l'erreur statique et est sensible aux parasites.

Remarque sur le correcteur : inhiber l'action du correcteur intégral correspond logiquement à lui associer un temps T_i très long ($1/T_i$ tend vers zéro). Selon les régulations, les algorithmes autorisent parfois d' écrire $T_i = 0$ ce qui correspond à inhiber la régulation. On rappelle que c'est mathématiquement impossible car l'algorithme réalise une division par zéro !

Application :

Soit le graphe ci-après. En comparant les réponses par rapport à celle ou le gain $K_p=3$, **préciser** le type de correcteur ajouté pour les deux autres réponses.

