



LES AUTOMATISMES

LES ASSERVISSEMENTS



Lycée L.RASCOL 10, Rue de la République
BP 218. 81012 ALBI CEDEX

SOMMAIRE

INTRODUCTION

- Systèmes de commande**
- Structure des systèmes de commande**
- Exemples d'architectures**

ANALYSE DES SYSTEMES

- Fonctionnement de l'asservissement de vitesse**
- Fonctionnement de l'asservissement de position**
- Performances des systèmes asservis**
- Notion de correcteurs**

LA COMMANDE D'AXE

- Notion de position**
- Mise en œuvre matérielle**
- Utilisation**

INTRODUCTION

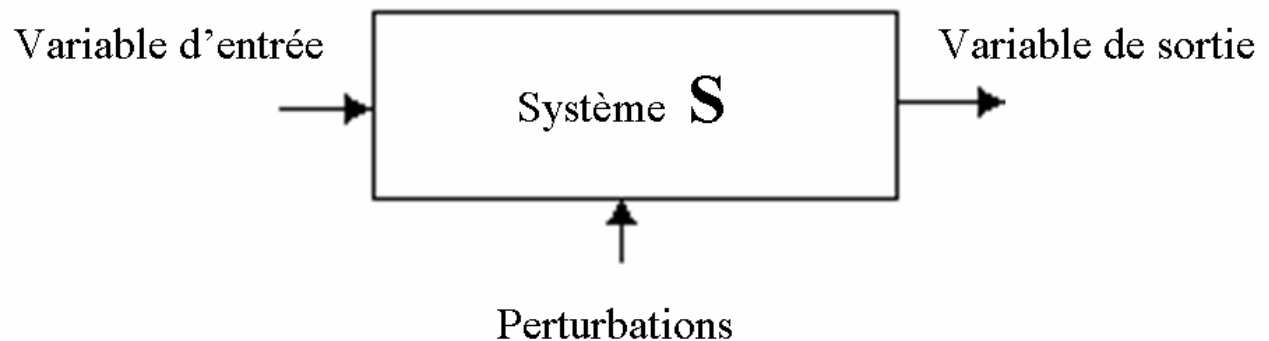
SYSTEMES DE COMMANDE

Un système est un assemblage d'éléments (physiques naturels) qui existe pour exécuter une fonction déterminée. Quand un système est asservi, il est contraint d'exécuter les tâches relatives à sa fonction et pas d'autres. Dès sa conception, par sa réalisation, un système contient sa spécificité.

- La grandeur physique que l'on veut commander ou régler sera appelée **grandeur ou variable de sortie**,

- Pour obtenir la sortie désirée, il sera nécessaire d'envoyer des ordres (consignes) au système. L'accès au système s'effectue par une **variable ou grandeur d'entrée**,

- L'environnement du système influe sur son comportement et donc sur sa sortie. Ces perturbations seront considérées comme des entrées par le système. On les appelle **entrées secondaires ou simplement perturbations**.

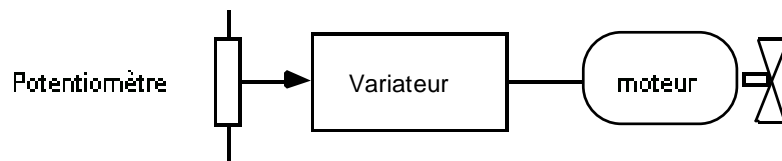


Symbole général d'un système

STRUCTURE DES SYSTEMES DE COMMANDE

\$ Structure en boucle ouverte

On parle de commande en boucle ouverte lorsqu'on ne vérifie pas la valeur de la grandeur commandée. Pour une même valeur de consigne à l'entrée on peut obtenir des valeurs différentes pour la sortie en fonctions des sources de perturbations. Ce type de commande est peu précis sauf lorsque l'on utilise des actionneurs spécifiques comme un moteur pas à pas.



Commande de la vitesse d'un ventilateur

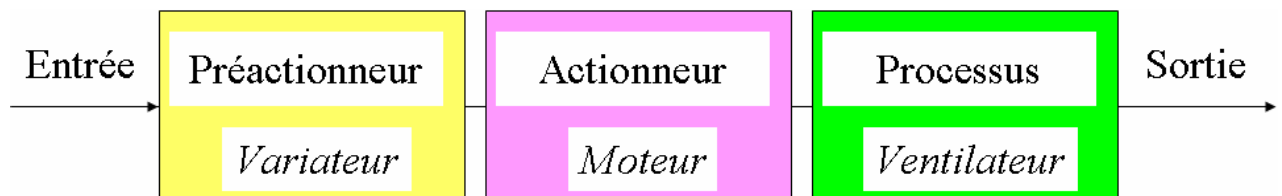
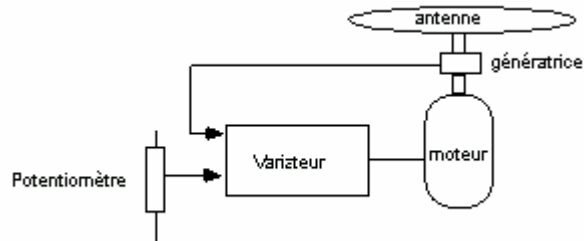


Schéma de principe

\$ Structure en boucle fermée

Dans ce cas on rajoute à la chaîne d'action directe une chaîne de retour (réaction) permettant de contrôler l'effet de la commande. Si la sortie sous l'effet d'une perturbation s'écarte de la valeur désirée, le système en sera averti et ramènera la sortie à la valeur correcte.



Asservissement en vitesse d'une antenne radar

La tension issue de la génératrice tachymétrie est comparée à la tension de référence. Le résultat de cette comparaison sert à élaborer la commande du moteur.

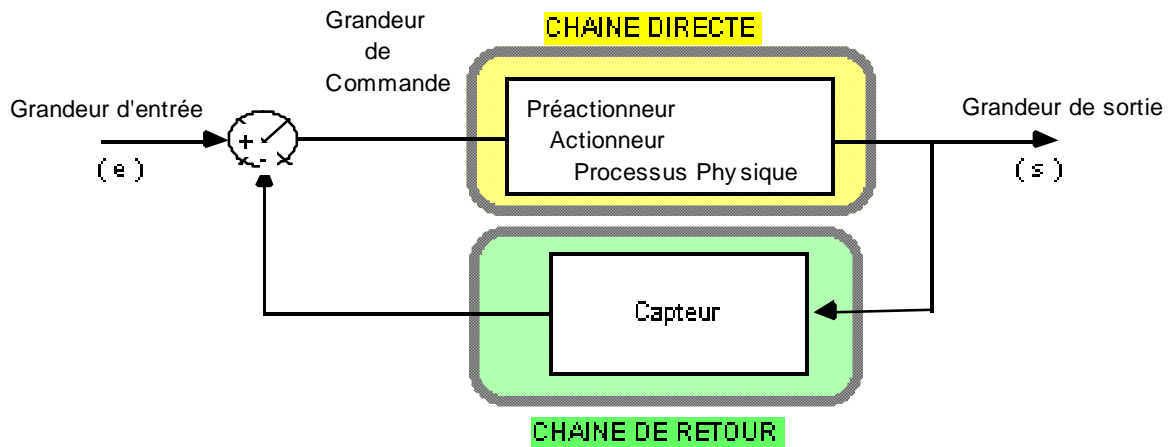
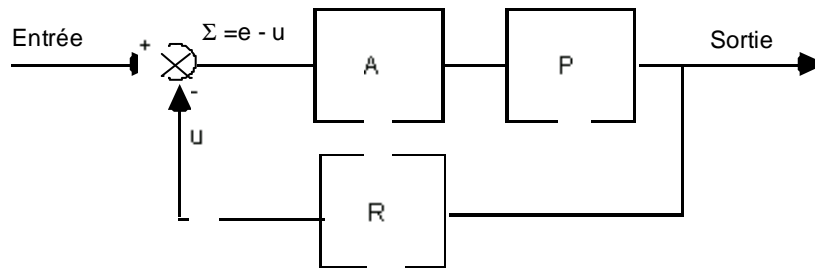


Schéma de principe

Schéma général d'un système en BF

Le schéma fonctionnel (ou schéma bloc) permet de représenter graphiquement le fonctionnement d'un système asservi.

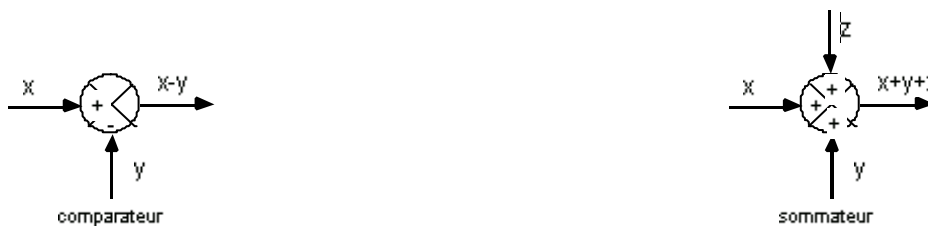


P Processus (mécanique, hydraulique, électrique)

A Amplificateur de puissance.

B Boucle de Retour

Entre chaque case on trouve une grandeur physique. Chaque case représente un organe ou une loi physique (ou mathématique). Chaque case n'a en général qu'une entrée et une sortie. Seuls les comparateurs utilisent plusieurs entrées signées.



Fonctionnement en régulateur.

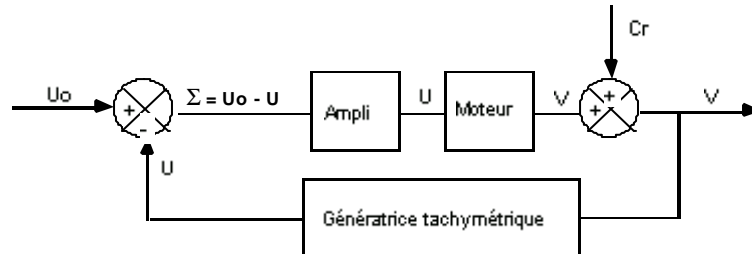
L'entrée a une valeur constante qui est la consigne; on veut que la sortie se maintienne aussi près que possible d'une valeur fixe qu'elles que soient les variations des perturbations. Variations dans une plage définie lors de la conception du système.

Fonctionnement en asservissement.

La sortie devra suivre le mieux possible les variations de l'entrée.

