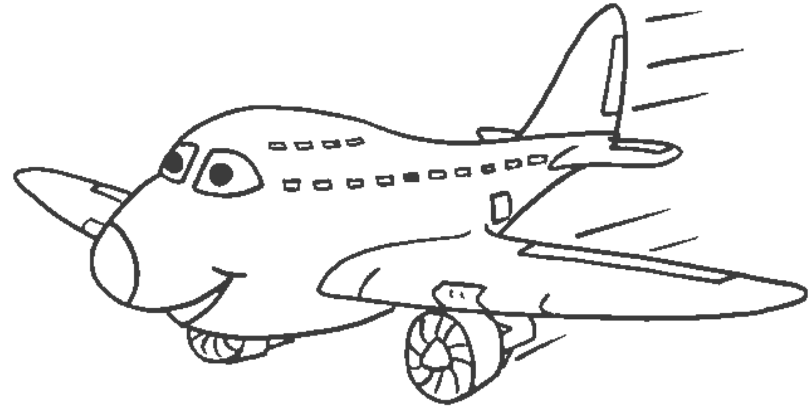


Introduction à l’Automatique

Cours AQ N° 2

__________ The interior of a Boeing 737-300 cockpit.

Plan

- Définitions de base et exemples
- Notion de Boucle ouverte
- Notion d’asservissement
- Modélisation d’un système asservi
- Exemple

Définitions

- ***Système:*** dispositif isolé soumis aux lois de la physique (déterministe) et caractérisé par certaines variables

Exemple: avion, four, moteur électrique…

- ***Déterminisme*** : connaissant l'état d'un système à l'instant « t » on peut déterminer son état à l'instant « t + Δt ».

Exemple

Système ➔ Avion

Déterministe?

t $\qquad$ t + Δt

Position initiale + vitesse à un instant t ➔ position à t + Δt

Système linéaire - Système non linéaire

- Une entrée $E(t) = a\ E1(t) + b\ E2(t)$
- produit en sortie: $S(t) = a\ S1(t) + b\ S2(t)$

- ➔ Possibilité d'utiliser le Théorème de superposition

- Les systèmes non linéaires s'étudient en limitant les variations à de faibles amplitudes.

Les Variables

- **Les Paramètres** : variables qui précisent le mode de fonctionnement du système et qui peuvent être changées avant le début de l'expérience.

- **Les entrées** : variables dont la valeur ne dépend pas du système et dont la variation modifie l'état du système

Les différents types d’entrées

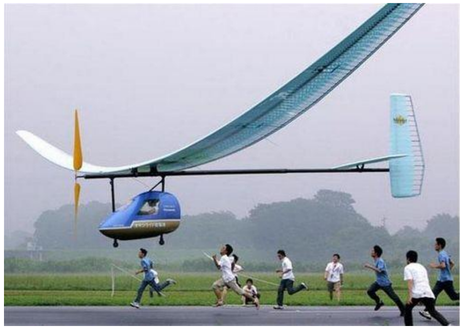
- Les entrées proprement dites **réglables par l'utilisateur** et que le système doit prendre en compte le mieux possible.

- **Les perturbations**: entrées dont les variations sont aléatoires et dont le système doit au mieux limiter l’influence.

Mathématiquement, elles ne présentent pas de différence.

Paramètre ou Entrée?

- Puissance du moteur?
- Le profil d’aile?
- Cap et vitesse affichés?
- Vent? La météo?
- L’action du pilote sur le manche?
- Le nombre de passagers?



Les sorties

- **Les sorties** : traduisent l'état du système en fonction des valeurs des variables d'entrée.

- Exemple: Altitude, vitesse, cap, inclinaison, taux de montée <u>**réels**</u> de l’avion

- Les variables de sortie sont choisies par l'utilisateur en fonction de l'étude à faire.
- Analogiques ou numériques
- Systèmes continus - systèmes à données échantillonnées

Entrées / Sorties

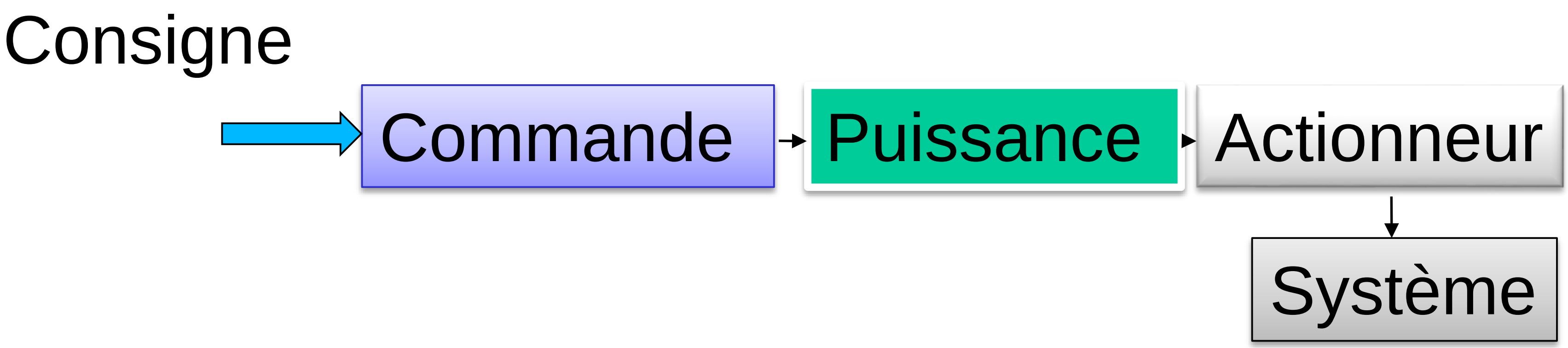
Ce que j'affiche = entrée

Ce que fait réellement le système = sortie

Systèmes continu / Système Echantilloné

- On mesure la température d'un four dont la température varie de 0 à 255 ° C
- Un thermocouple donnera une indication variant de 0 à 10,2mV « analogique » = Système continu.
- En utilisant un amplificateur et un convertisseur analogique-numérique, on peux convertir cette tension en un mot de 8 bits (en hexa entre 00 et FF) avec 0° C ==> H00 et 255° C ==> HFF.
- Valeur à chaque « top » de lecture.
- ➔Système échantillonné

Commande en boucle ouverte



Dans un système en <u>Boucle Ouverte</u>
l'action est
<u>proportionnelle à la consigne</u>

Limites de la boucle ouverte

- Dans les conditions standard le pilote doit régler la puissance des moteurs à 70% pour voler à la vitesse de 300 kts
- Perturbation: un violent vent de face
- Que se passe -t-il?
- Que feriez vous si vous étiez le pilote?

En pratique…

- Comparer la valeur obtenue (valeur de sortie) à la valeur souhaitée (ou consigne)
- Régler la puissance utilisée pour modifier la valeur **en fonction de l'écart**.
- On réalise ainsi un « bouclage » du système.

