

# Contrôle des machines électriques



# Introduction

Nicolas DAMAY  
Maître de conférences  
Département IM

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
[nicolas.damay@utc.fr](mailto:nicolas.damay@utc.fr)

*Cours SY03 : contrôle des machines électriques*

## Exemples de contrôle de machines électriques

- Contrôle de force/couple
  - Enroulement à force de traction constante
- Contrôle de vitesse
  - Usinage : fraisage, tournage
  - Convoyeurs
- Positionnement
  - Perçage
  - Soudure par points
  - Placement de composants
- Contrôle de trajectoire dans l'espace
  - Robotique
  - Machine outil
  - Soudure à l'arc

## Problème de régulation

- Maintenir une grandeur à une valeur constante fixée (= consigne), malgré l'influence de perturbations
  - Ex : vent, pente, frottements variables (convoyeur de pierres)...

## Problème d'asservissement

- Contrôle dynamique d'une grandeur ayant une consigne variable
- Les processus physiques ont une tendance à l'inertie (masse, effet inductif, capacité thermique...)
- Mouvements rapides = dépense d'énergie élevée

## Souvent : régulation + asservissement

- Suivi d'une consigne variable en présence de perturbations

## Éléments principaux du cahier des charges

- Précision : écart entre la valeur obtenue et la consigne
  - Régulation : précision statique
  - Asservissement : précision dynamique
  
- Rapidité de réponse, dynamique
  - Régulation : vitesse de rejet des perturbations
  - Asservissement : temps de réponse (à un échelon), bande passante (entrée sinus)
  
- Robustesse : tolérance aux variations des caractéristiques du système
  - Tolérances de fabrication
  - Echauffement
  - Vieillessement
  - ...

# Principes généraux

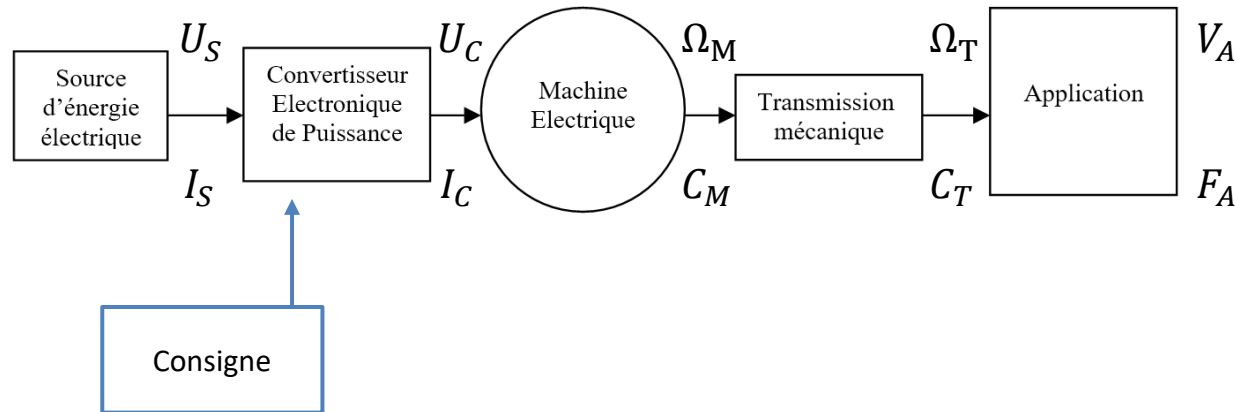
Nicolas DAMAY  
Maître de conférences  
Département IM

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
[nicolas.damay@utc.fr](mailto:nicolas.damay@utc.fr)

*Cours SY03 : contrôle des machines électriques*

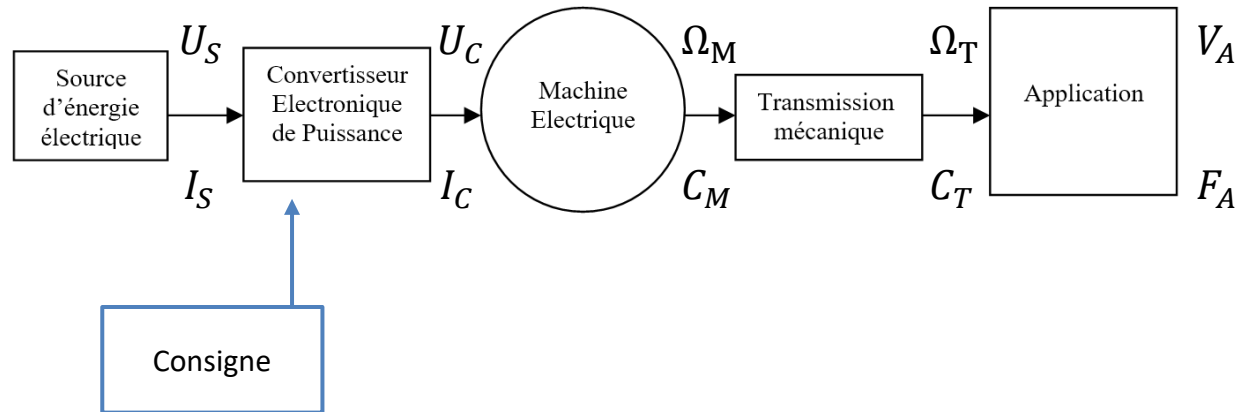
## Applications à vitesse constante sans régulation

- Ex : tapis roulant d'usine, pompe, sèche cheveux...
- Commande en boucle ouverte
  - Pas forcément besoin de capteur
  - Il faut connaître parfaitement le système à commander
- La vitesse est fixée lors de la conception du système
- Avantages : simple, faible coût
- Inconvénients : peu robuste, sensible aux perturbations et réponse lente



## Applications à vitesse constante sans régulation

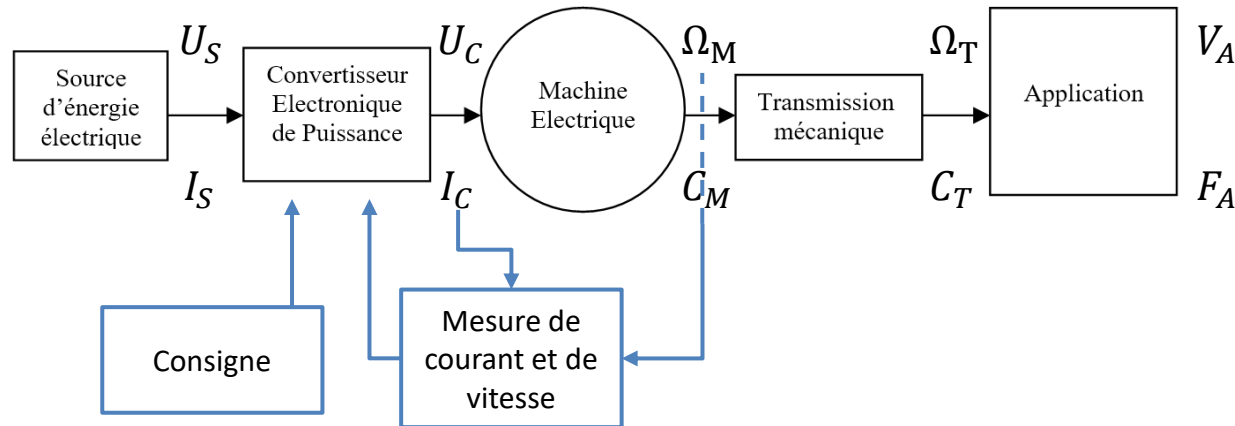
- Ex : machine synchrone branchée sur le réseau 230/400V - 50 Hz
  - Vitesse exactement proportionnelle à la fréquence
  - Le couple s'adapte pour maintenir la vitesse (le courant consommé aussi)
- Machine à courant continu alimentée à tension constante  $U$ 
  - $U = E + RI = k_\phi \Omega + RC/k_\phi$ , soit  $\Omega = U/k_\phi - RC/k_\phi^2 = f(\text{couple})$
  - Si le couple augmente => la vitesse diminue
- Machine asynchrone branchée sur le réseau 230/400V - 50 Hz
  - Vitesse à peu près proportionnelle à la fréquence (au glissement près)
  - Si le couple augmente => le glissement augmente => la vitesse diminue





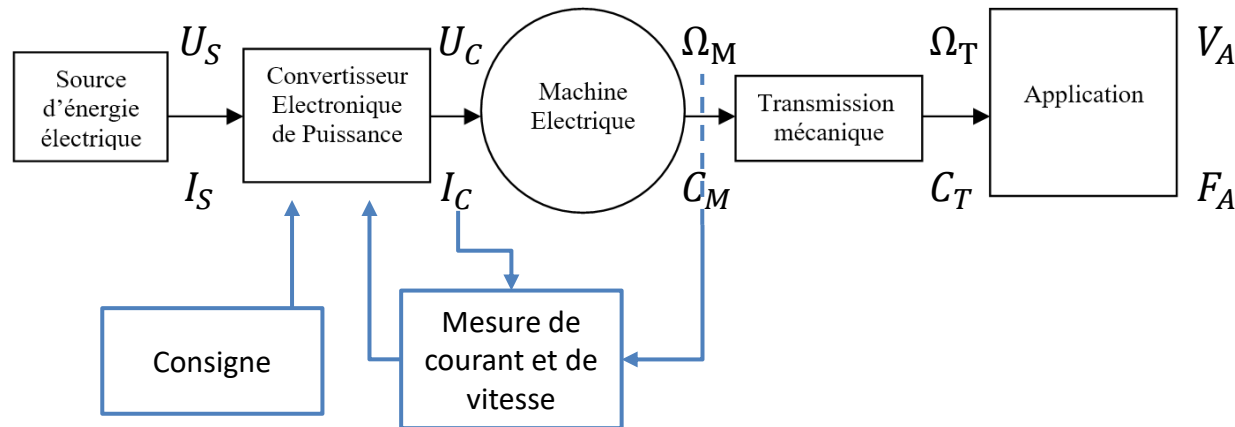
## Applications à vitesse constante avec régulation