Influence des perturbations

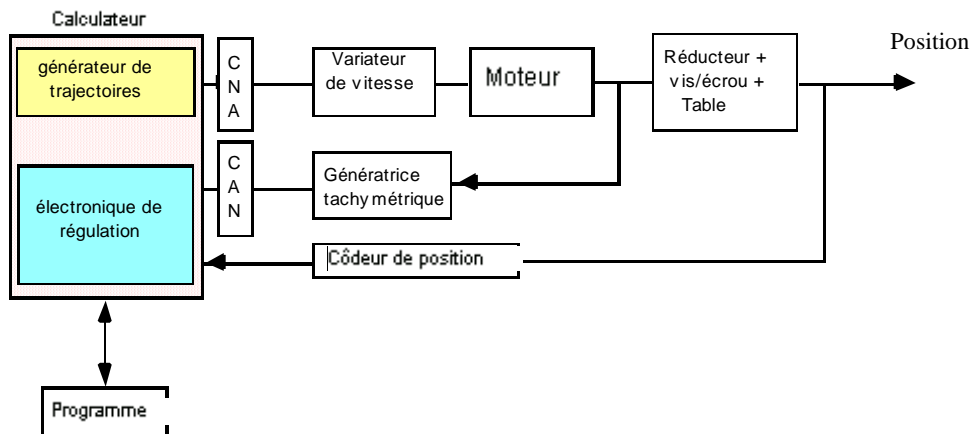
Dans l'exemple du radar le vent est un élément perturbateur qui en agissant sur l'antenne exerce un couple (moteur ou résistant) sur l'arbre. On peut faire apparaître cette perturbation sur le schéma fonctionnel de la façon suivante.



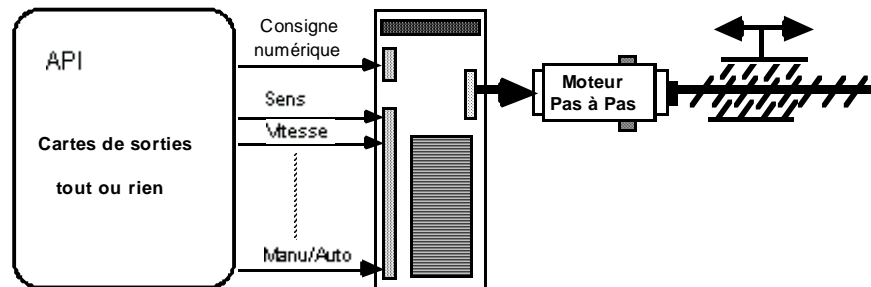
EXEMPLES D'ARCHITECTURES

\$ Commandes continues et échantillonnées

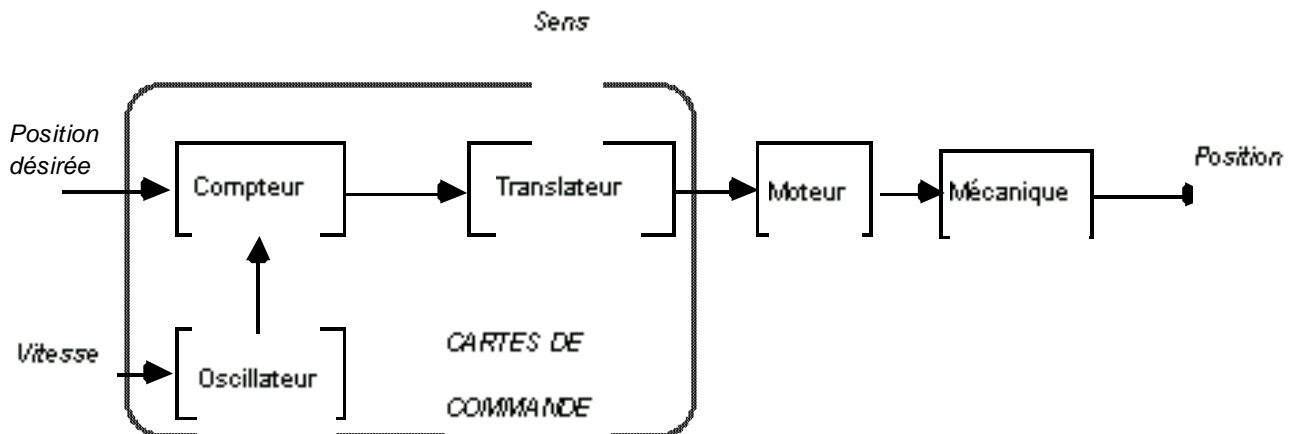
Les commandes continues n'utilisent que des grandeurs analogiques pour contrôler les systèmes. Les commandes échantillonnées utilisent des informations prélevées périodiquement sur la partie opérative.



Asservissement en position d'un mobile par moteur PAS à PAS

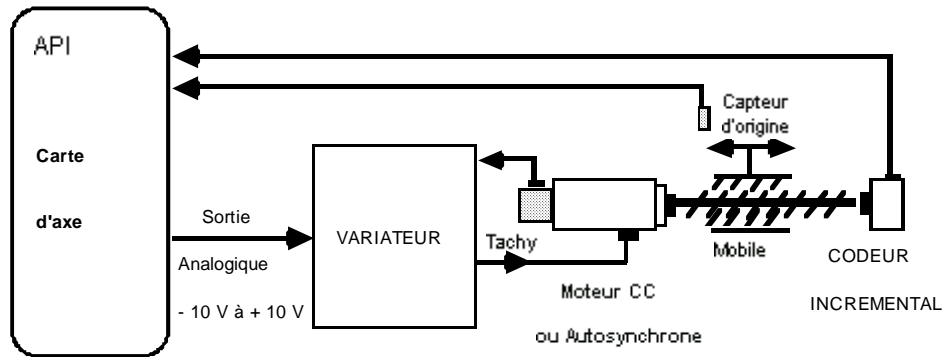


Positionnement par moteur Pas à Pas

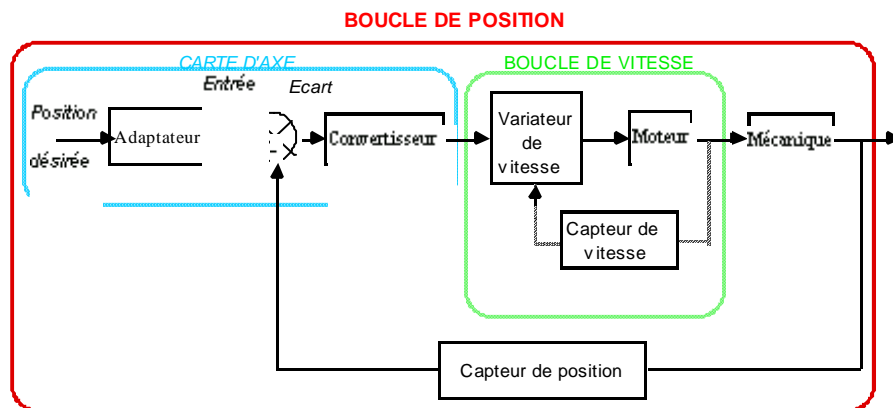


Asservissement de position en boucle ouverte

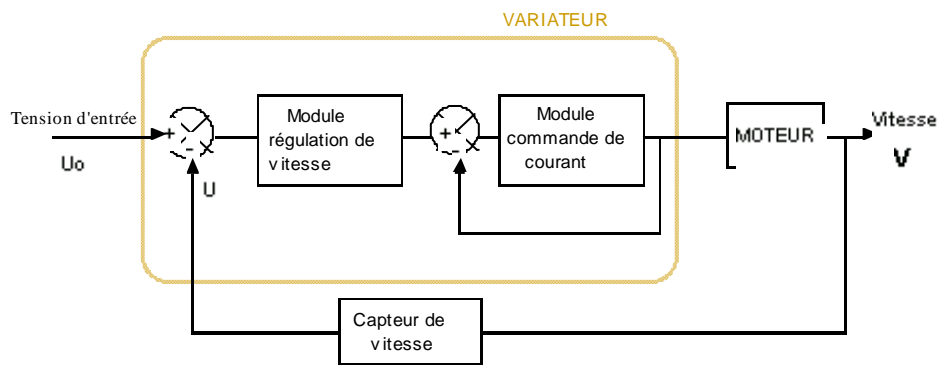
Asservissement en position d'un mobile par moteur CC ou AUTOSYNCHRONE



Positionnement par moteur CC ou AUTOSYNCHRONE



Asservissement de position en boucle fermée

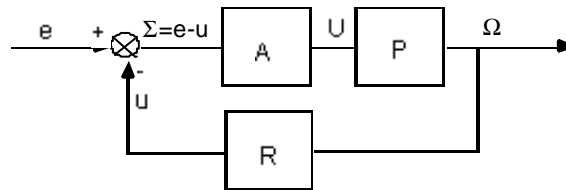


Variateur de vitesse

ANALYSE DES SYSTEMES

FONCTIONNEMENT DE L'ASSERVISSEMENT DE VITESSE

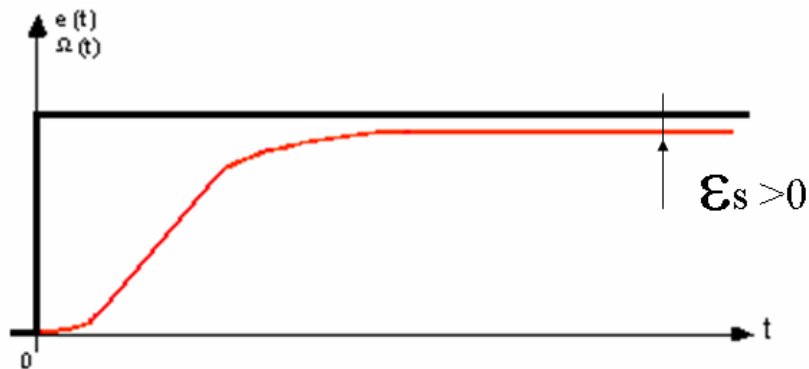
On considère la situation suivante.



Le système est au repos, (les variables du schéma bloc sont nulles). On envoie une consigne de vitesse constante pour obtenir une vitesse en sortie. On dit que l'on soumet le système à un échelon de vitesse. A l'instant initial $\Sigma(t) = e(t)$ l'écart est maximum, amplifié il est converti en une tension de commande puis en courant et enfin en couple moteur. Le moteur démarre.

§ 1^{er} cas

L'inertie est élevée, l'accélération est faible. La vitesse augmente doucement et se rapproche de la consigne, on obtient l'évolution de type ci-dessous.