L’asservissement

Pour réaliser un asservissement, il faut:

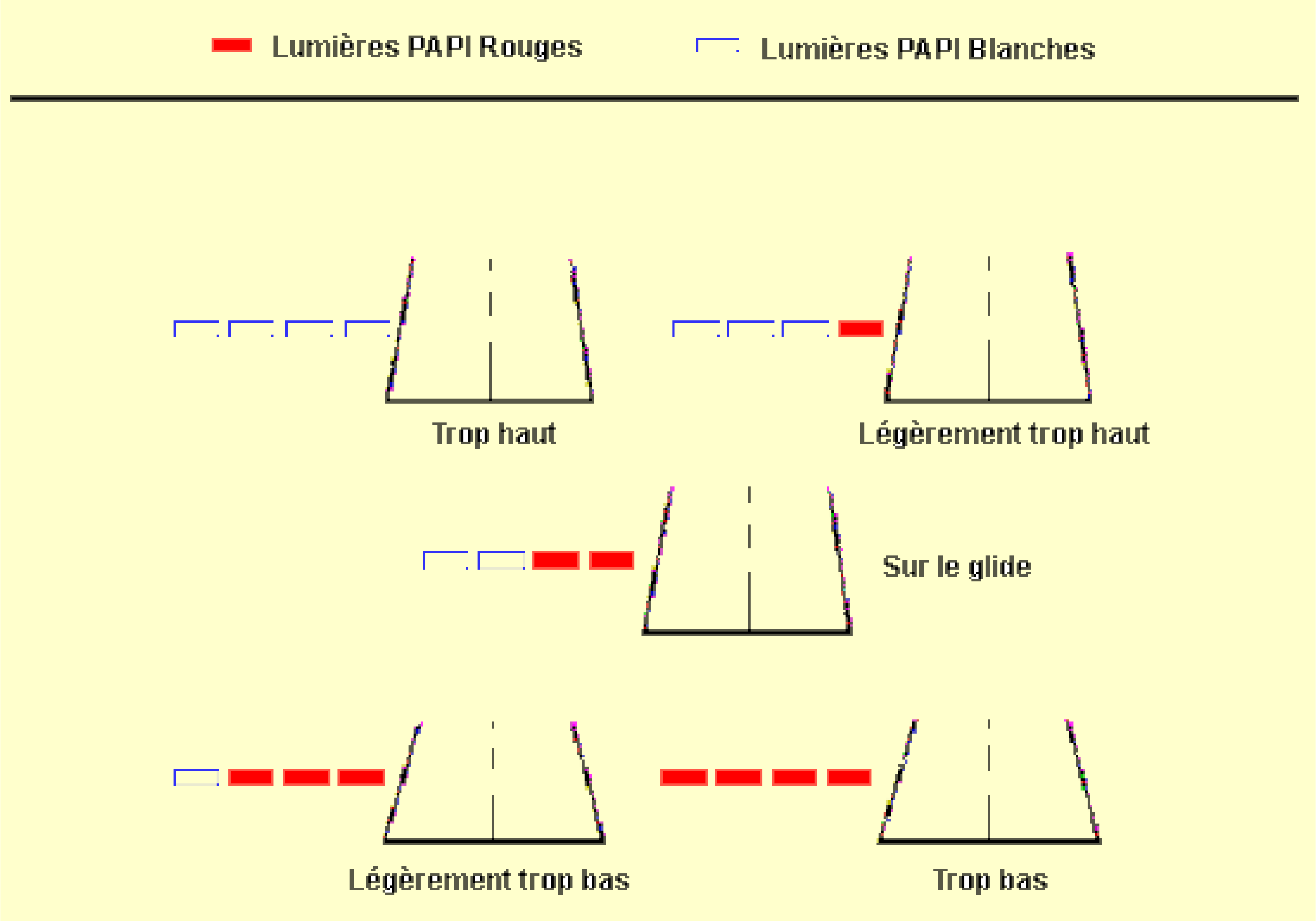
- ❑ Observer => capteur
- ❑ Penser => Correcteur
- ❑ Agir = >Actionneur

- ❑ C’est ainsi que nous fonctionnons.
- ❑ Nous sommes tous des systèmes asservis!

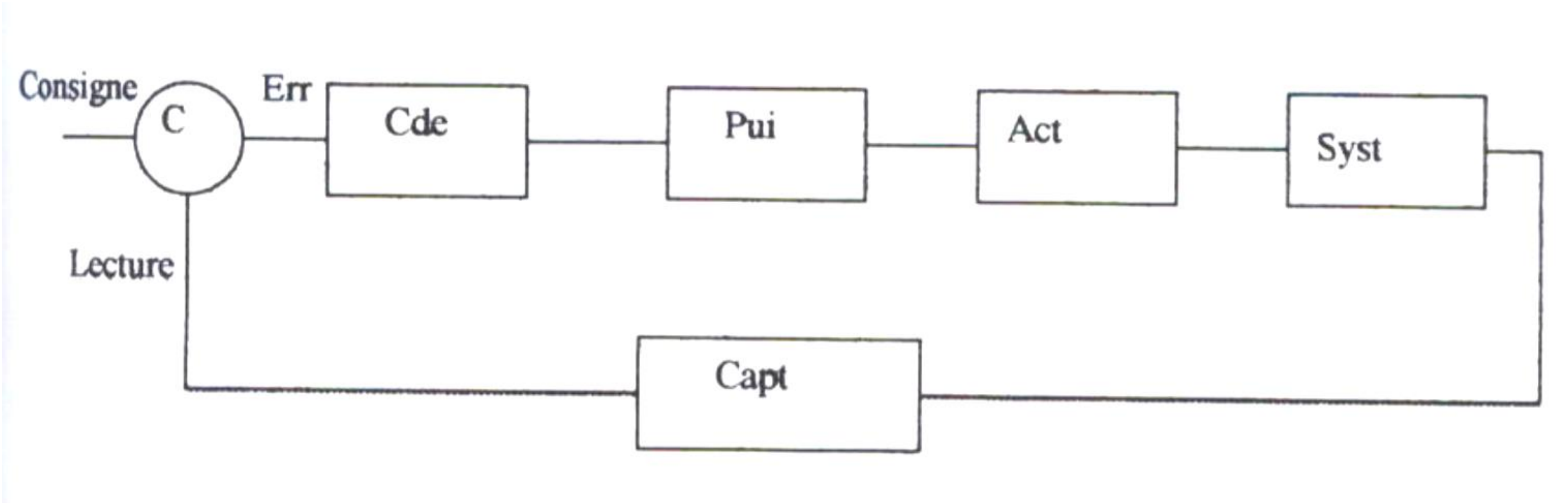
Le pilotage manuel:

- Capteur: le pilote lit les informations sur les instruments
- Opérateur: le pilote réfléchit et agit sur les commandes
- Actionneurs: surfaces de commandes, ailerons, gouverne, moteurs…
- Pilote Automatique: le principe reste le même: le pilote est remplacé par un ordinateur

EXEMPLE: l’aide à l’attérissage



Processus - Transmittance – Schéma bloc

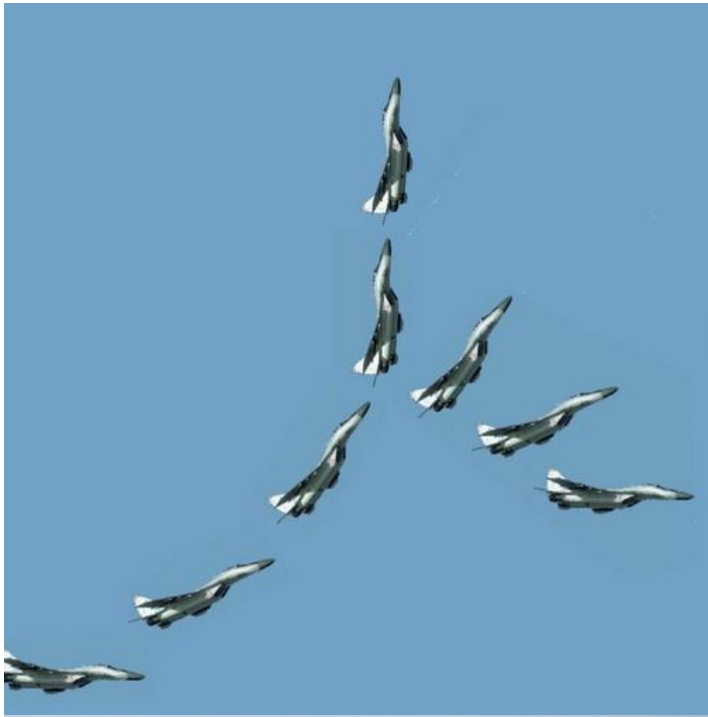


Dans un système bouclé, la commande est proportionnelle à **l'erreur** entre la consigne et le signal lu par le capteur

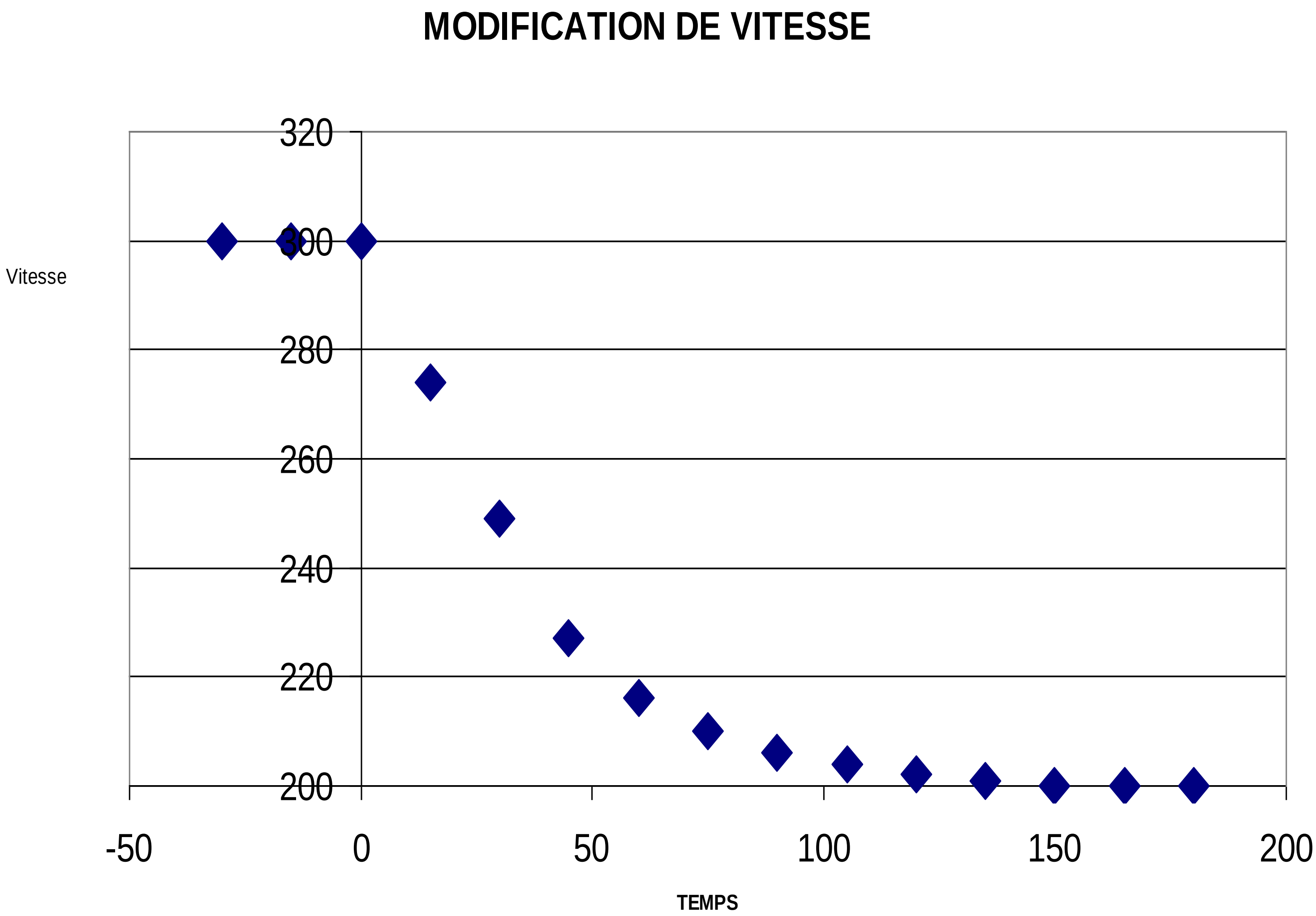
Quel est l'avantage?