- Ex : régulateur de vitesse automobile
- Commande en boucle fermée
  - Besoin de capteur(s)
- Un signal de commande fixe impose une vitesse  $\Omega_c$ 
  - Mais la vitesse peut varier à cause de perturbations (pente, vent, graviers...)
  - Besoin d'adapter le couple (donc l'alimentation) pour garantir la vitesse



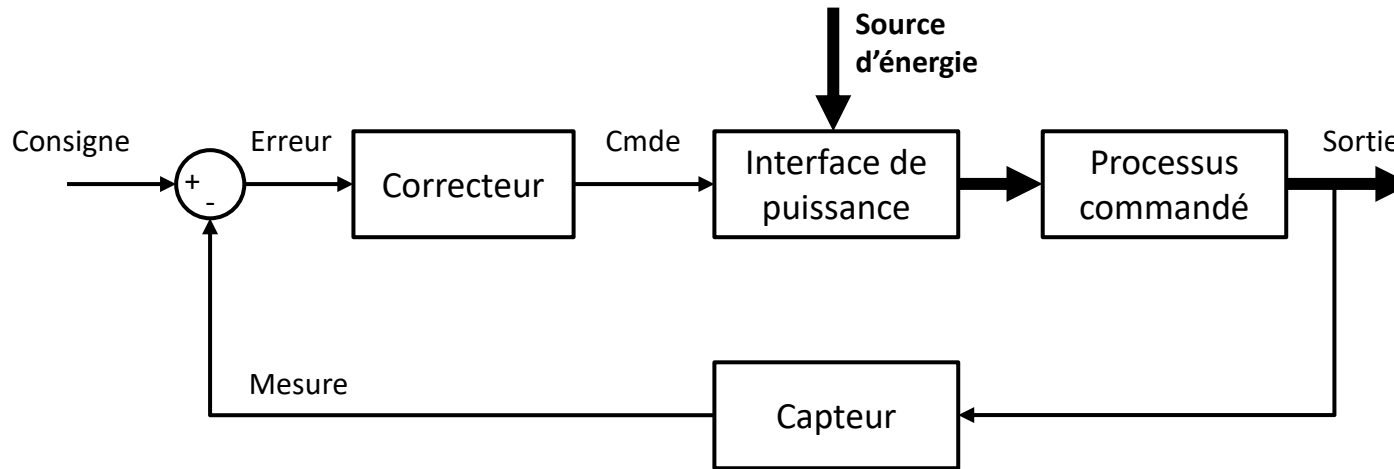
## Applications à vitesse constante avec régulation

- Ex : machine à courant continu alimentée par un CEP
  - Consigne  $\Omega_c$  et mesure de la vitesse  $\Omega_{mes}$
  - Si  $\Omega_{mes} > \Omega_c$  : diminution de la tension
  - Si  $\Omega_{mes} < \Omega_c$  : augmentation de la tension
- /!\ Respect des limites de fonctionnement /!\
  - Besoin d'une mesure de courant
  - Si le courant dépasse la valeur limite : réduction de la tension
  - Ex : commande à 1500 tr/min mais rotor bloqué... => courant infini ?! => non



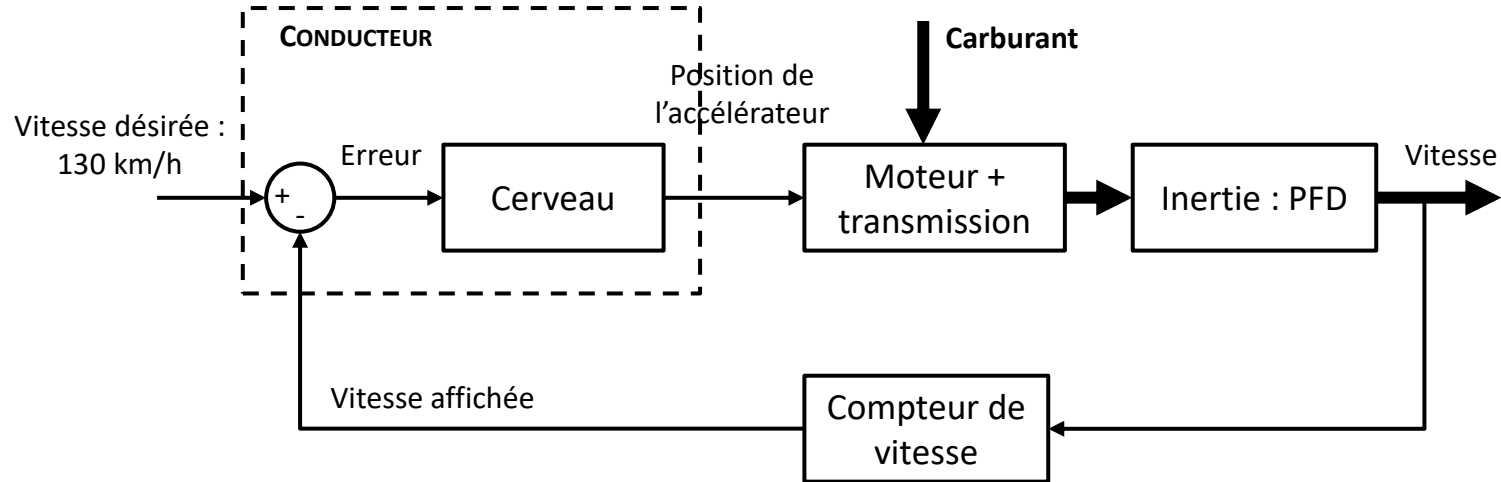
## Principe de la boucle fermée (« système bouclé »)

- Objectif : sortie = consigne
  - Vérification de la « sortie » par la mesure
  - Action sur la commande (cmde) si sortie  $\neq$  consigne



- **Capteur** : convertit la grandeur de sortie en signal utilisable par la commande
- **Comparteur** : soustracteur qui réalise l'opération « Consigne – Mesure »
- **Correcteur** : agit sur la commande pour tenter d'annuler l'erreur

## Exemple de contrôle de la vitesse d'une voiture



## Remarques

- Le conducteur ne connaît pas le processus, il se base uniquement sur l'erreur
- En réalité, **c'est la mesure qui est asservie** et non la sortie (/!\ fiabilité)
  - Une personne ne régule pas la vitesse de la voiture, mais la vitesse indiquée par le compteur
- Un système bouclé mal conçu ou mal réglé peut être instable
  - Il se met à osciller ou à diverger

## Correcteur P (proportionnel)

$$Commande(t) = K_p \times Err(t)$$

- **Action P** : action de base qui tend à réduire l'erreur mais ne l'annule pas toujours
- En effet, quand l'erreur est nulle, la commande s'annule elle aussi
- Il faut donc qu'il y ait une erreur pour que la commande soit non nulle
- Coefficient  $K_p$  : permet de régler le correcteur
  - S'il est fort : dynamique plus rapide, erreur statique diminuée mais risque d'instabilité
  - S'il est faible : dynamique plus lente, erreur statique augmentée mais plus de stabilité