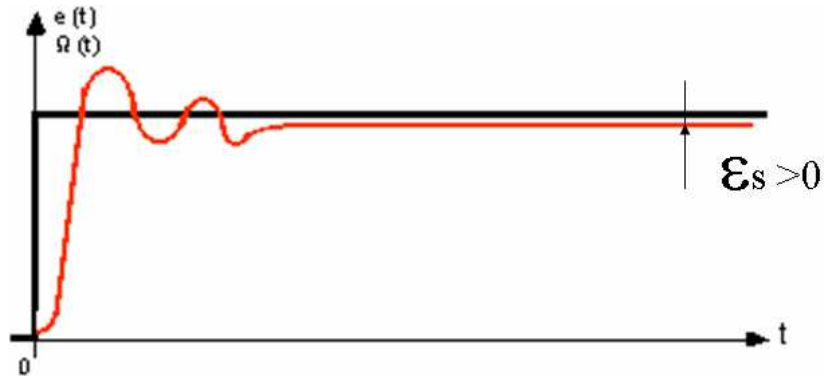
La vitesse n'atteint JAMAIS la consigne, mais tend vers une limite inférieure, l'écart en régime permanent ϵ_s est appelé erreur statique. Cet écart est fonctionnel et inévitable si il devient nul la consigne de l'ampli étant nulle le moteur ne pourra pas fournir de couple.

L'écart ne peut pas être annulé mais peut être réduit autant que le permet la technologie, on va maximiser le gain de la chaîne de commande pour qu'un très faible signal d'écart puisse fournir le couple nécessaire à l'entretien de la rotation du moteur.

Mais au moment du démarrage le couple fourni va être considérable et l'accélération induite très élevée ce qui nous amène au cas suivant.

§ 2^{em} cas

L'accélération est importante, la vitesse augmente rapidement, on obtient une évolution de la forme ci-dessous.



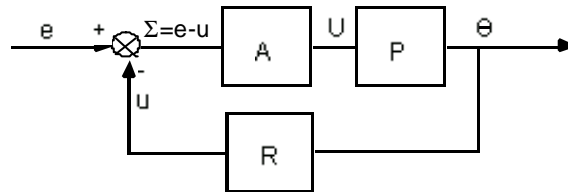
La vitesse augmente trop vite et dépasse la consigne avant que le système ne réagisse. Après une série plus ou moins longue d'oscillations la vitesse tend vers une limite identique au cas précédent.

Une augmentation trop importante du gain présente deux inconvénients:

- 1) Un comportement oscillatoire qui peut être mal toléré par la mécanique il doit donc être évité.
- 2) Un sur couple au moment du démarrage qui conduit à surdimensionner le moteur pour qu'il puisse assurer le démarrage. Pour supprimer cet inconvénient, on limite le courant (dont le couple) de démarrage par un dispositif de saturation en courant dans le variateur de vitesse.

FONCTIONNEMENT DE L'ASSERVISSEMENT DE POSITION

On considère la situation suivante.

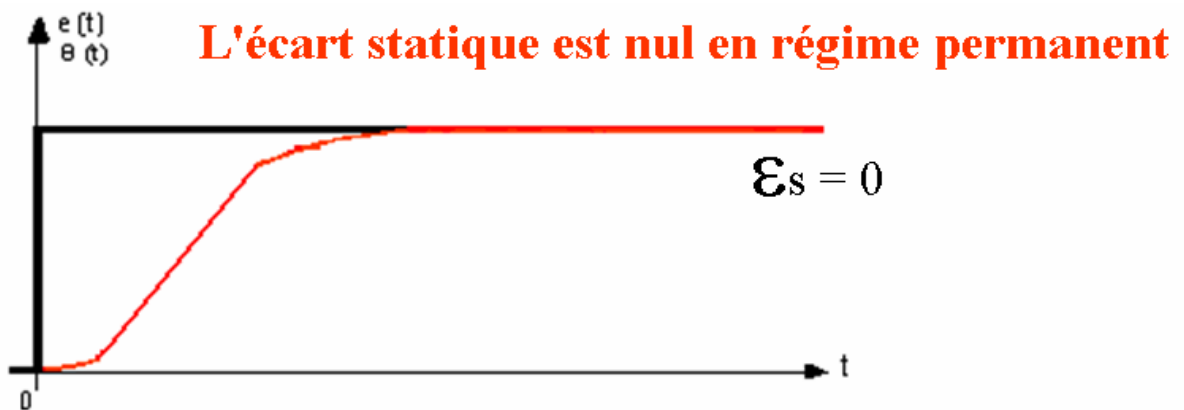


Le système est au repos, (les variables du schéma bloc sont nulles). On envoie une consigne de position constante pour obtenir en sortie une position donnée. On dit que l'on soumet le système à un échelon de position.

A l'instant initial $\Sigma(t) = e(t)$ l'écart est maximum, le moteur est piloté et tourne: $\theta(t)$ augmente. Au fur et à mesure que $\theta(t)$ augmente, l'écart $\Sigma(t)$ diminue comme dans le cas de l'asservissement de vitesse deux cas sont possibles.

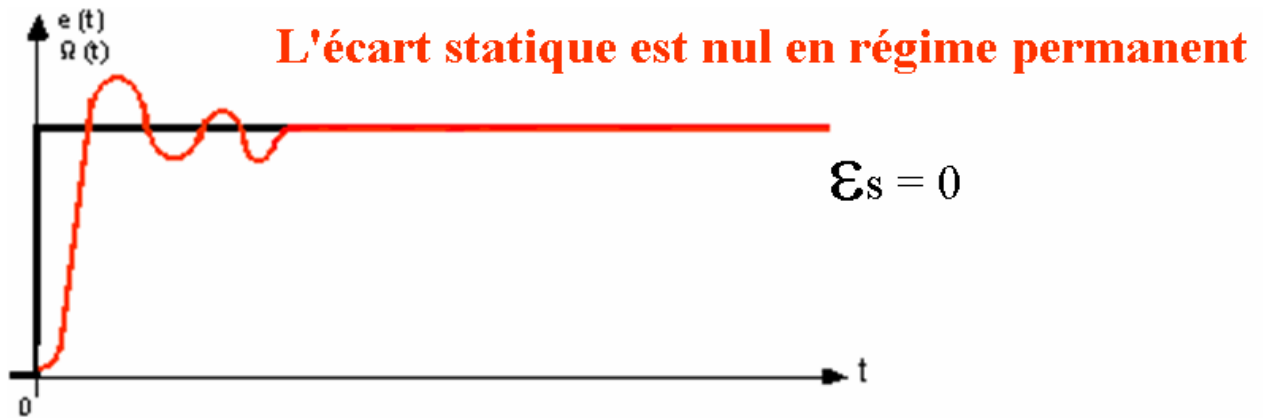
§ 1^{er} cas

La vitesse est faible, l'évolution vers la position visée s'effectue lentement mais contrairement à l'asservissement de vitesse, la position demandée est atteinte. En effet lorsque le moteur atteint la position correspondant à la consigne, il n'a théoriquement plus besoin d'être piloté et peut s'arrêter. L'écart statique est nul en régime permanent.



§ 2^{em} cas

La vitesse est grande le moteur dépasse la position visée, $\Sigma(t)$ devient négatif. Le moteur s'arrête et repart en sens inverse, repasse la position visée, l'écart redevient positif. Après quelques oscillations, le système se positionne à la valeur visée.

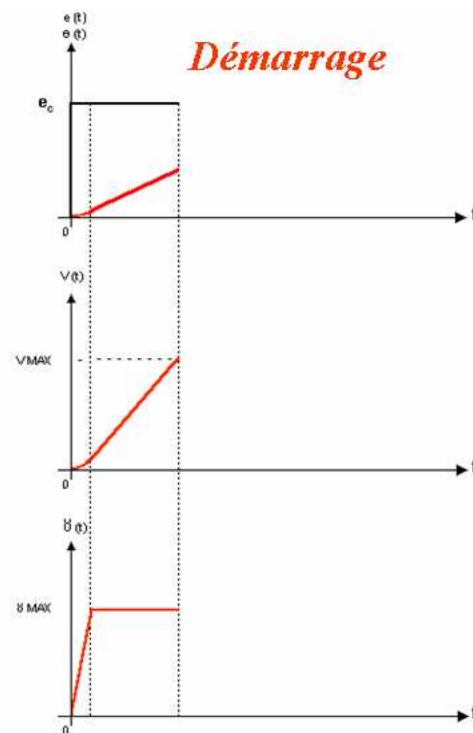


Remarques :

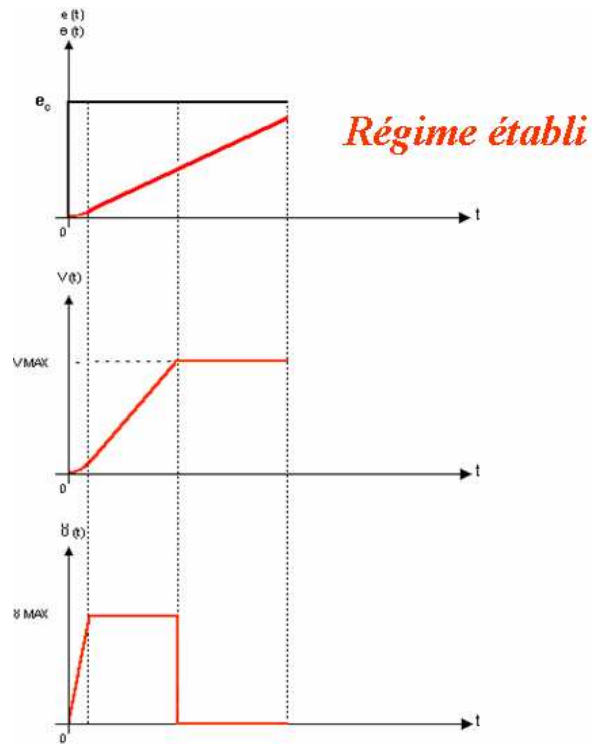
1) Dans les deux cas, si on est en régime permanent et que l'on déplace par un moyen quelconque l'arbre du moteur, alors le signal d'écart redevient non nul et le moteur est piloté. Il va se recalculer sur la position visée.

2) Si on observe les grandeurs mécaniques position, vitesse et accélération lors de la montée en réponse d'un asservissement de position on distingue trois phases :

- Au moment du démarrage, $\Sigma(t)$ est important, la limitation de courant dans le variateur limite l'accélération à une valeur γ_{MAX} , la vitesse et l'angle de rotation augmentent linéairement.