•Si l'erreur est grande, la commande sera violente ➔ le système sera **<u>rapide</u>**

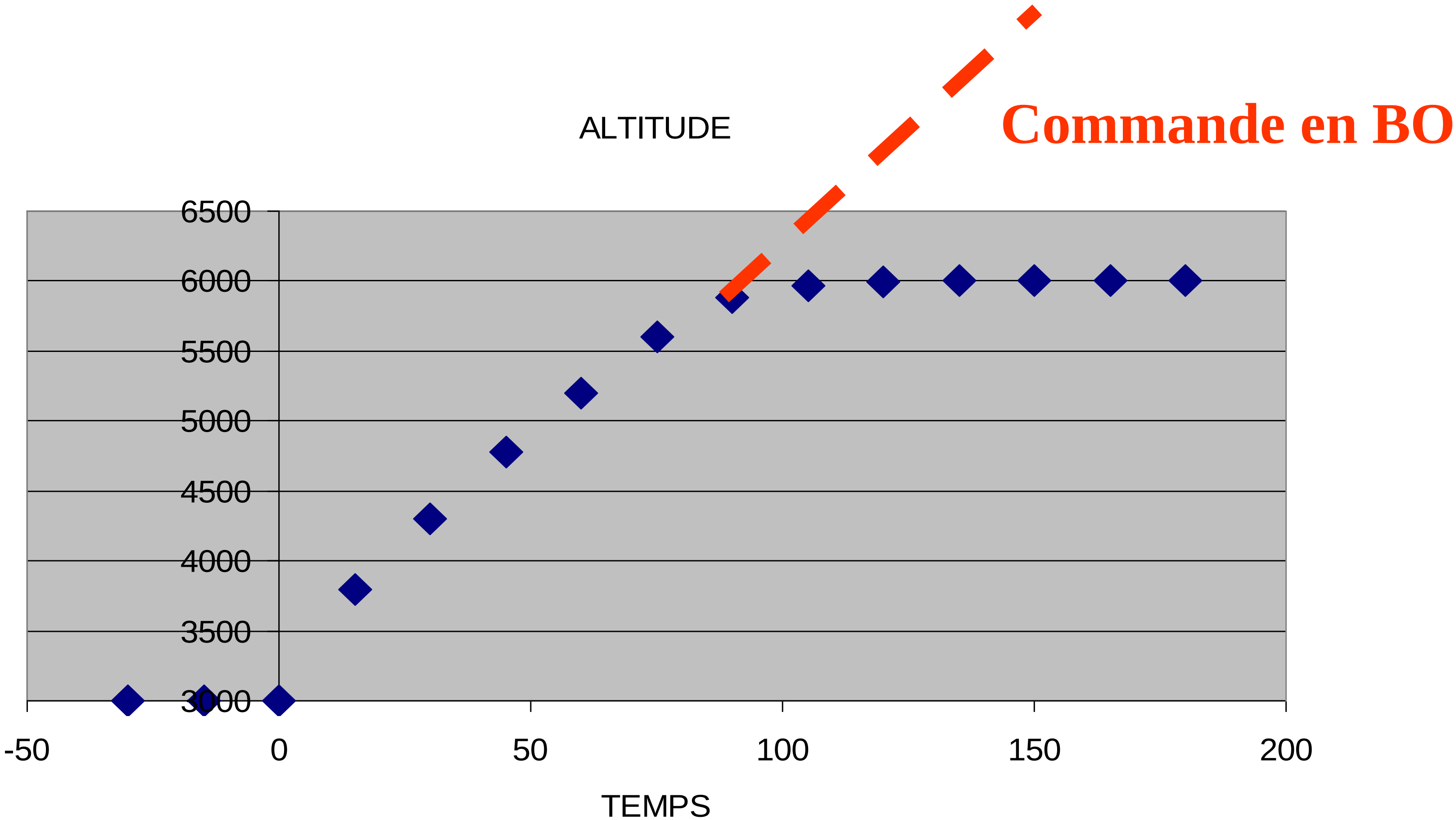
•Plus on s'approche de la consigne, plus la commande se fait « en douceur »➔ le système sera **<u>stable</u>** et **<u>précis</u>**



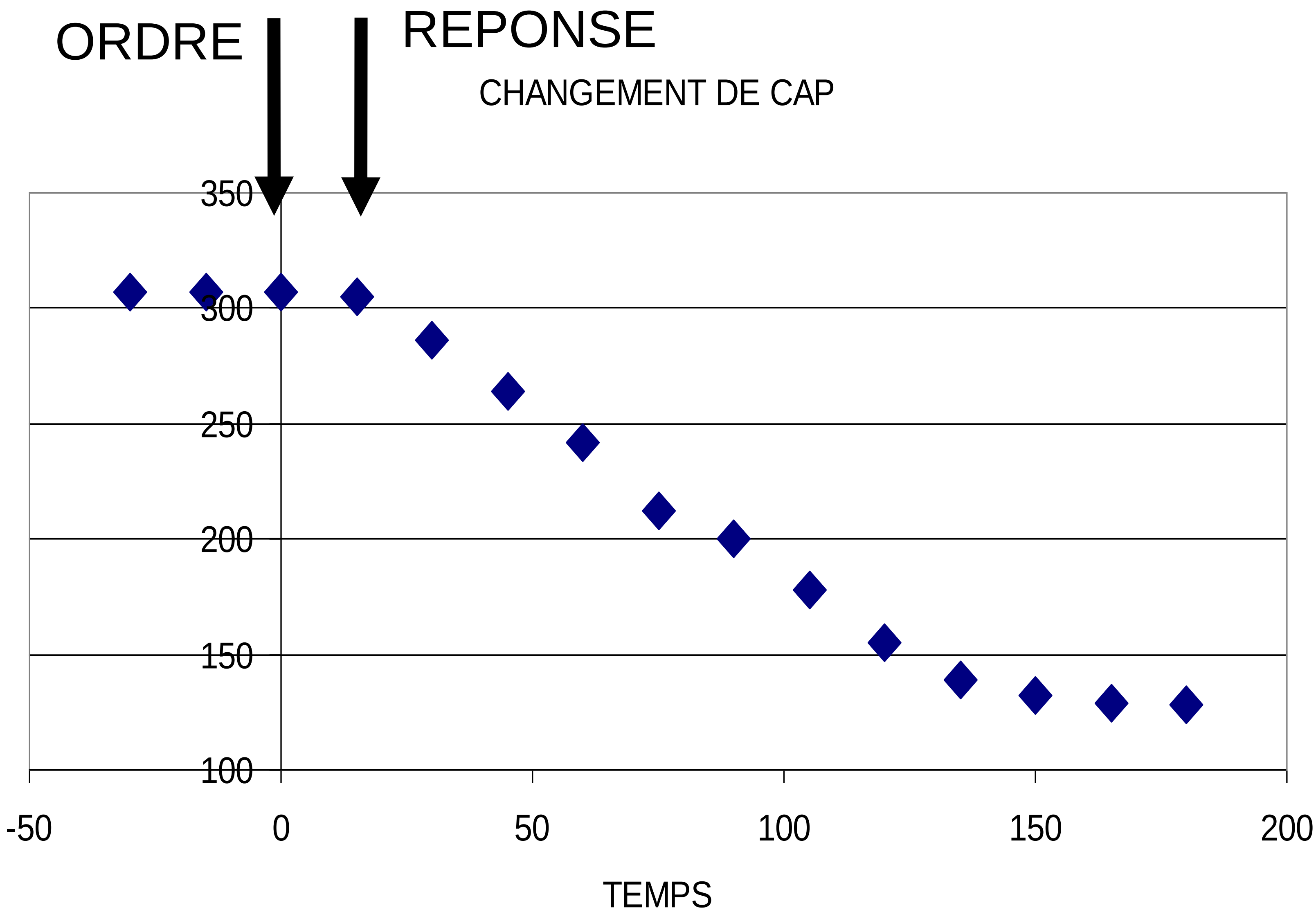
Exemple:


MODIFICATION DE VITESSE
Vitesse
320
300
280
260
240
220
200
-50
0
50
100
150
200
TEMPS

Modification de l'altitude



Le problème du retard (déphasage)



Le problème du retard (déphasage)

- Pendant le temps de retard, le calculateur détecte un gros écart avec la consigne
- Si le système est réglé « trop mou », le calculateur donne l'ordre de tourner mais l'ordre n'est pas exécuté à temps.
- Si le système est trop « nerveux », l'avion risque de réagir trop violemment et de passer sur le dos! C'est ***<u>l'instabilité.</u>***

Problématique

- Comment évaluer les performances d'un système bouclé?
- Quelles sont les caractéristiques d'un système, conduisant à un type de performance (notamment stabilité, précision, rapidité)
- Comment optimiser le comportement d'un système ? Comment régler ses paramètres?

Étude d’un système asservi

Physique: Les lois sont connues ➔ Équations Différentielles

Mise en équation Impossible

Essais expérimentaux: Identification

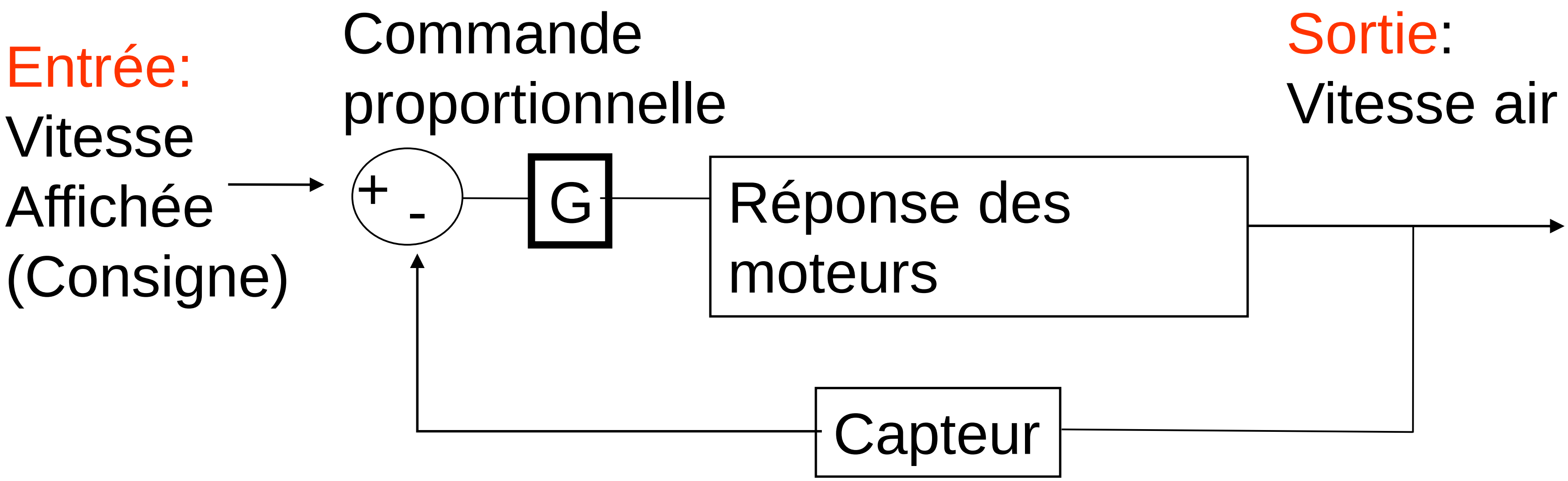
Transformation de Laplace

Mise sous forme de schémas bloc

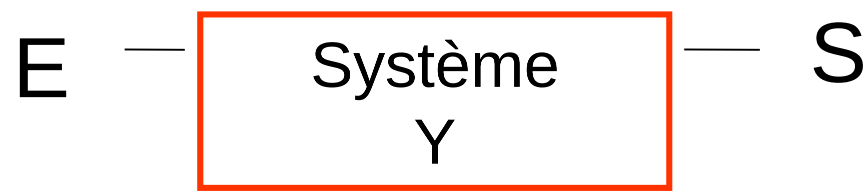
Réglages et corrections en fonction des performances souhaitées

Exemple simplifié

- Variation de vitesse de l’avion
- Consigne: Vitesse entrée par le pilote
- Commande: Le calculateur de bord
- Actionneurs: Les moteurs
- Capteur: Le Badin (indique la vitesse en fonction de la pression d’air dans un tube de pitot)

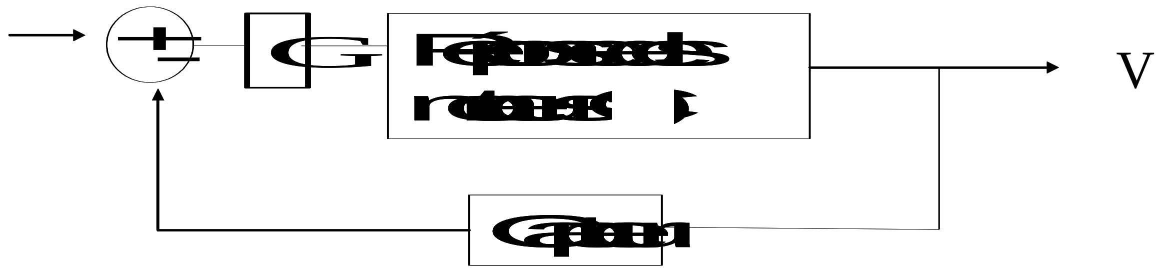


Pour étudier la réponse, on doit mettre le système sous la forme:



Mais  $S(t) \neq Y\,E(t)$

Comment trouver la transmittance?
A partir des données du problème



•***La vitesse est liée à la réponse des moteurs*** par une équation Diff:

$$C(t) = v(t) + \tau \frac{dv(t)}{d(t)}$$

•Capteur: délivre une tension proportionnelle à la vitesse: Gain K mais l'équation différentielle pose un problème…

Heureusement il y a la transformée de Laplace!