## Correcteur PI (Proportionnel Intégral)

$$Commande(t) = K_p \times Err(t) + K_I \times \int_0^t Err(\tau). d\tau$$

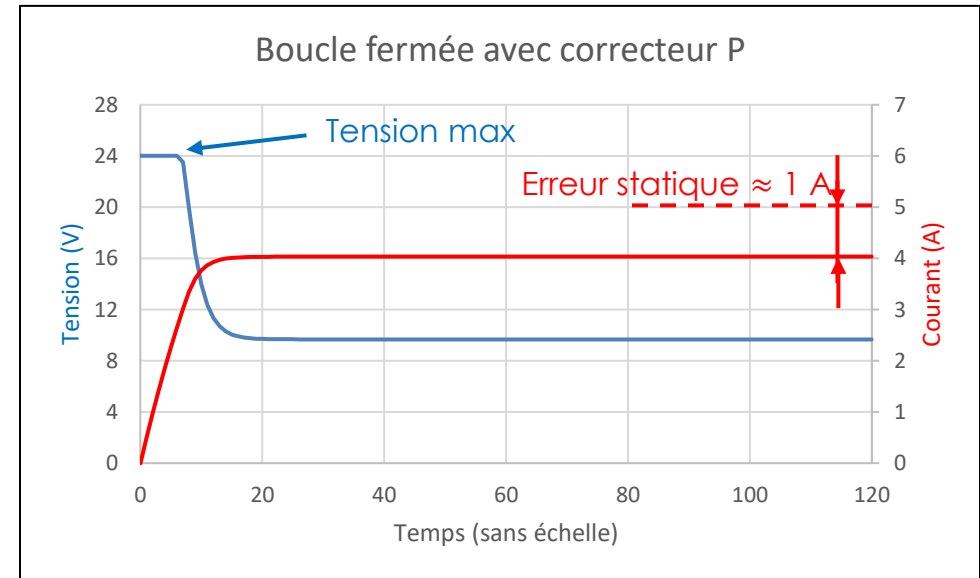
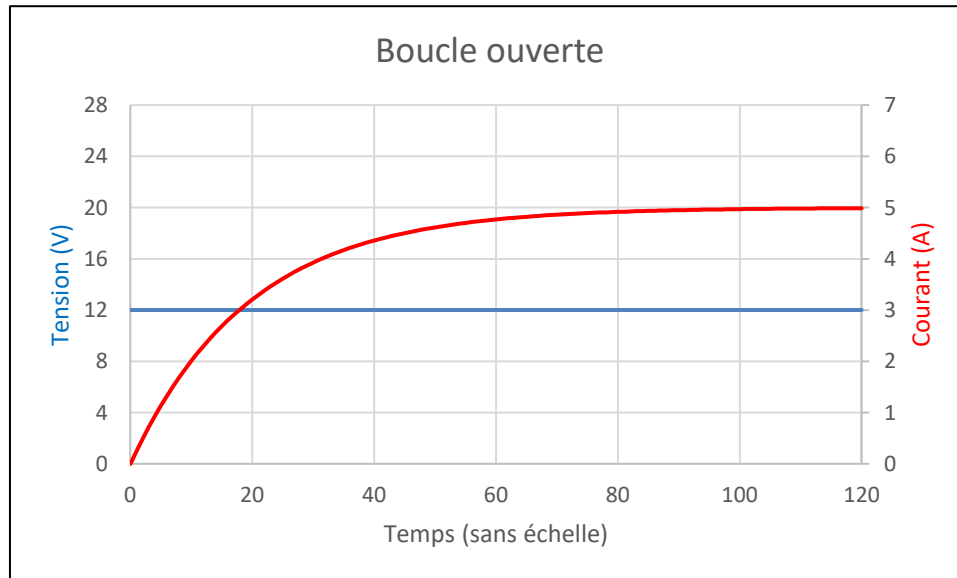
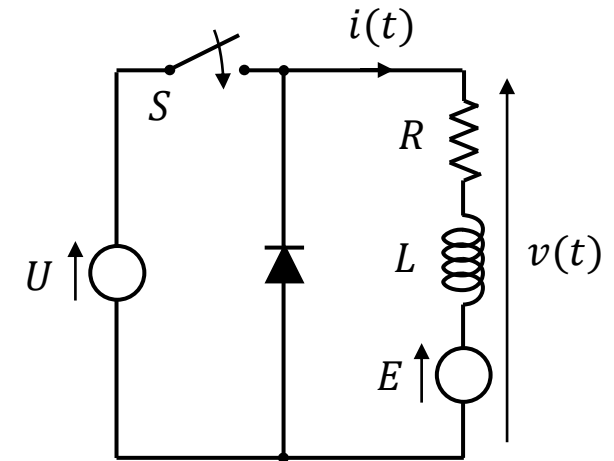
- **Action I** : doit permettre d'obtenir une erreur nulle lorsque la consigne est constante

## Ex : régulation en courant (correcteur P)

- Respect des limites (ex : tension max = 24 V)

$$\frac{L}{R} \frac{di}{dt} + i = \frac{\alpha U - E}{R}$$

- **Objectif : atteindre un courant de 5 A ( $E = 0$  V)**
- **Commande de la tension (rapport cyclique  $\alpha$ )**

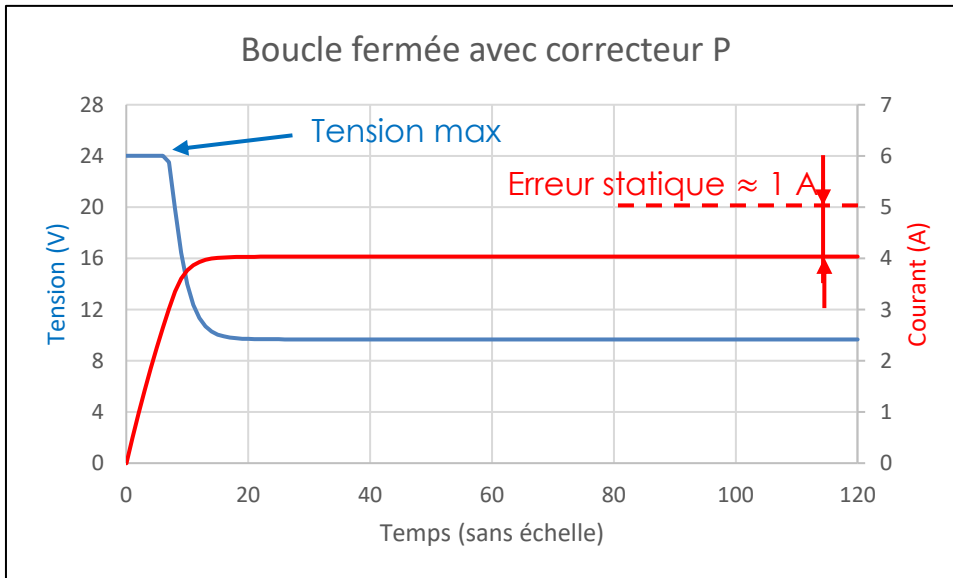
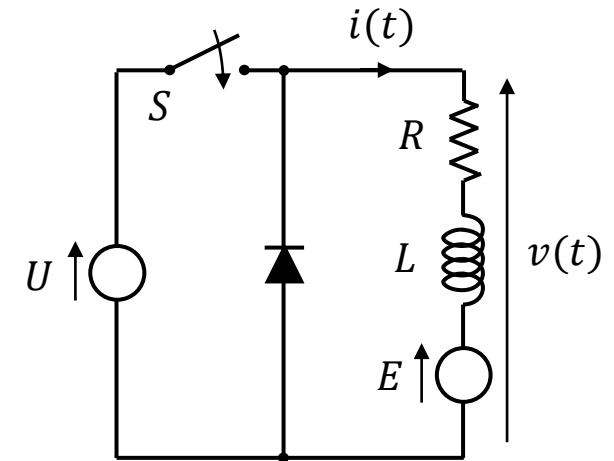


- Estimation de la tension nécessaire
- Dynamique lente et peu robuste (/!\ incertitudes)

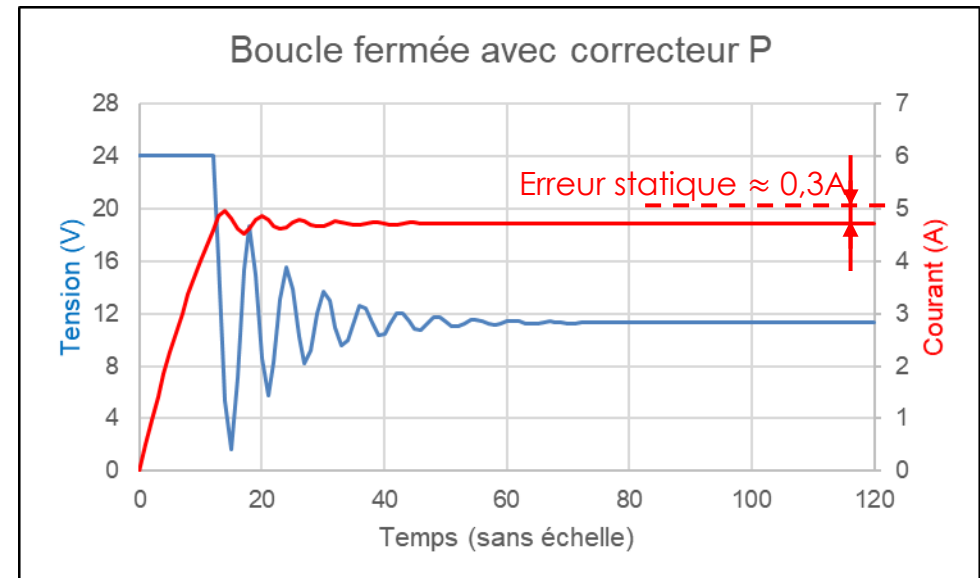
- Augmentation de la tension si sortie < consigne
- Meilleure dynamique, mais erreur statique

## Ex : régulation en courant (correcteur P)

- Coefficient  $K_P$  : permet de régler le correcteur
  - S'il est fort : dynamique plus rapide, erreur statique diminuée mais risque d'instabilité
  - S'il est faible : dynamique plus lente, erreur statique augmentée mais plus de stabilité



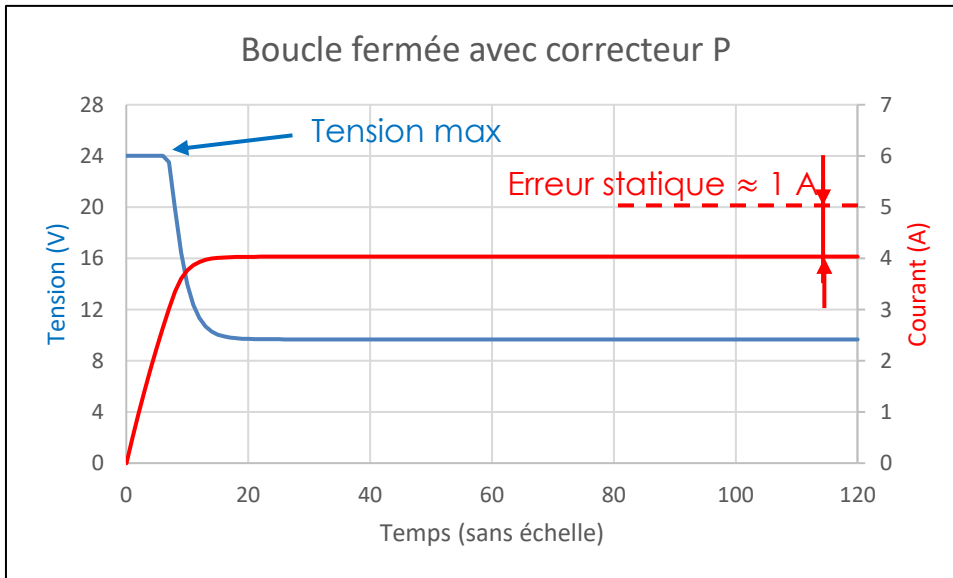
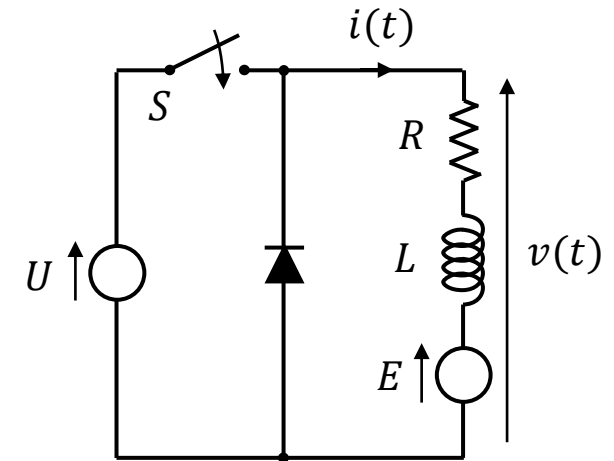
- Augmentation de la tension si sortie < consigne
- Meilleure dynamique, mais erreur statique