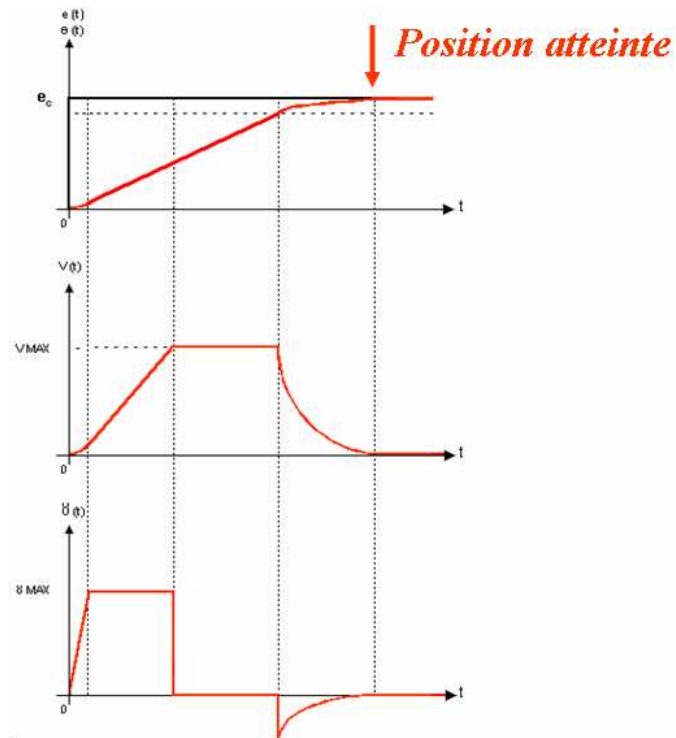


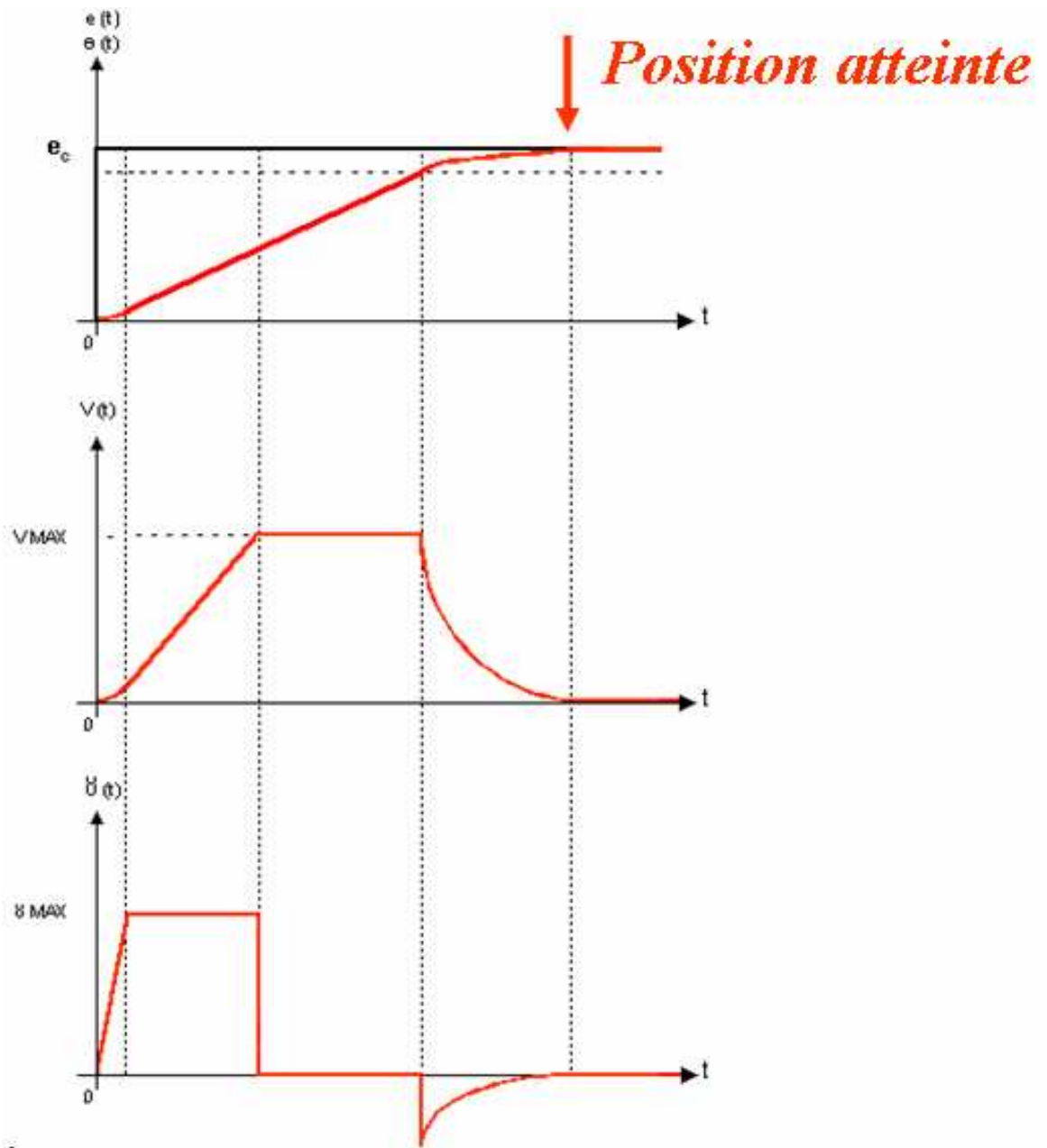
- La vitesse atteint une valeur limite V_{MAX} quand le couple moteur est égal au couple résistant, l'angle augmente linéairement.



Dans les deux premières phases l'asservissement est INOPERANT

- l'écart $\Sigma(t)$ est devenu suffisamment petit pour ne plus faire saturer la chaîne de commande de l'asservissement. L'asservissement est alors OPERANT. L'accélération s'inverse, la vitesse diminue et tend vers zéro la position tend vers la consigne jusqu'à l'atteindre.





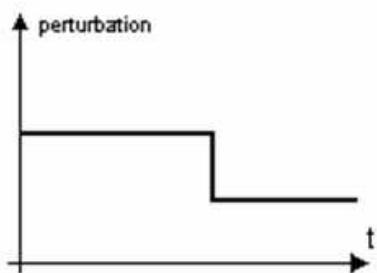
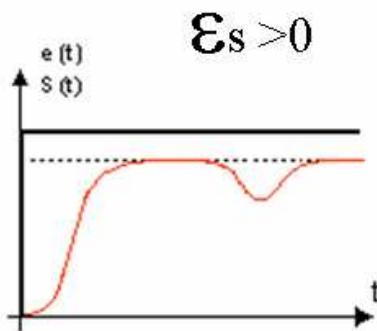
PERFORMANCES DES SYSTEMES ASSERVIS

\$ Précision

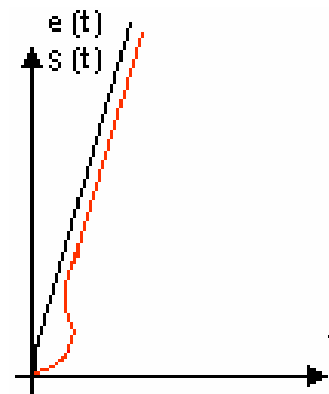
Elle est définie principalement par deux grandeurs:

écart statique, c'est une performance statique. Soumis à une consigne, le système répond et quand le régime permanent est atteint on compare la consigne et la réponse. Un système est précis si la sortie suit l'entrée en toutes circonstances avec un écart le plus réduit possible.

écart dynamique, le système est cette fois soumis à une entrée d'amplitude variable sous forme d'une droite $e(t) = a t$. C'est une consigne en rampe. On mesure toujours l'écart en régime permanent, c'est ce que l'on appelle l'erreur de traînage dans un asservissement de position.



écart statique

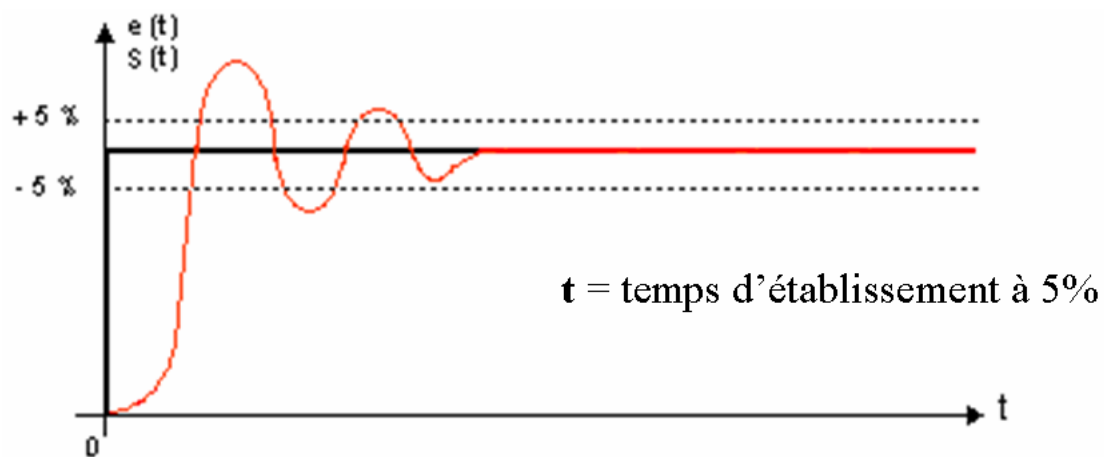
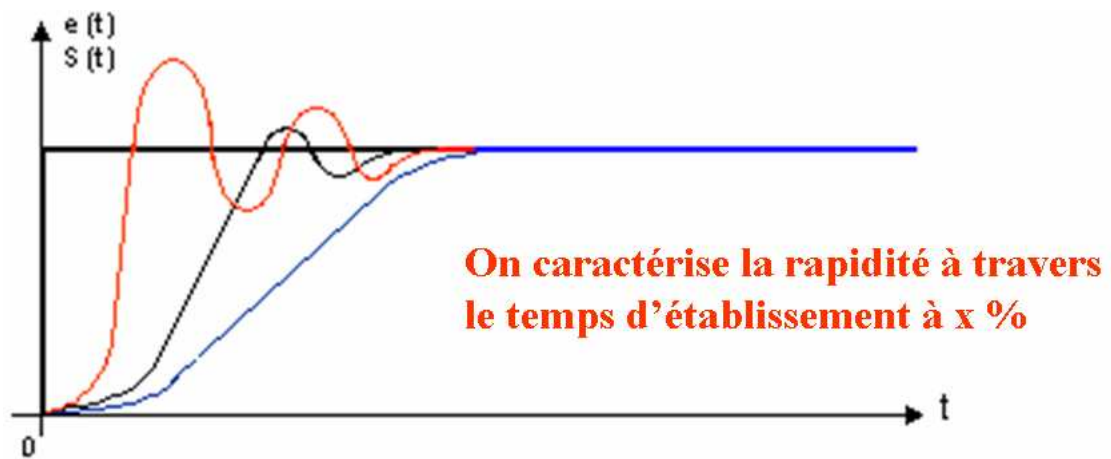


écart dynamique

+

\$ Rapidité

C'est une performance dynamique. Un système à une rapidité satisfaisante s'il se stabilise à son niveau constant en un temps jugé satisfaisant.