Transformation de l'équation différentielle

L'équation différentielle est transformée en utilisant la propriété:

Si f(t) a pour transformée de Laplace F(p)

Alors f'(t) a pour transformée de Laplace pF(p)-f(0)

Pour l'étude, on peut toujours se ramener à f(0)=0 en changeant d'origine

$$C(t) = v(t) + \tau \frac{dv(t)}{d(t)}$$

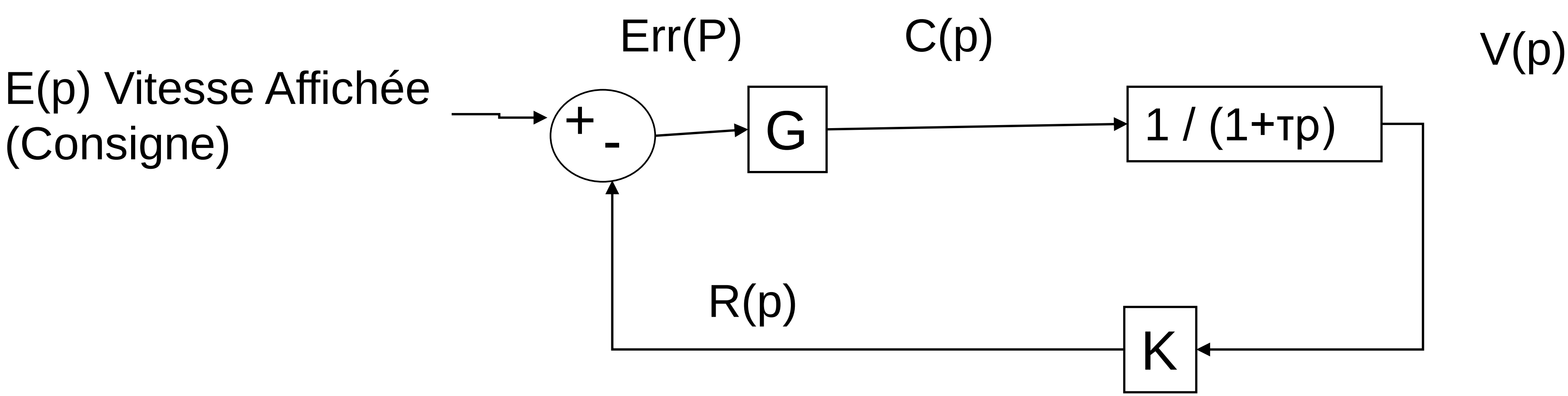
devient: $C(p) = V(p)+\tau pV(p)$

D'où $$\frac{V(p)}{C(p)} = \frac{1}{1+\tau p}$$

Schéma bloc: Laplace

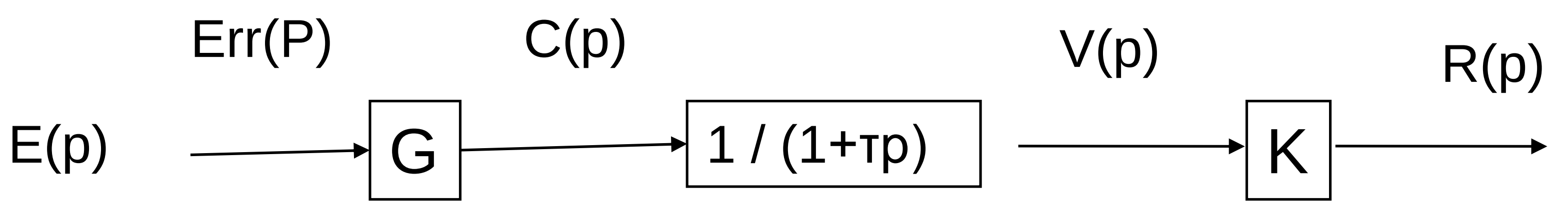
La commande: C(p) = G Err (p)
Loi de réponse des moteurs: équation Diff transformée
V(p) : vitesse de l'avion
Le Capteur: délivre une tension proportionnelle à la vitesse: R (p)= K V(p)
 les variables sont sur les Flèches
Les boites sont les relations entre les variables

$$\frac{V(p)}{C(p)} = \frac{1}{1+\tau p}$$



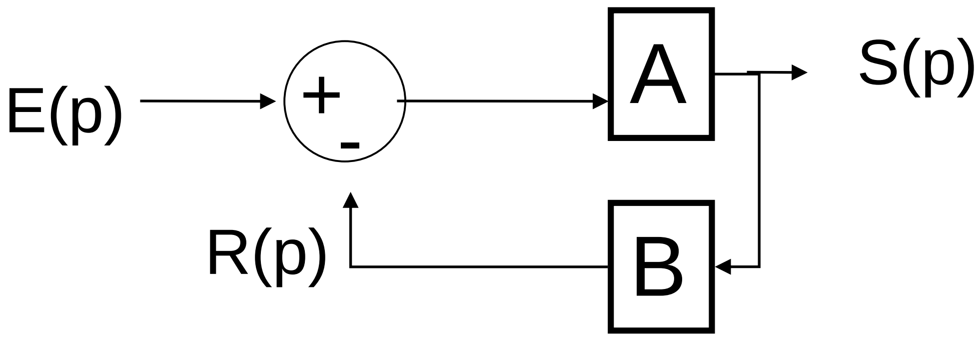
Fonction de transfert en Boucle ouverte

- On ouvre le soustracteur
- On fait le rapport de la valeur lue R(p) sur la consigne E(p)



$$T_{BO} = \frac{R(p)}{E(p)} = \frac{GK}{(1+\tau p)}$$

Fonction de transfert en Boucle Fermée



$$T_{BO} = AB$$

$$\boxed{TBF = \frac{S(p)}{E(P)} = \frac{A}{1 + AB}}$$

EXERCICE

Montrer que:

$$\boxed{TBF = \frac{S(p)}{E(P)} = \frac{A}{1+AB}}$$

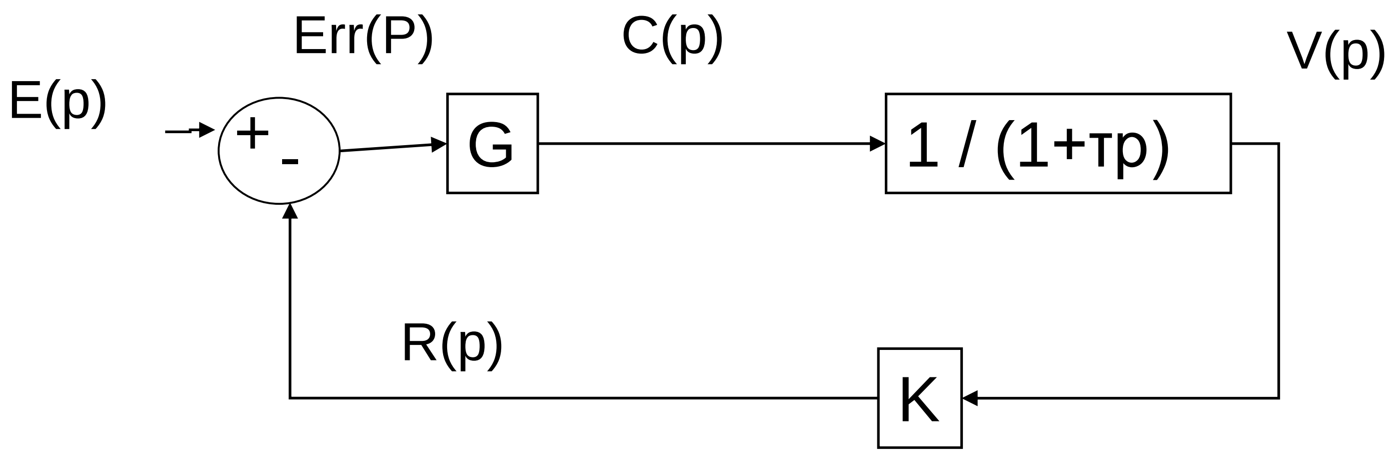
Exercice:

- Montrer que Si A(p) et B(p) sont des fractions:

$$A(p) = \frac{N_A}{D_A} \qquad B(p) = \frac{N_B}{D_B}$$

Alors $$TBF(p) = \frac{N_A D_B}{D_A D_B + N_A N_B}$$

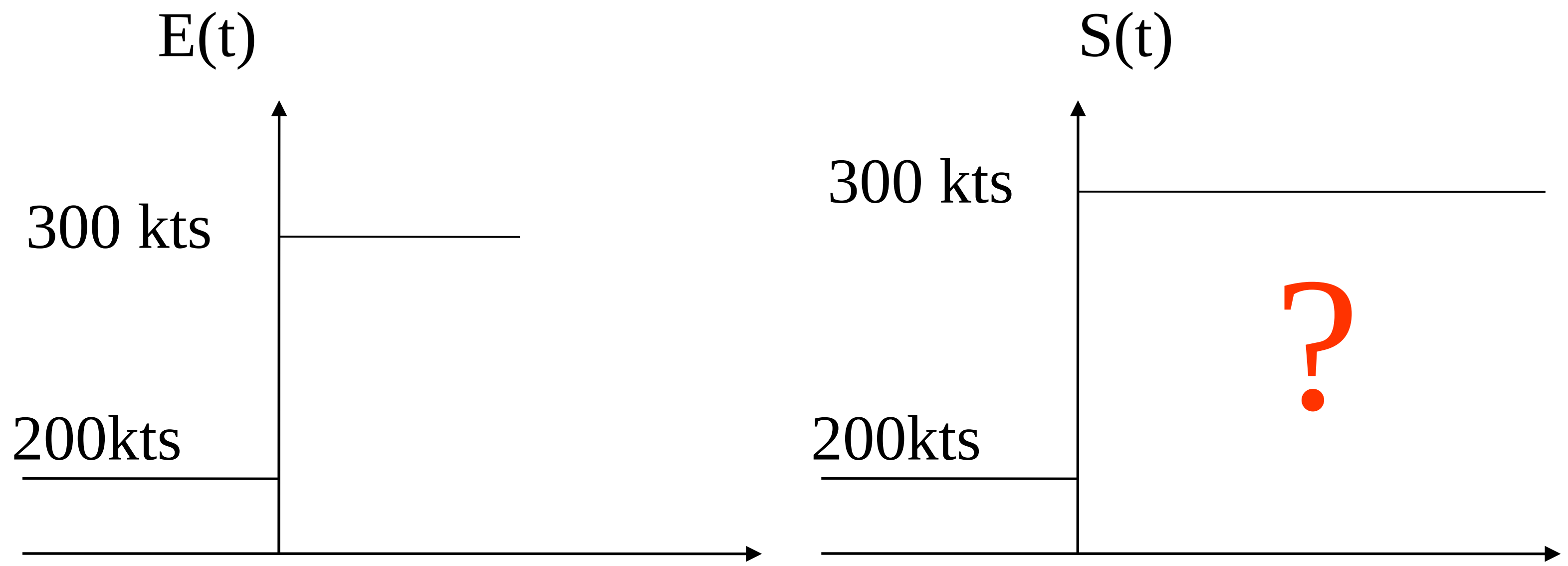
Transmittance pour la vitesse



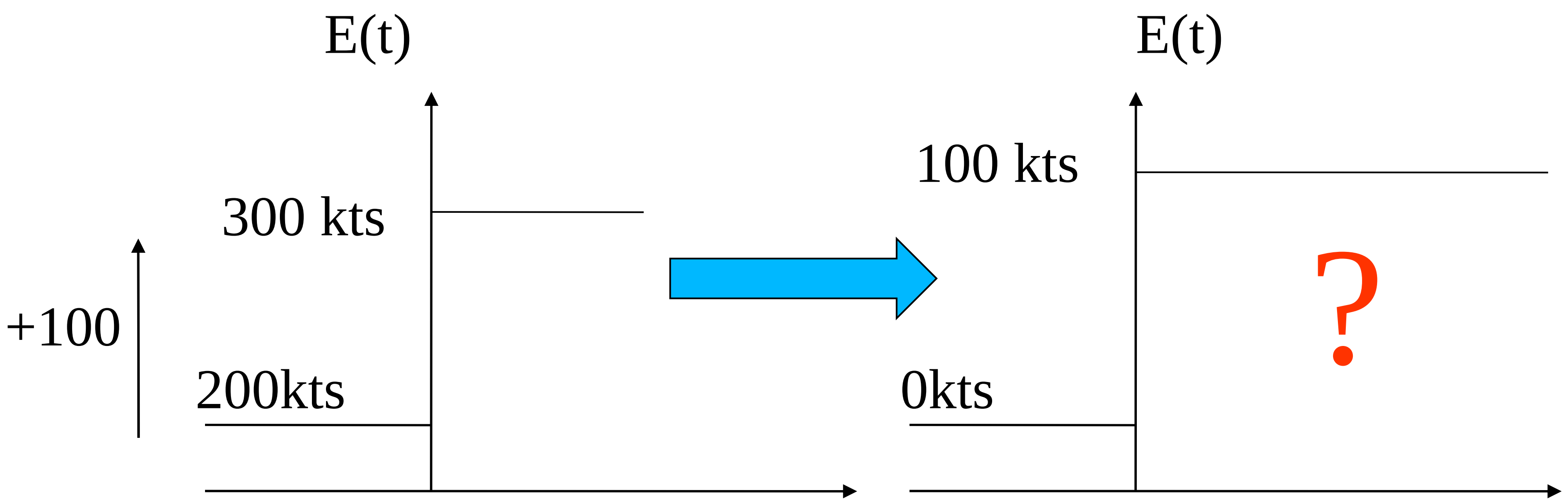
De la forme

Système du 1er ordre

Réponse à un échelon



Changement d'origine



On rajoutera les 200 kts à la fin

Utilisation de la Fonction de transfert

$$E(p) \longrightarrow \boxed{TBF(P)} \longrightarrow S(p)$$

$$\boxed{S(p) = TBF(p) \times E(p)}$$! Vrai seulement en Laplace

$$E(p) = 100 \times H(p) = 100 \times L\{1\} = 100/p$$

$$S(p) = \frac{g}{a+p} \times \frac{100}{p}$$

Transformée de Laplace Inverse

- On décompose la fonction en p en une ***somme*** petites fractions simples dont on connaît la transformée inverse Tableau dans le polycopié
- La transformée inverse sera la ***somme*** des transformées inverses