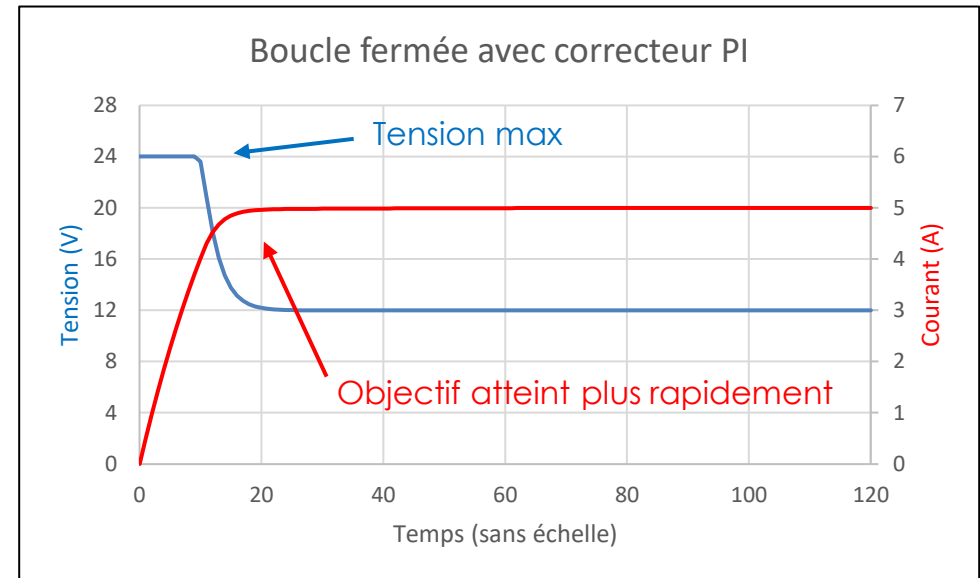
- Ex : correcteur P avec un **coeff  $K_P$  plus élevé**
- Erreur statique réduite, mais apparition **d'oscillations**

## Ex : régulation en courant (correcteur PI)

- $Commande(t) = K_p \times Err(t) + K_I \times \int_0^t Err(\tau).d\tau$
- **Action I** : doit permettre d'obtenir une erreur nulle lorsque la consigne est constante
- Amélioration de la commande



- Dynamique intéressante, mais erreur statique

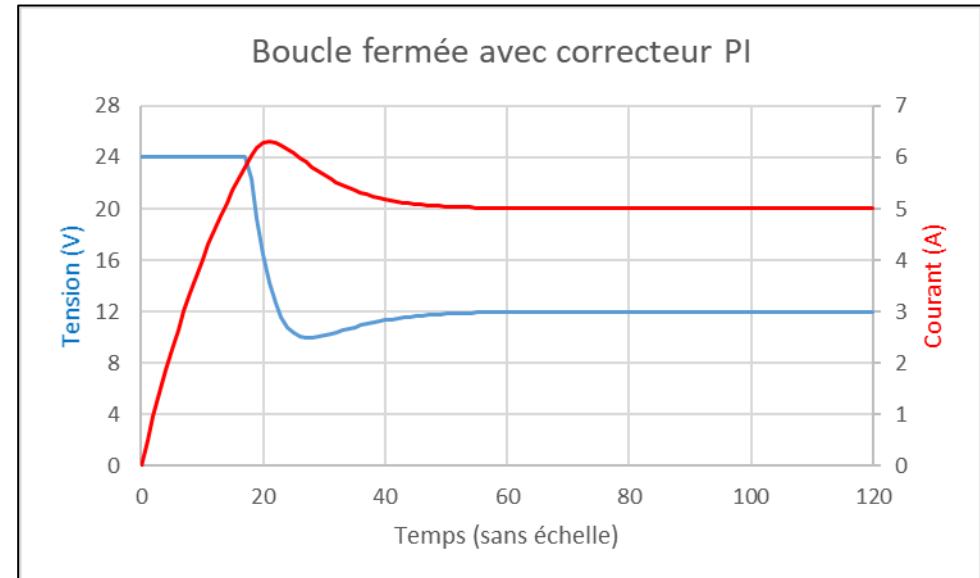
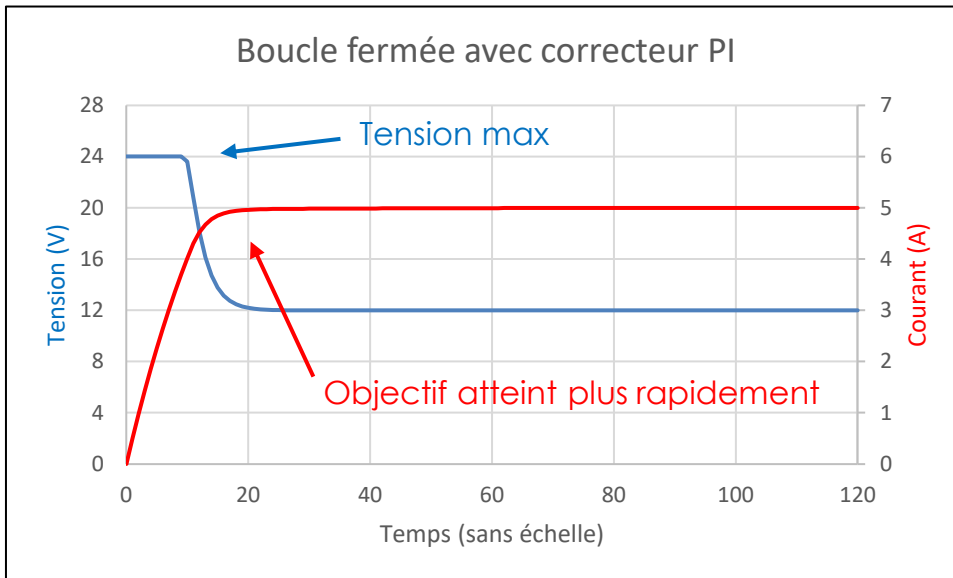
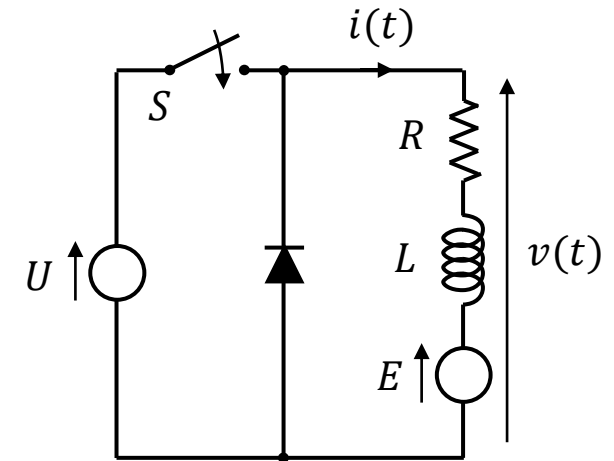


- Dynamique comparable au correcteur P, mais annulation de l'erreur statique



## Ex : régulation en courant (correcteur PI)

- $Commande(t) = K_P \times Err(t) + K_I \times \int_0^t Err(\tau). d\tau$
- **Action I** : doit permettre d'obtenir une erreur nulle lorsque la consigne est constante
- Attention au réglage de  $K_I$



- Dynamique comparable au correcteur P, mais forte réduction de l'erreur statique

- Ex : correcteur PI avec un **coeff  $K_I$  plus élevé**
- Apparition d'un **dépassement** (*overshoot*) qui peut endommager le système

## Correcteur PID (Proportionnel Intégral Dérivée)

$$Commande(t) = K_P \times Err(t) + K_I \times \int_0^t Err(\tau). d\tau + K_D \frac{d Err(t)}{dt}$$

- **Action D** : doit tenir compte de l'évolution de l'erreur dans la commande (effet prédictif)
- Ce type de correcteur est très largement utilisé dans l'industrie
- Le réglage des coefficients  $K_P$ ,  $K_I$  et  $K_D$  est parfois délicat et se fait souvent de manière empirique

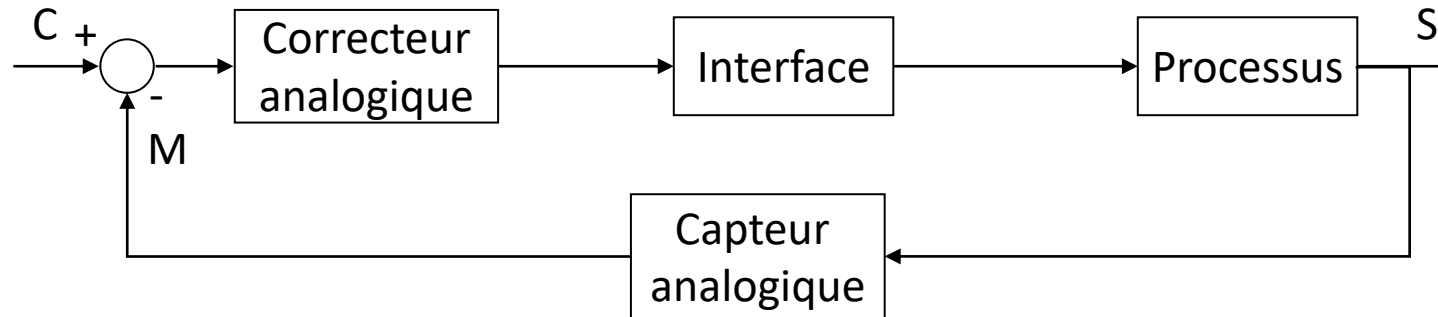
## Autres principes

- Retour d'état
- Logique floue
- Réseaux de neurones
- ...