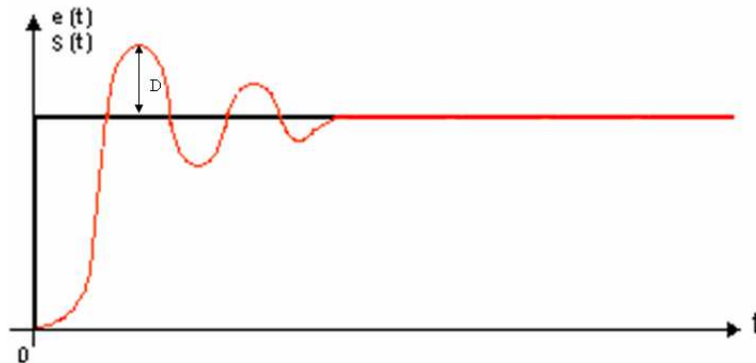
\$ Amortissement

Un bon amortissement est une capacité d'un système à ne pas présenter de dépassement important. Cela signifie deux choses :

- Le premier pic de la réponse ne doit pas excéder une certaine valeur $D < 10\%$ de la consigne,
- Le nombre d'oscillations avant la stabilisation devra être faible.

Il existe 4 cas typiques:

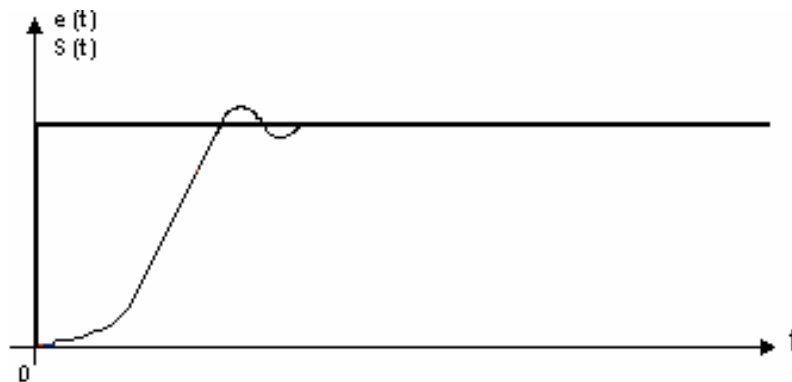
Réponse pas amortie



Conséquences:

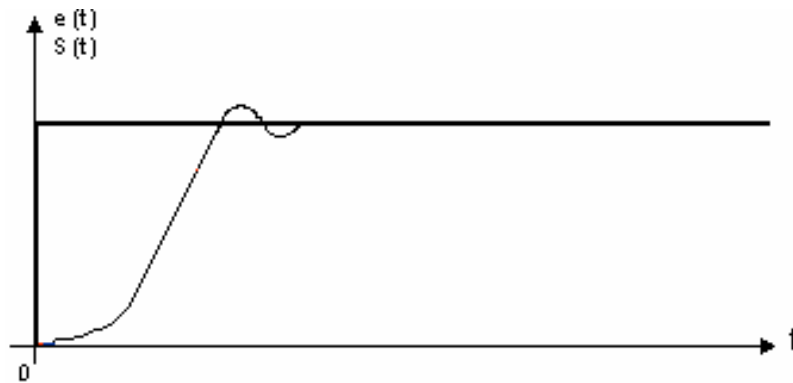
- dépassement D trop important
- temps de réponse trop grand
- oscillations mécaniques dangereuses.

Réponse correctement amortie



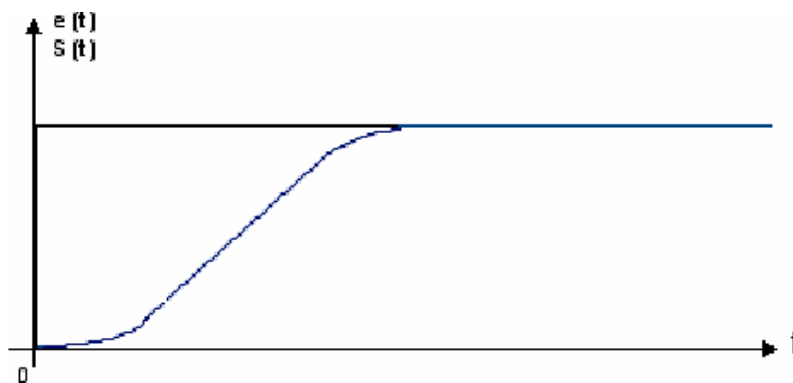
C'est le meilleur cas de figure:

- le dépassement est faible
- le temps de réponse est petit
- il n'y a pas d'oscillations.

Réponse bien amortie sans dépassement

Incontournable dans certains cas comme celui de la commande en position sur une CN ou on ne tolère aucun dépassement de l'outil.

- le dépassement n'existe plus
- le temps de réponse est un peu plus long
- pas d'oscillations.

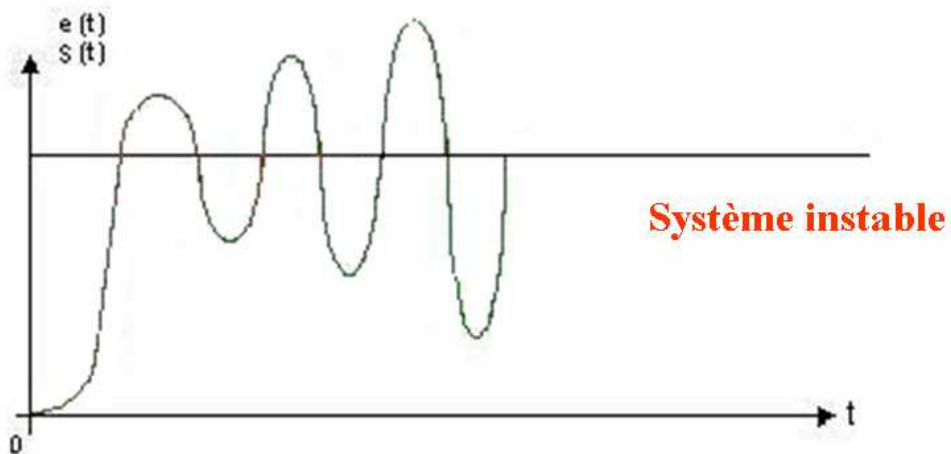
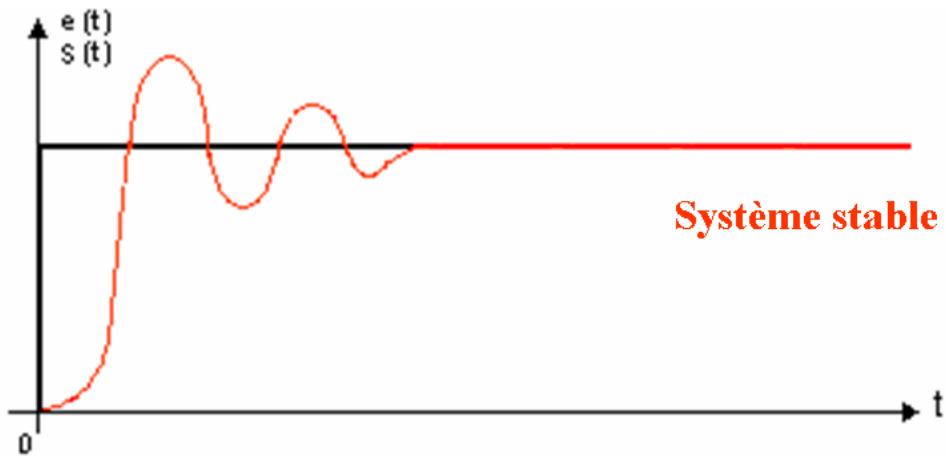
Réponse trop amortie

Conséquences:

- pas de dépassement
- temps de réponse élevé (système lent)
- pas d'oscillations.

\$ Stabilité

C'est la plus importante car un système instable est inutilisable. Pour une entrée de référence constante la sortie doit tendre vers une constante.



\$ Coût

Il doit être le plus faible possible dans le cadre défini par le cahier des charges, mais des performances élevées entraînent obligatoirement un coût important.

NOTION DE CORRECTEURS

D'une façon générale, un système asservi se représente classiquement sous la forme suivante, où l'entrée $e(t)$ du processus est une grandeur de commande (à faible énergie) qui est amplifiée au sein du processus pour réaliser la grandeur de sortie $s(t)$.

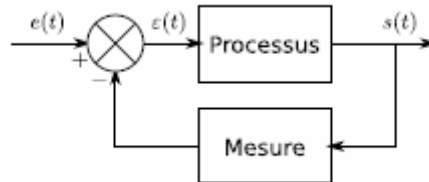
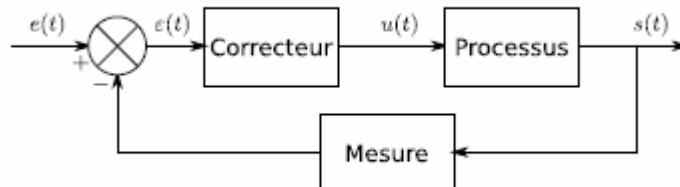


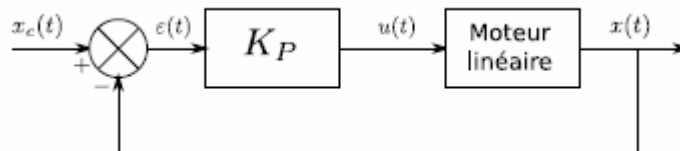
Schéma bloc typique d'un système asservi.

Lorsque le système ne satisfait pas naturellement les performances attendues, il est possible de modifier son comportement en boucle fermée sans modifier le processus. Il s'agit d'adapter la consigne d'entrée du processus en fonction de l'évolution de l'écart à la consigne $\varepsilon(t)$. C'est le rôle du correcteur.



Correcteur proportionnel (le système est trop lent)

Si le système converge trop lentement, une solution simple consiste alors à "lui faire croire" que l'écart à la consigne est K fois plus grand que l'écart réel pour amplifier sa réaction. On applique une consigne en entrée du processus égale à K fois l'écart mesuré. Si on utilise un correcteur du type proportionnel constitué d'un amplificateur de gain K , on obtient une loi de commande qui est proportionnelle à l'erreur: $u(t) = K \cdot \varepsilon(t)$.

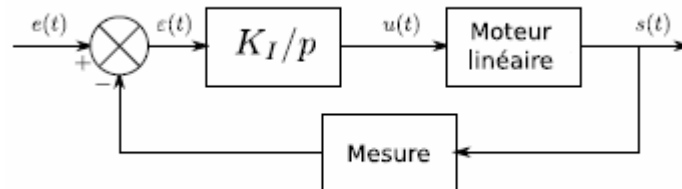


Le correcteur proportionnel augmente la rapidité du système (effet souhaitable) mais il augmente aussi son instabilité (effet non souhaitable en général). C'est le dilemme stabilité précision. Il faut déterminer la valeur de compromis.