Décomposition en éléments simples: Notion de Pôle

- Soit une fraction $N(p)/D(p)$

- On appelle pôles les valeurs particulières de p ($P0$, $P1 \ldots Pn$) pour lesquelles $D(p) = 0$

Exemples :

1/ $(p+a)$ admet pour pole $P0 = -a$ P0 est dit ***<u>pôle simple</u>***

1/ $(p+a)^2$ admet pour ***<u>pôle double</u>*** $P0 = -a$

1/ $(p+a)(p+b)$ admet ***deux pôles simples*** $-a$ et $-b$

1/ (p^2+a^2) admet deux poles complexes conjugués: ia et $-ia$

A chaque type de pôle va correspondre un type de décomposition que nous verrons au fil des exemples

Retour à l'exemple

$$S(p) = \frac{g}{a+p} \times \frac{100}{p} \qquad (1)$$

Deux pôles simples:
P0=-a et P1= 0

Ce type de fraction se décompose sous la forme:

$$S(p) = \frac{A}{a+p} + \frac{B}{p} \qquad (2)$$

A et B sont des constantes que nous devons déterminer

Comme (1) = (2)

□ $100g = Ap + B(p+a)$ Cette équation est vraie quelque soit p

En particulier pour P=P0 et P=P1

□ P=-a □ A= -100g / a   P=0 □ B= 100g / a

$$S(p)=\frac{A}{a+p}+\frac{B}{p}=\frac{100g}{ap}-\frac{100g}{a(a+p)}$$

Laplace inverse donne:

$$S(p)=\frac{A}{a+p}+\frac{B}{p}\Rightarrow S(t)=\frac{100g}{a}\left(1-e^{-at}\right)$$

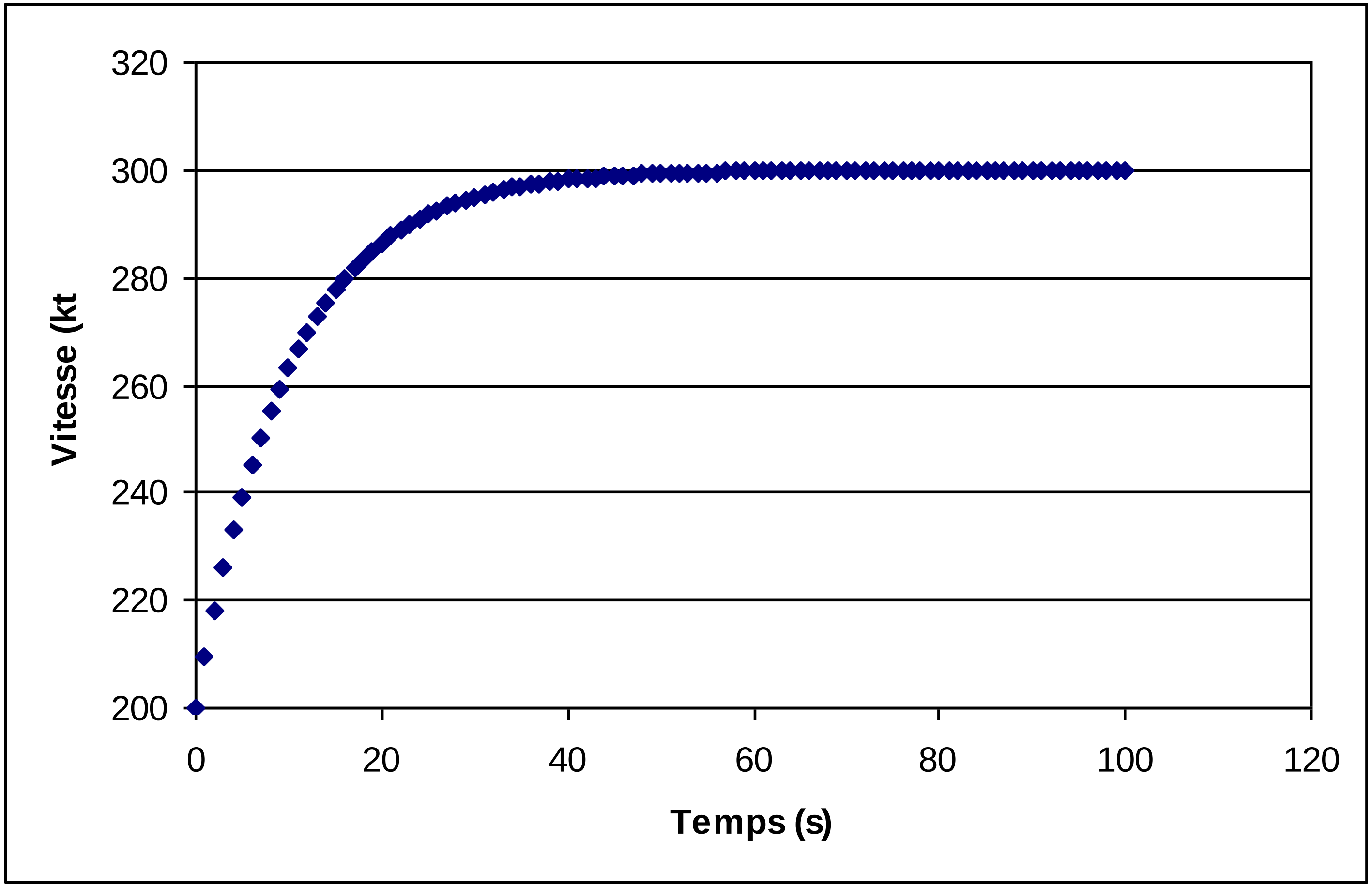
Si t=0 S(0)= 0

Si $t \to \infty$, S(t)= 100g/a

Le signal d'entrée est un signal électrique
Le signal de sortie est une vitesse
g/a est le gain en kts/V . Il est choisi pour qu'une commande donnée corresponde à une vitesse donnée.

Analyse de la réponse du premier ordre

Courbe représentée pour a =0,1 soit une constante de temps de 10s



Généralisation

- Un système du premier ordre est décrit par une équation différentielle du type

- Qui donne en Laplace:

- Sa réponse à un échelon sera

Définitions

- ***Temps de montée***: Temps mis par le Système pour passer de 10 à 90%
- Pour un système du 1er ordre, $Tm=2{,}2\tau$

- Exercice: Démontrer que $Tm=2.2\tau$

Définition

- ***Temps de réponse***: temps mis par le système pour se stabiliser à moins de 5% de la valeur finale
- Pour un système du 1er ordre, $Tr=3\tau$
- Exercice: Démontrer que $Tr=3\tau$

Exemple: Tm=?   Tr=?