## Comparaison boucle ouverte / boucle fermée

	Boucle ouverte	Boucle fermée
Avantages	- Economique (pas de capteur)	- Meilleure précision - Bonne compensation des perturbations
Inconvénients	- Nécessite un modèle précis - Réponse lente pour certains systèmes (tels que les moteurs électriques)	- Nécessite un capteur et l'étude de la boucle

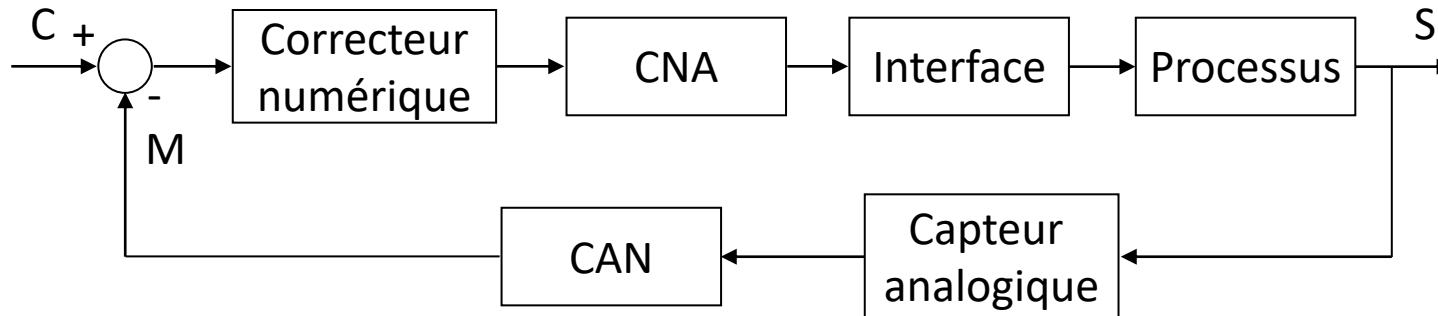
## Commandes analogiques et numériques



### Correcteur analogique et capteur analogique

- Commande analogique :
  - correcteur = circuit électronique linéaire
  - information = signaux électriques
- Commande numérique :
  - correcteur = calculateur
  - information = signaux numériques

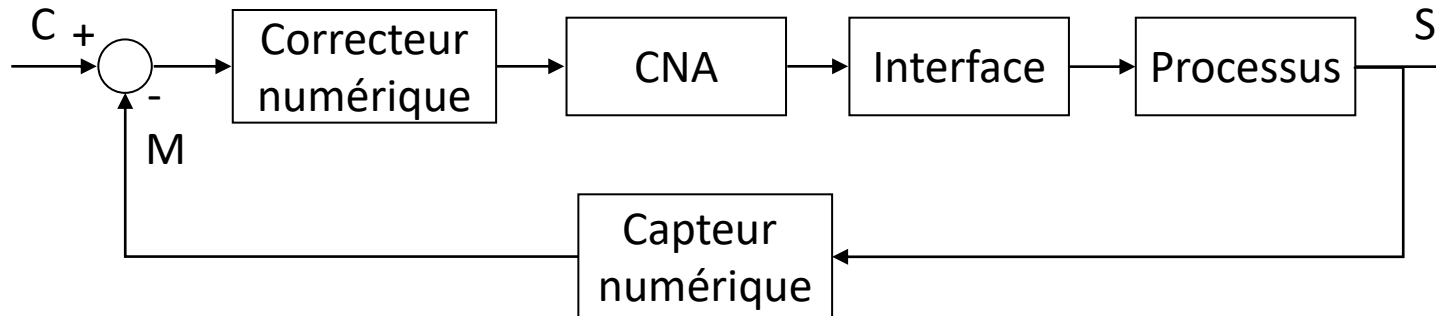
## Commandes analogiques et numériques



### Correcteur numérique et capteur analogique

- Commande analogique :
  - correcteur = circuit électronique linéaire
  - information = signaux électriques
- Commande numérique :
  - correcteur = calculateur
  - information = signaux numériques

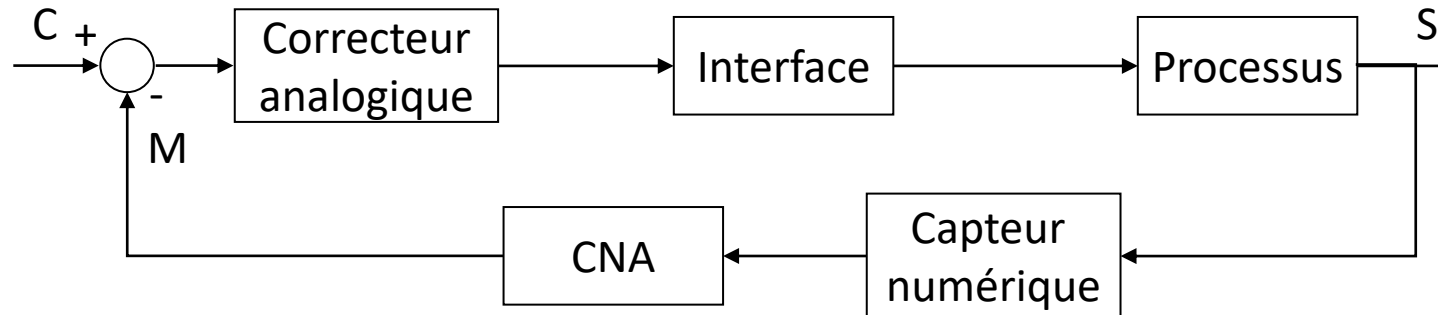
## Commandes analogiques et numériques



### Correcteur numérique et capteur numérique

- Commande analogique :
  - correcteur = circuit électronique linéaire
  - information = signaux électriques
- Commande numérique :
  - correcteur = calculateur
  - information = signaux numériques

## Commandes analogiques et numériques



### Correcteur analogique et capteur numérique

- Commande analogique :
  - correcteur = circuit électronique linéaire
  - information = signaux électriques
- Commande numérique :
  - correcteur = calculateur
  - information = signaux numériques

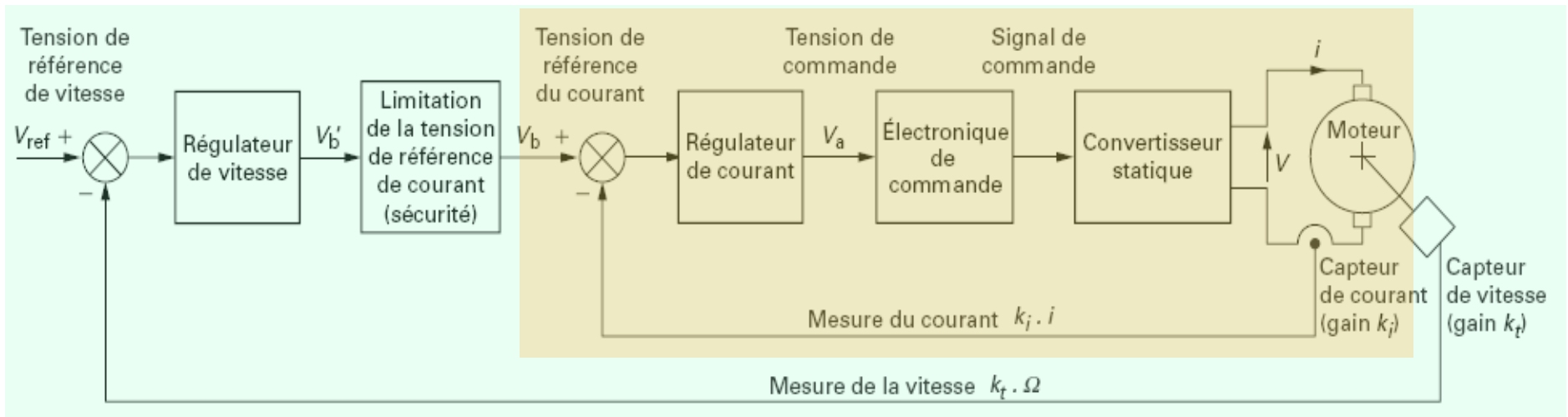
## Commandes analogiques et numériques

	<b>Analogique</b>	<b>Numérique</b>
<b>Précision</b>	Moyenne : tolérance sur les composants du correcteur, prix des capteurs précis.	Calculs aussi précis qu'on le désire . Capteurs numériques précis.
<b>Dérive dans le temps</b>	Moyenne : dérive thermique et vieillissement des composants	Nulle
<b>Rapidité</b>	Grande ou très grande	Moyenne (en progrès rapide)
<b>Sensibilité aux bruits</b>	Moyenne ou forte	Très faible
<b>Liaisons longues</b>	Difficiles (perturbations électromagnétique)	Fiable (signaux logiques avec codes d'erreur)
<b>Evolutivité</b>	Mauvaise : évolution matérielle	Bonne : évolution logicielle.
<b>Bilan</b>	Economique en faible précision Indispensable pour les grandes bandes passantes	Indispensable en haute précision et pour les systèmes complexes à commander.