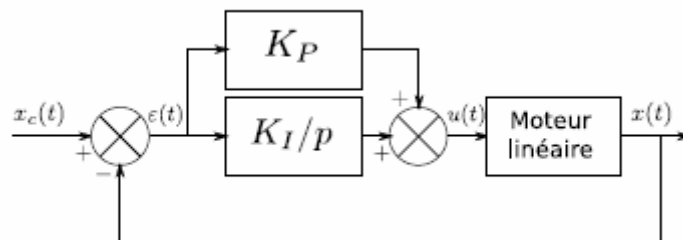
Correcteur intégral (le système n'est pas précis)

Si le système ne converge pas vers la valeur de consigne, soit parce qu'il n'est pas précis, soit parce qu'il est soumis à des perturbations.

Pour amener la valeur de sortie à la consigne, la partie commande doit donc augmenter la grandeur de commande tant qu'une erreur subsiste. Une solution est de commander le moteur en fonction du cumul des écarts mesurés. C'est une correction intégrale.



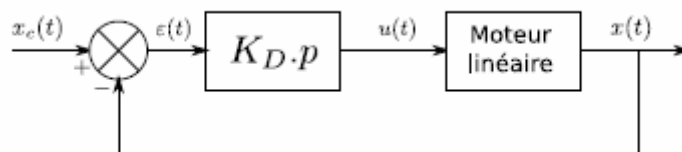
Le correcteur intégral a une action progressive et persévérante. L'intégrateur annule l'erreur statique. Par contre, le temps de réponse est largement augmenté (la commande augmente lentement car il faut attendre d'avoir intégré l'écart depuis un certain temps) et un dépassement apparaît, signe d'une dégradation de la stabilité. Pour cette raison, un correcteur intégral est rarement utilisé seul. On lui adjoint généralement une action proportionnelle afin de ne pas trop dégrader la rapidité et la stabilité.



Correcteur dérivé (le système n'est pas stable)

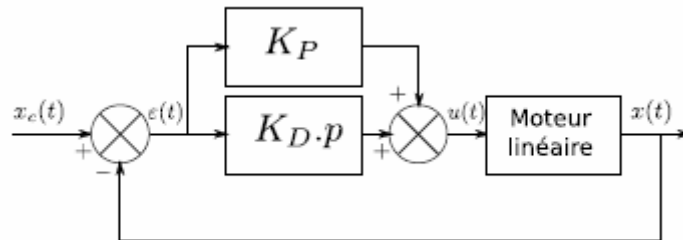
Si le système oscille trop avant de converger, cela provient généralement d'une grande inertie du système. Une commande sans correction conduit à une commande positive tant que le système n'a pas dépassé la consigne. Si le système a accumulé beaucoup d'inertie lorsqu'il atteint la consigne, il va alors dépasser cette consigne et l'écart devenu négatif doit relancer le système dans le sens opposé.

Il est donc logique d'anticiper et de ralentir à l'approche de la valeur de consigne, c'est-à-dire diminuer la commande, lorsque l'écart diminue rapidement. Il s'agit d'une correction dérivée.



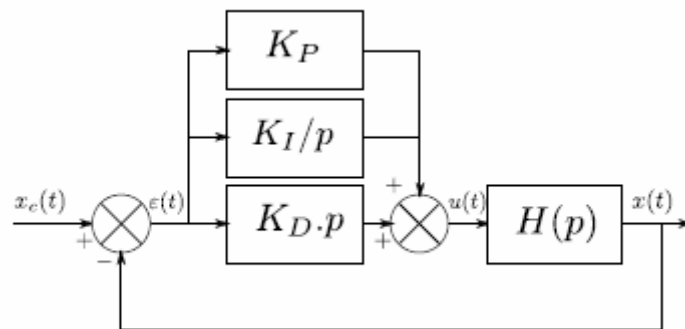
Le correcteur dérivé anticipe la correction en fonction de l'évolution de l'écart (agir tôt pour agir peu).

L'action dérivée pure n'est jamais utilisée car elle conduit à une diminution de la classe du système en boucle ouverte et donc une dégradation directe de la précision du système. On utilise donc l'action dérivée en complément d'une autre action, par exemple une action proportionnelle dérivée.



Correcteur PID

C'est l'association des trois correcteurs précédents permettant le réglage de l'asservissement par "dosage" de chaque correction.



- le correcteur Proportionnel augmente la précision, augmente la rapidité, déstabilise.
- Le correcteur intégral annule l'erreur statique, mais diminue la rapidité.
- Le correcteur dérivé stabilise.

Il existe trois méthodes pour régler un PID

- 1) Par approches successives. C'est un processus itératif donc long et empirique.
- 2) Par modélisation du procédé. C'est la méthode de l'ingénieur concepteur.
- 3) Par utilisation d'une méthode pratique " Ziegler et Nichols ".

La méthode de Ziegler et Nichols est une méthode semi empirique qui permet de calculer des valeurs convenables des différents paramètres dans les correcteurs de type PID.

Le principe consiste à amener, en augmentant le gain, un système non corrigé à la limite d'oscillation. On mesure la période T_0 des oscillations et le gain statique rajouté correspondant, K_0 . Ensuite on utilise le tableau ci-dessous (source INPG)

	K_p	T_i	T_d
correcteur P	$0,5 K_0$	-	-
correcteur PI	$0,45 K_0$	$0,8 T_0$	-
correcteur PID	$0,6 K_0$	$0,5 T_0$	$0,125 T_0$

LA COMMANDE D'AXE

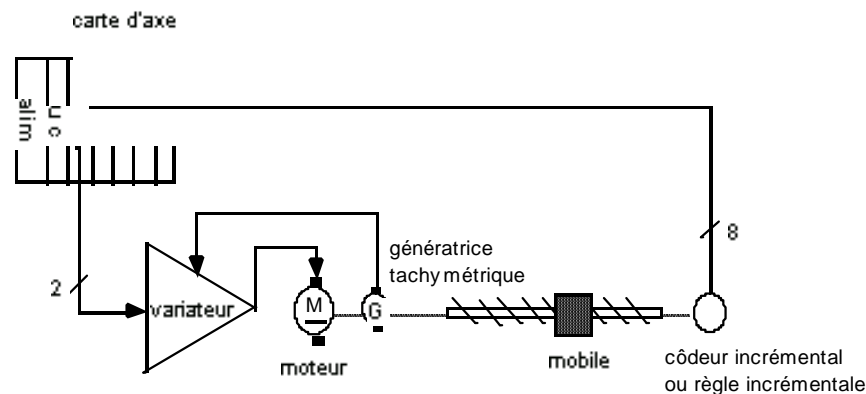
La commande d'axe sera réalisée par une carte d'axe qui pourra se placer dans le rack d'un A.P.I. (TELEMECANIQUE, APRIL, OMRON, etc.....) ou qui sera indépendante de l'A.P.I. (BALDOR., COMMANDAXE., etc.....)

Dans les deux cas la carte peut être mono ou multiaxes (jusqu'à 3 axes dans la même carte). La carte à son propre processeur et possède des entrées / sorties qui lui permettent de gérer le déplacement. La carte dialogue avec l'A.P.I. de la manière suivante:

- implantée dans le rack elle est considérée par l' UC comme une carte normale et échange au rythme du cycle.

- implantée hors A.P.I. elle échange des informations avec des entrées / sorties T.O.R ou par une liaison série via un coupleur A.P.I.

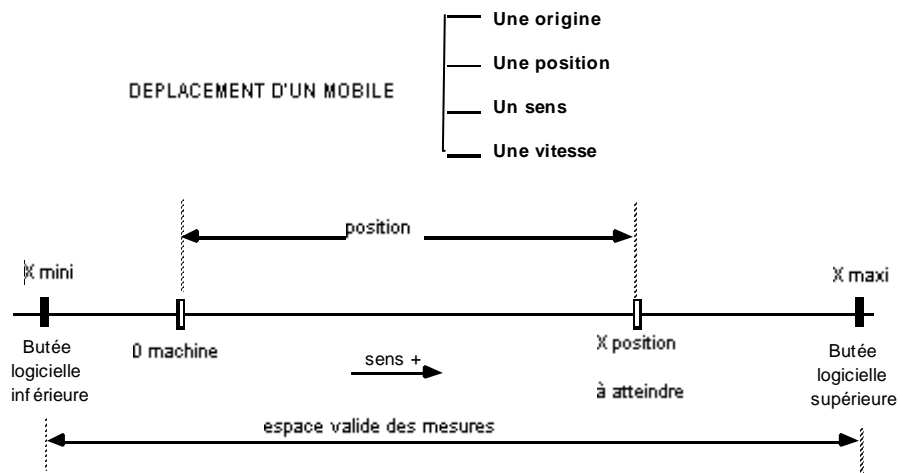
L'exemple suivant est développé sur une carte d'axe AXI 0010 (APRIL)
Cette carte permet de commander un cycle de n blocs sur un axe linéaire piloté par moteur ou servo-vanne. La carte assure un asservissement en vitesse et en position de cet axe.



Caractéristiques générales

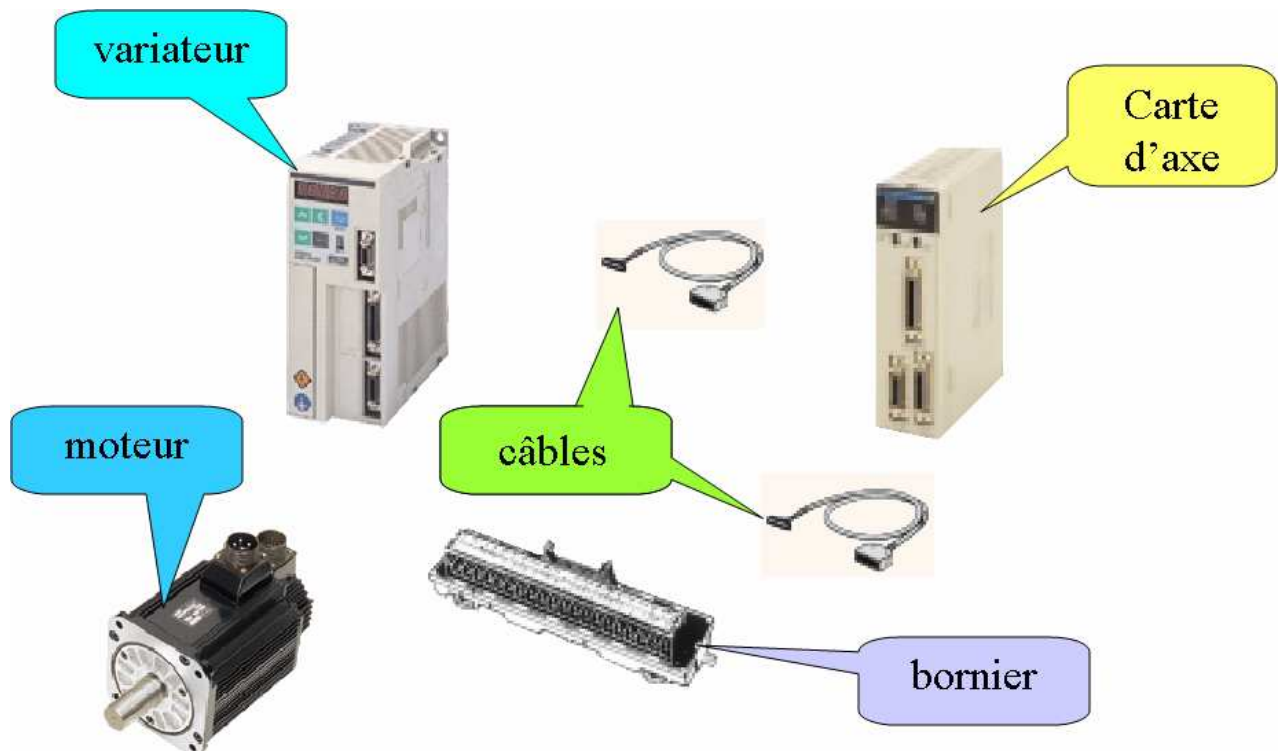
- 100 blocs maxi sur APRIL 5000.
- course maxi paramétrable: ± 10000 m
- définition $1\mu\text{m}$ sur ± 10000 m
- vitesse maxi 100 m/s
- accélération maxi 10 m/s/s
- fréquence maxi du codeur 125 KHz
- période d'échantillonnage 8 ms
- sortie analogique : ± 10 V (1K mini, 10mA Max)
- paramètres d'asservissement réglables par l'opérateur
- dialogue avec opérateur par liaison série (terminal d'atelier).
- isolation électrique 500 V

NOTION DE POSITION



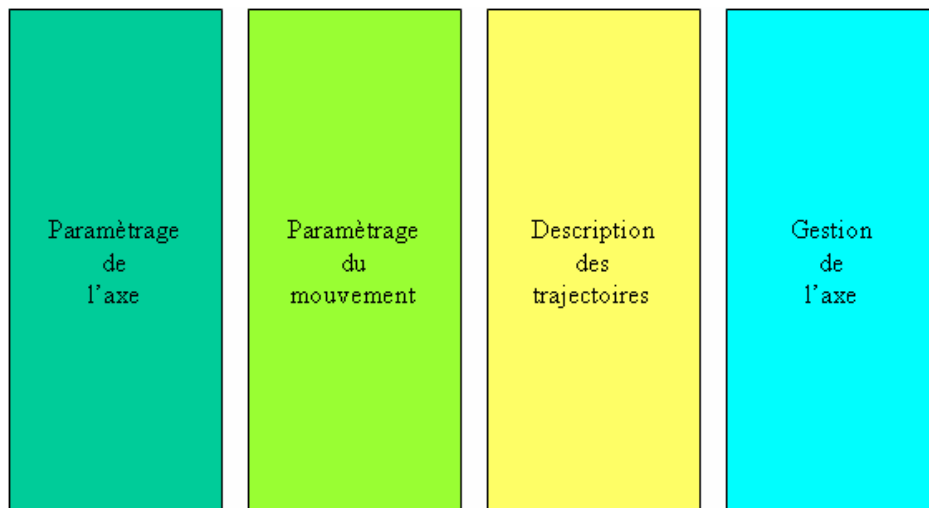
MISE EN OEUVRE MATERIELLE

Les interfaces de la carte commande d'axe avec le processus et l'environnement sont réalisés par l'intermédiaire de cinq connecteurs. L'état de la carte est visualisé par 19 LED.

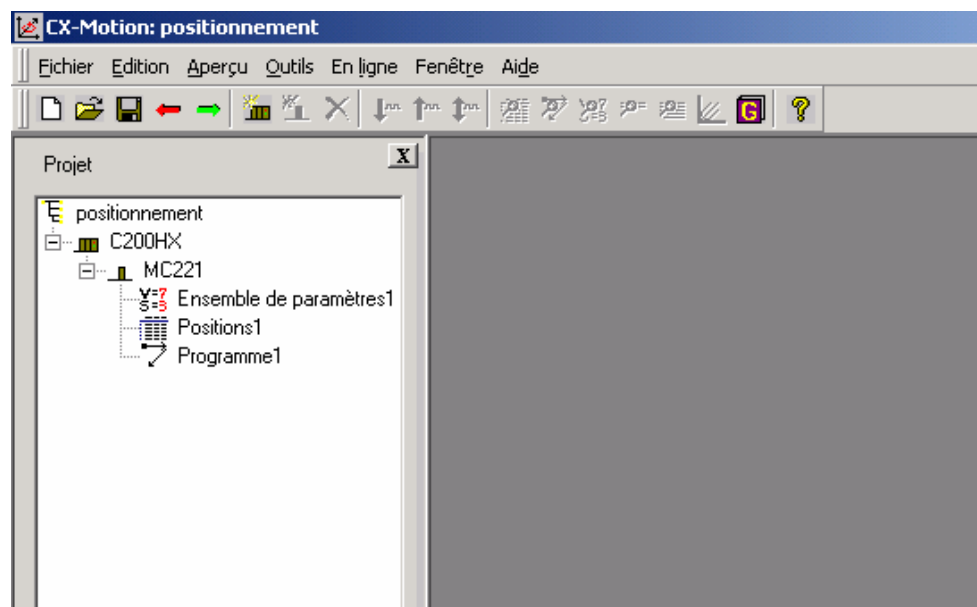


UTILISATION

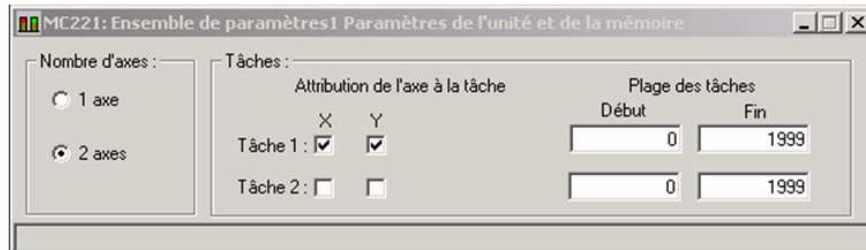
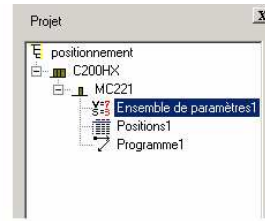
Quelle que soit son type, l'utilisation d'une carte d'axe nécessite quatre étapes.



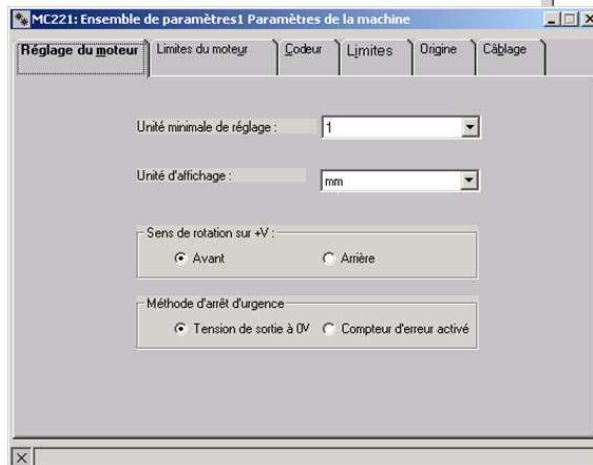
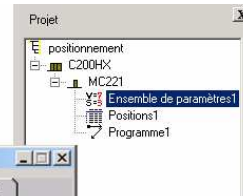
1) Paramétrage de l'axe



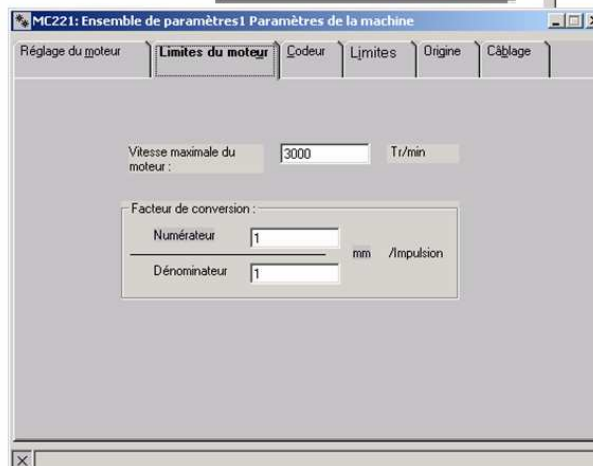
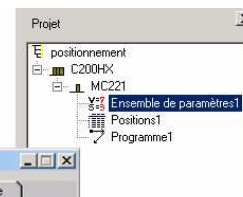
Paramétrage de l'unité et de la mémoire