## Boucles imbriquées

## Boucle de courant



## Boucle de vitesse

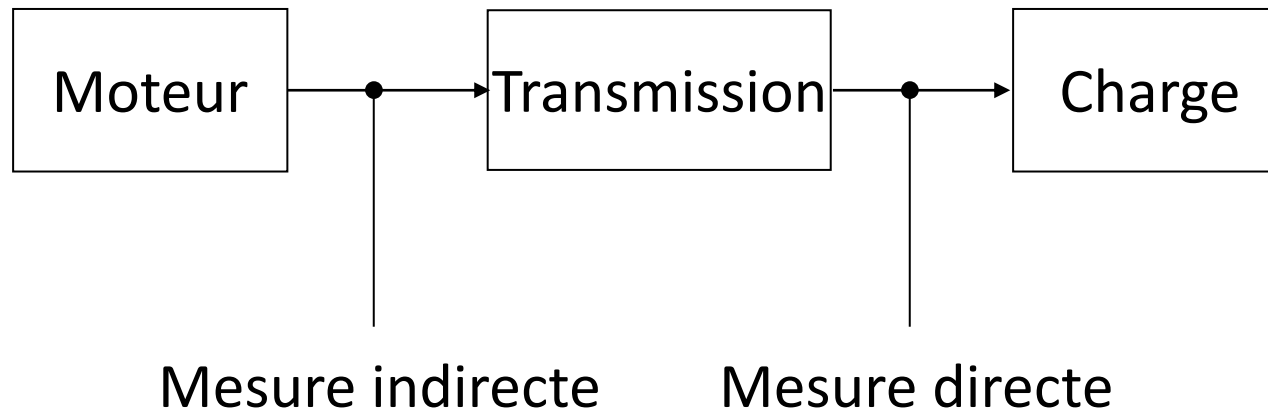
# Capteurs

Nicolas DAMAY  
Maître de conférences  
Département IM

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
[nicolas.damay@utc.fr](mailto:nicolas.damay@utc.fr)

*Cours SY03 : contrôle des machines électriques*

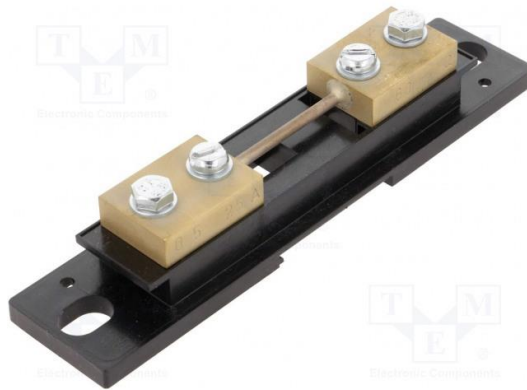
## Mesure directe ou indirecte



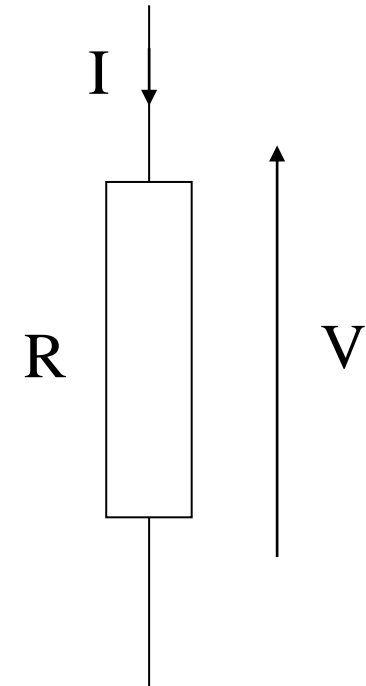
	<b>Mesure indirecte</b>	<b>Mesure directe</b>
<b>Avantages</b>	Solution économique et fiable : capteur rotatif monté sur le moteur Résolution multipliée par le réducteur	Précision optimale : défauts de la transmission masqués.
<b>Inconvénients</b>	Erreurs supplémentaires dues à la transmission => trans. précise et rigide.	Capteur et montage plus cher Risque de problèmes de stabilité.

## Mesure de courant : capteurs résistifs

- La mesure de la tension aux bornes d'une résistance de valeur ohmique connue permet de connaître le courant qui la traverse.
- Incertitudes liées à la température, à la précision du voltmètre
- Ce genre de capteur est parfois appelé « shunt »

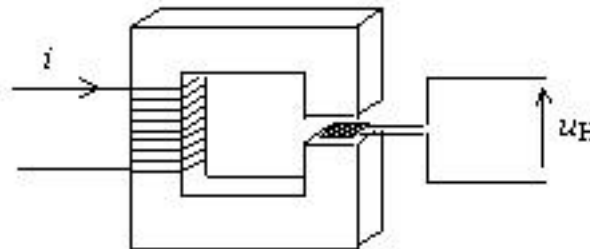


Shunt de courant : 25 A, 60 mV



## Mesure de courant : sonde à effet Hall

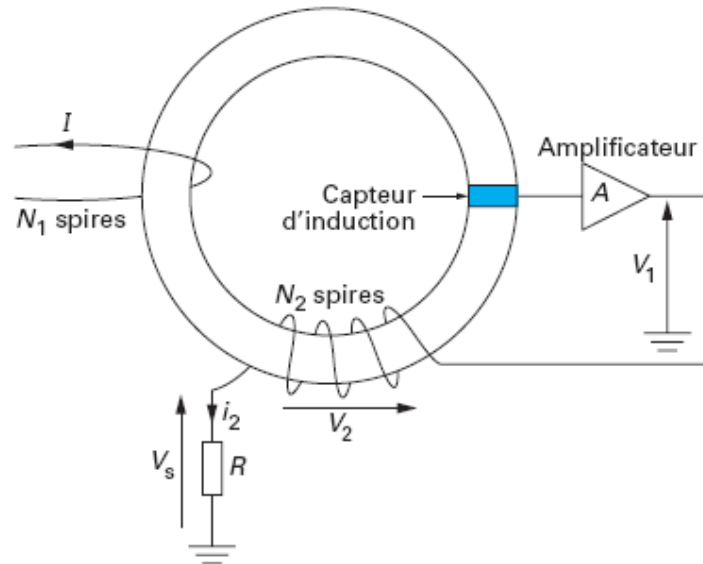
- Exploitation de l'effet Hall pour produire une tension qui est l'image exacte (à un facteur près) du courant à mesurer
- **Effet Hall** : Apparition d'un champ électrique transversal, puis d'une différence de potentiel  $u_H$  dans un métal ou un semi-conducteur parcouru par un courant  $i$  lorsqu'on l'introduit dans un champ d'induction magnétique  $B$  perpendiculaire à la direction du courant.



$$u_H = K \times i$$

## Mesure de courant : sonde à effet Hall

- Le courant à mesurer est  $I$ . Il traverse un circuit magnétique dont le courant  $I_2$  est asservi pour annuler le champ magnétique. Une conversion tension/courant permet d'obtenir la tension  $V_S$ , image du courant  $I$ .



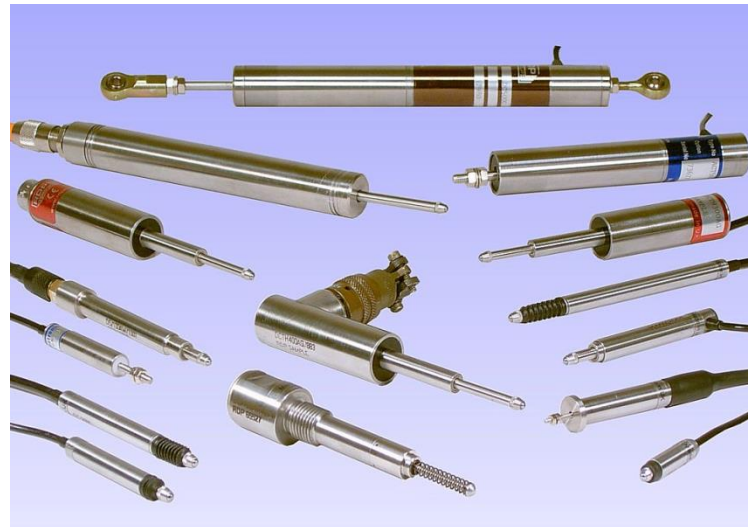
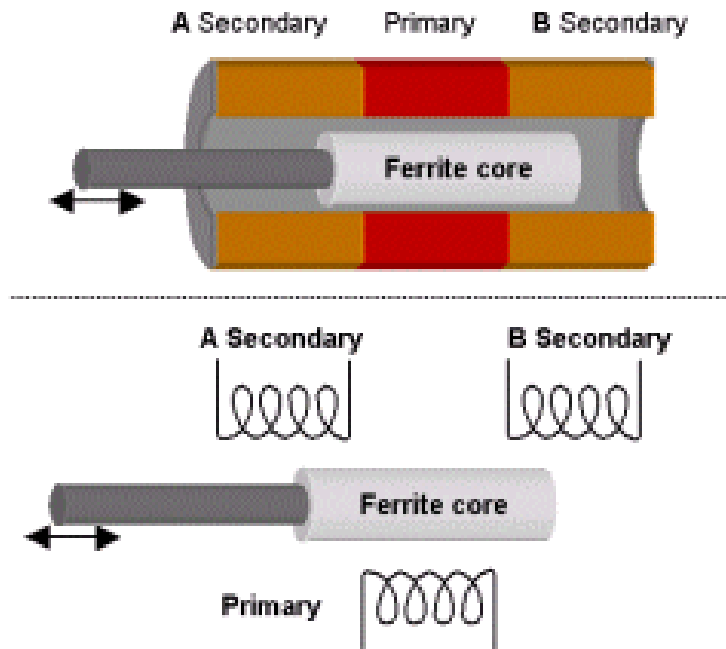
$$V_S = R \frac{N_1}{N_2} I$$