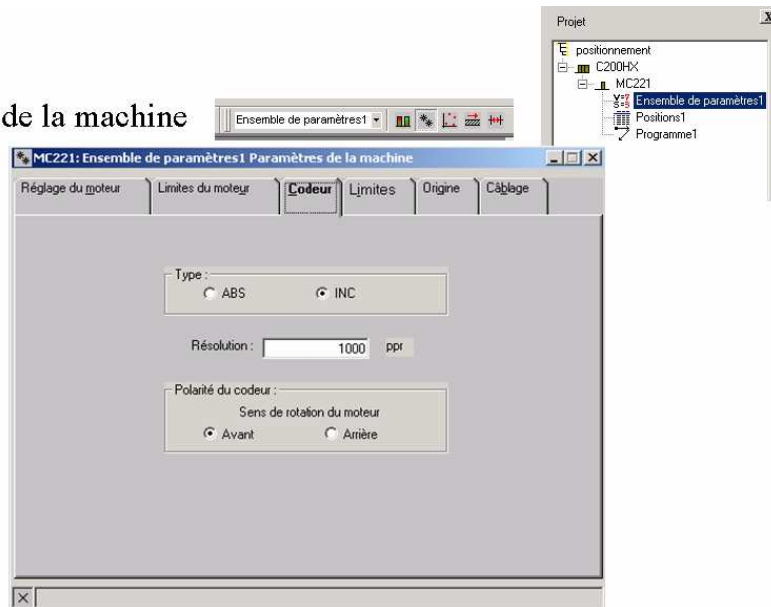
Paramétrage de la machine



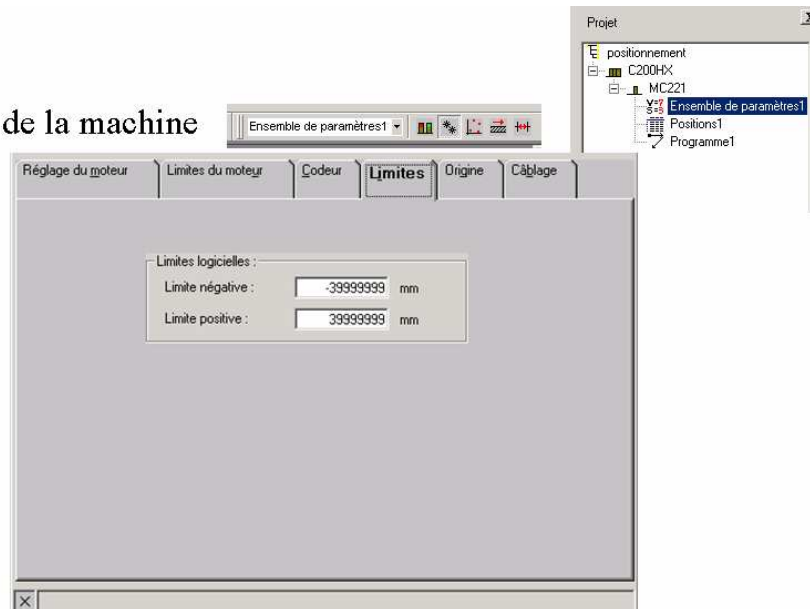
Paramétrage de la machine



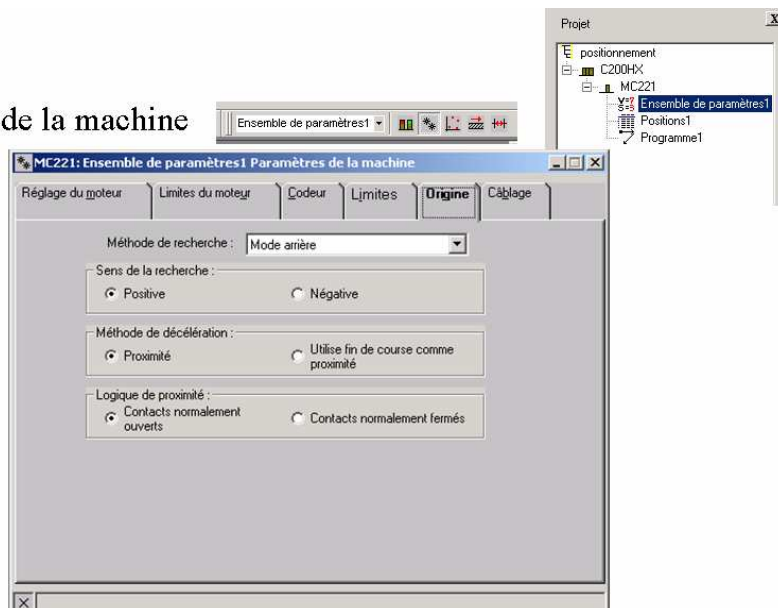
Paramétrage de la machine



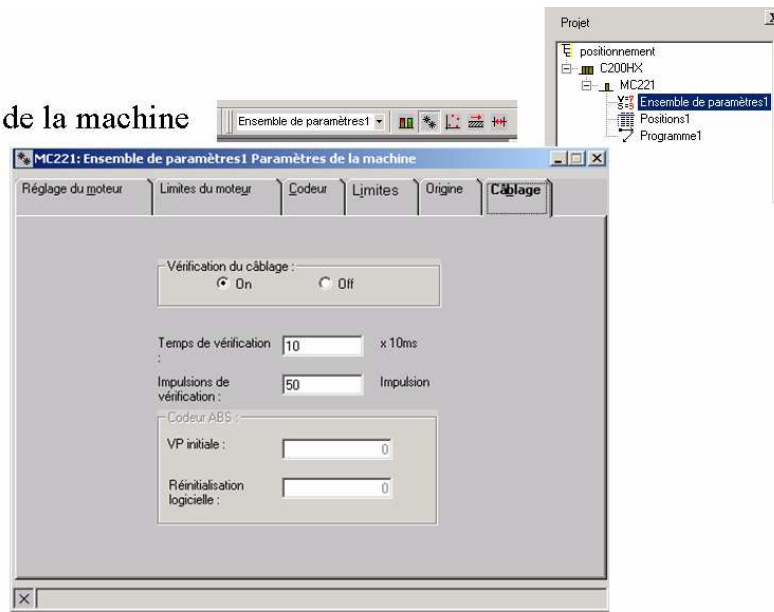
Paramétrage de la machine



Paramétrage de la machine

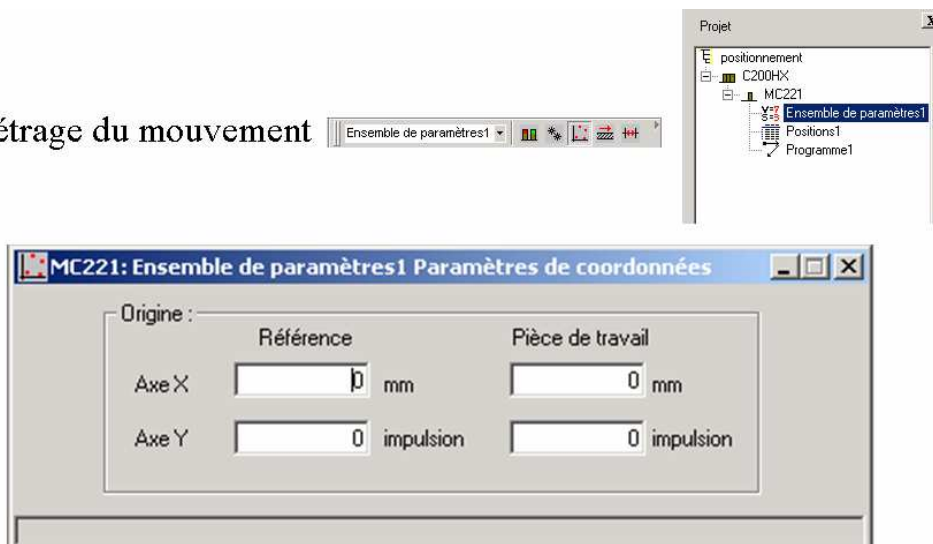


Paramétrage de la machine

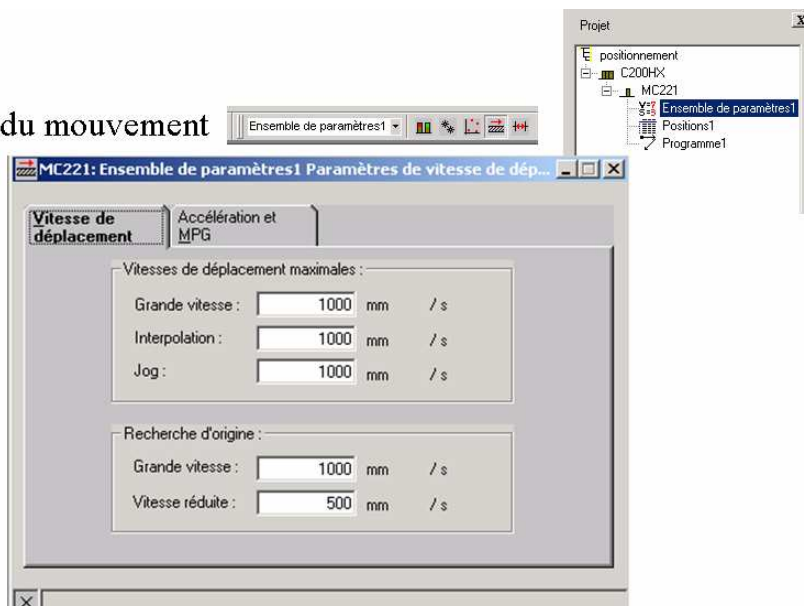


2) Paramétrage du mouvement

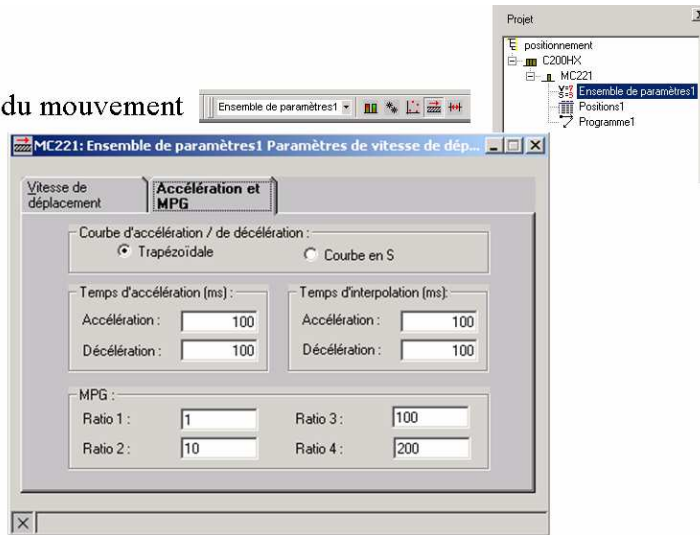
Paramétrage du mouvement



Paramétrage du mouvement



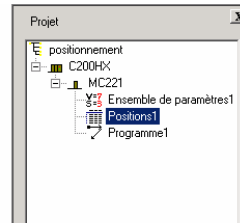
Paramétrage du mouvement



3)\$ Description des trajectoires

Description des trajectoires

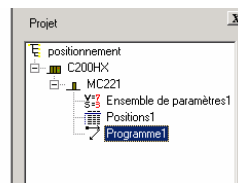
Adresse	Valeur	Etiquette
0	0	
1	-65516	
2	-65526	
3	0	
4	0	
5	-65526	
6	60	
7	150	
8	0	
9	0	
10	0	
11	-65436	
12	0	
13	0	
14	0	
15	0	



Description des trajectoires

```

N000 P010 XY
*001 CODE FAMILIARIZATION PROGRAM - P010.
*002 MARCH 1998'
*003 #
N004 G72 P510
*005 DO POSITIONING MOVES
*006 #
N007 G26 XY
*008 FINISH LINE BE CREATED
    
```



4) Gestion des trajectoires

Pour gérer l'axe l'utilisateur insère dans son programme des expressions combinatoires utilisant des boîtes fonctionnelles dédiées. Ces boîtes sont au nombre de douze:

- modification du mode de marche	CHGMODE
- visualisation du mode de marche	MODE
- pilotage d'un axe en manuel à vue	MANUAX
- lancement d'une trajectoire	START-T
- arrêt d'une trajectoire	QUIT-T
- exécution d'une trajectoire en bloc/bloc	BL-BL
- programmation des sécurités	SECURIT
- gestion des défauts	ALARM
- modification des vitesses	ADJUST
- validation des commandes terminal	OKTERM
- visualisation de la trajectoire	TRAJ
- visualisation dynamique de la trajectoire	COURSE