## Mesure de position analogique : transformateur différentiel

### (LVDT : Linear Variable Differential Transformer)

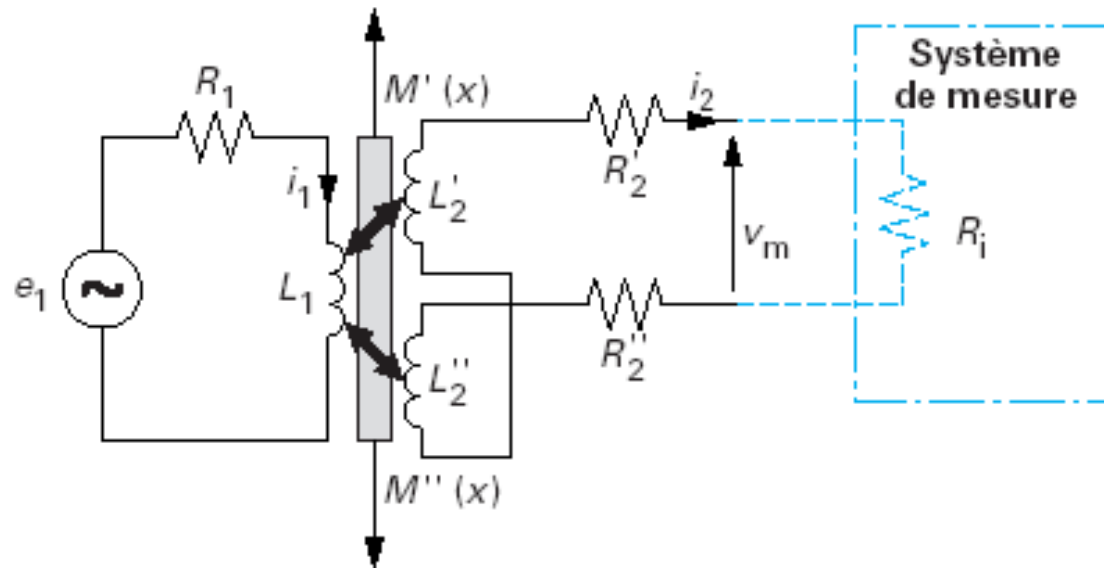
- Le noyau ferromagnétique se déplace entre le circuit (bobinage) primaire et les 2 circuits secondaires branchés en opposition.
- Il y a alors variation du couplage selon la position du noyau



## Mesure de position analogique : transformateur différentiel

### (LVDT : Linear Variable Differential Transformer)

- Le noyau ferromagnétique se déplace entre le circuit (bobinage) primaire et les 2 circuits secondaires branchés en opposition.
- Il y a alors variation du couplage selon la position du noyau



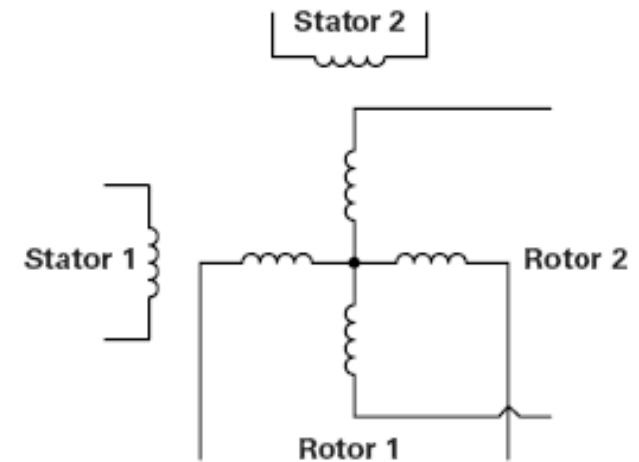
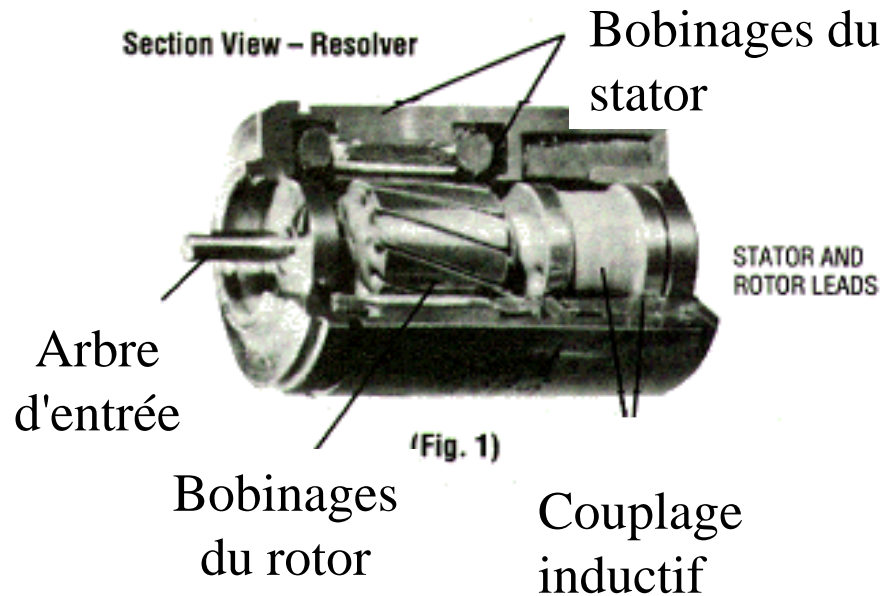
$$V_m = \frac{j\omega[M''(x) - M'(x)]}{R_1 + jL_1\omega} e_1$$

$$V_m = \frac{-2j\omega a e_1}{R_1 + jL_1\omega} x = \mathbf{K} \times x$$

$$\text{Avec } M''(x) - M'(x) = -2ax$$



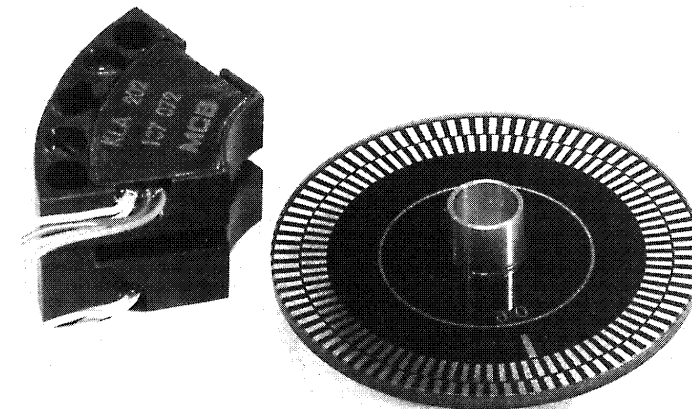
## Mesure de position analogique : résolveur



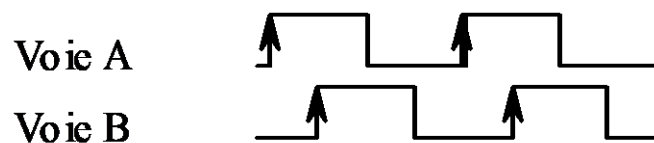
- Différentes configurations sont possibles : soit l'inducteur se situe au stator, soit au rotor. Des f.e.m. apparaissent donc au rotor ou au stator.
- Le couplage entre les bobines du stator et celles du rotor varie en fonction de la position angulaire.

## Mesure de position numérique : codeur incrémental optique

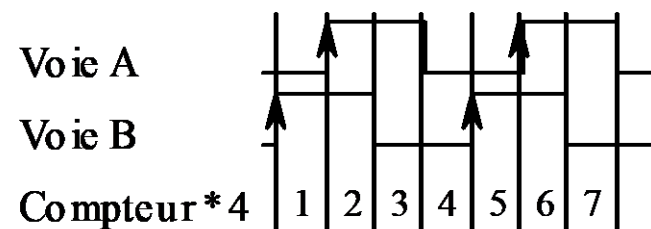
- C'est un capteur optique qui permet de donner une position relative et un sens de rotation.
- Mesure de la position = comptage des fronts passant devant les photodétecteurs
- Mesure du sens de rotation = voir schéma



**Rotation positive: ↑A avant ↑B**

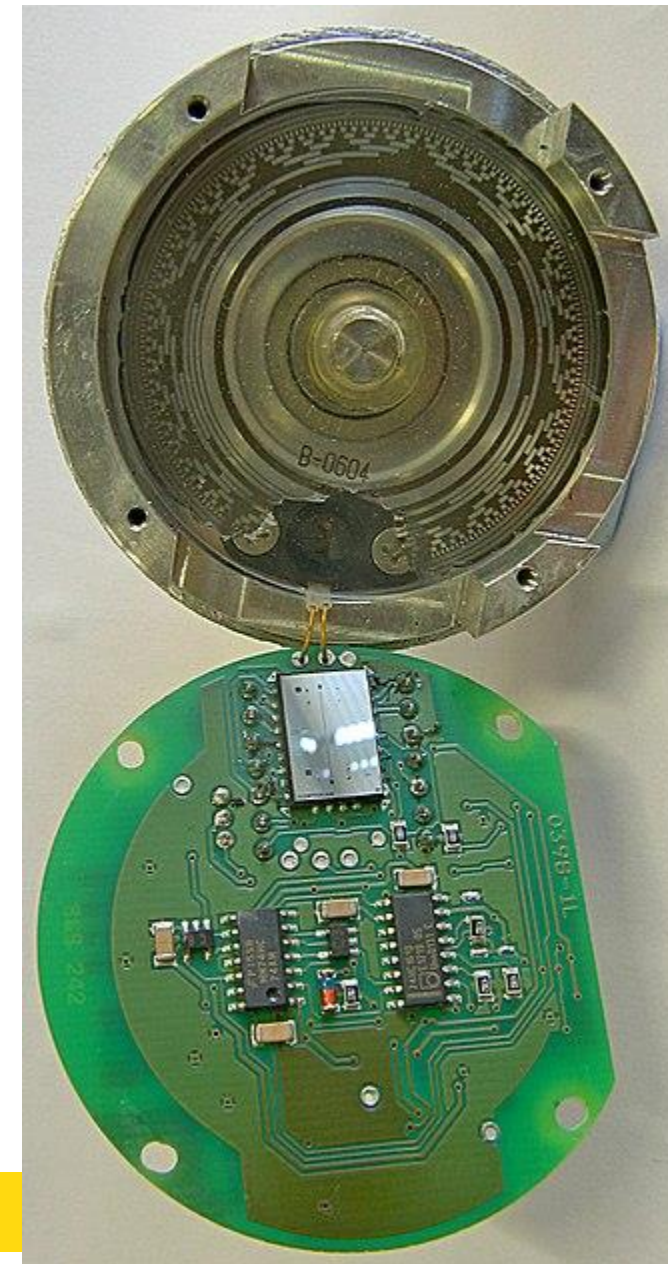
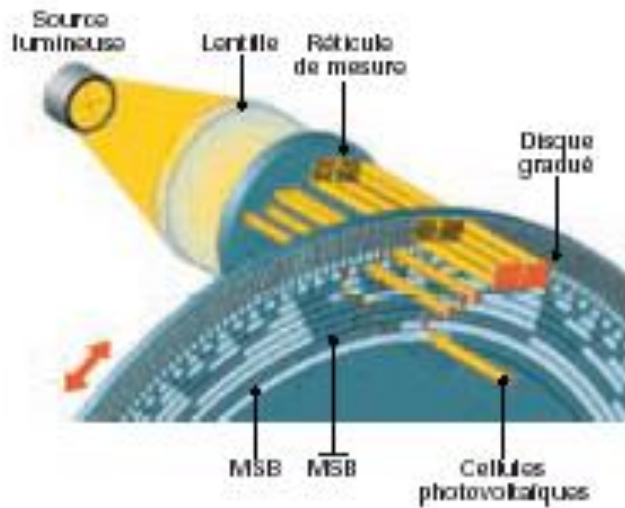
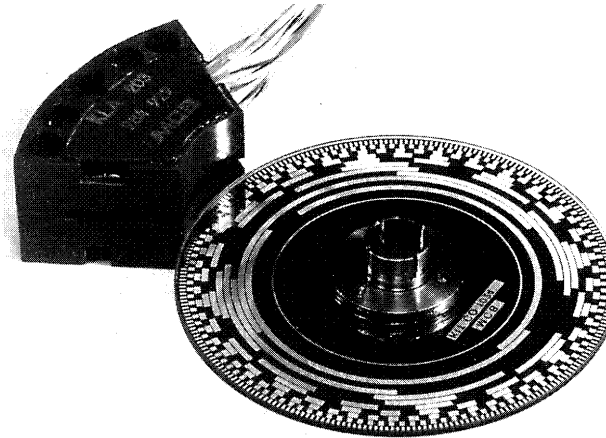


**Rotation négative: ↑B avant ↑A**



## Mesure de position numérique : codeur absolu optique

- C'est un capteur optique qui permet de donner une position absolue et un sens de rotation.
  - Chaque piste a son propre système de lecture.
  - N pistes : résolution de  $2^N$



## Mesure de vitesse numérique

- Utilisation d'un capteur de position numérique
- Comptage des impulsions + mesure du temps entre 2 impulsions
- $V_N = \Delta P_N / \Delta t$

## Mesure de vitesse analogique

- Génératrice tachymétrique
- Principe : petite machine à courant continu utilisée en génératrice
- $E = k_\phi \Omega$  si le courant est négligeable (couple négligeable)
- Souvent proposé en option sur les machines CC

# Pilotage de la machine à courant continu

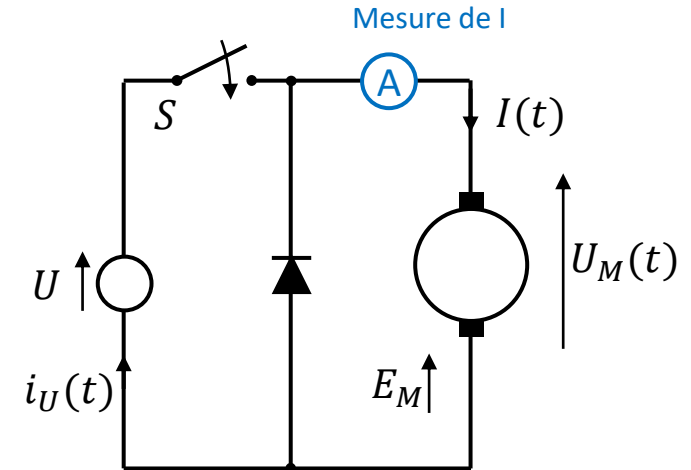
Nicolas DAMAY  
Maître de conférences  
Département IM

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
[nicolas.damay@utc.fr](mailto:nicolas.damay@utc.fr)

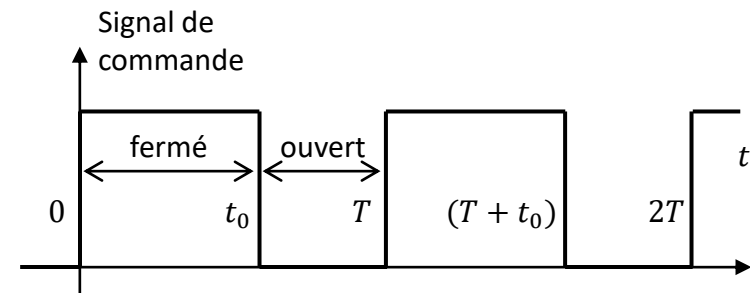
*Cours SY03 : contrôle des machines électriques*

## Pilotage en vitesse par la tension

- Rappel des équations d'une MCC
  - $E = k_\phi \cdot \Omega$
  - $U_M = E + RI \approx E$
  - $I = C/k_\phi$
- Exemple d'un pilotage en vitesse
  - Contrôle du rapport cyclique  $\alpha = \frac{t_0}{T}$
  - Or,  $\alpha U = U_M \approx E = k_\phi \cdot \Omega$
  - Contrôle de  $\alpha \Rightarrow$  contrôle de  $\Omega$

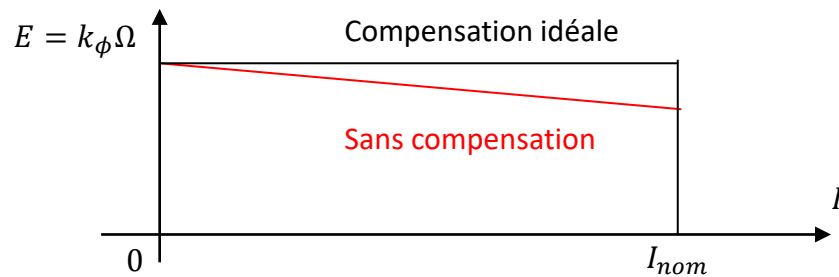


- Important : respect des limites de la machine
  - $I < I_{max}$  : besoin d'une mesure de courant
  - Si  $I > I_{max}$  : diminution de  $\alpha$
  - Puissance :  $U_M \cdot I = \alpha U \cdot I$
  - Si  $P > P_{max}$  : diminution de  $\alpha$



## Pilotage en vitesse par la tension

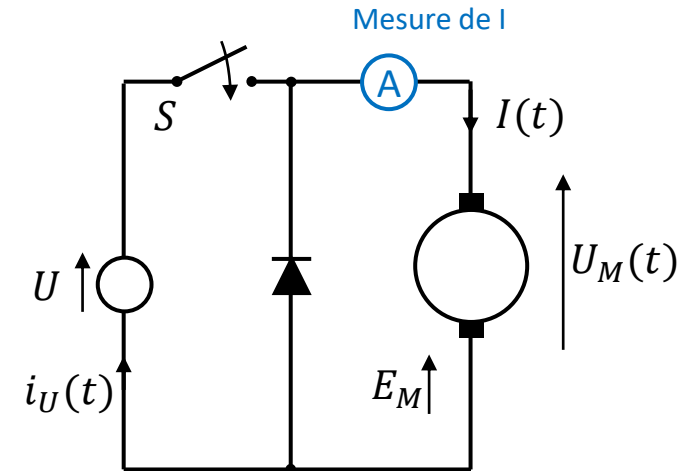
- Biais lié à la résistance interne :  $E = U_M - RI$



- Correction du biais lié à la résistance
  - Mesure de  $I \Rightarrow$  estimation de  $RI$
  - Alors on peut estimer  $U_M = E + RI$

$$U_M = \alpha U = k_\phi \Omega + RI$$

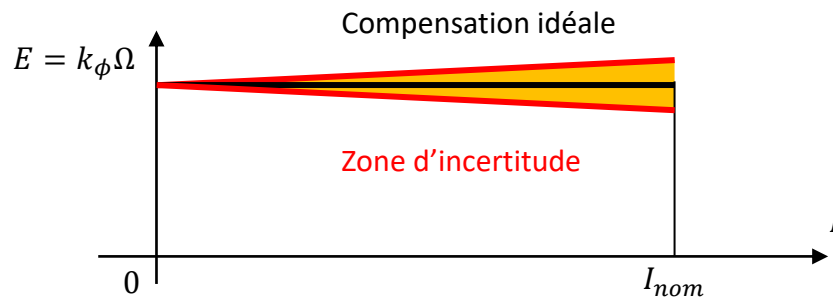
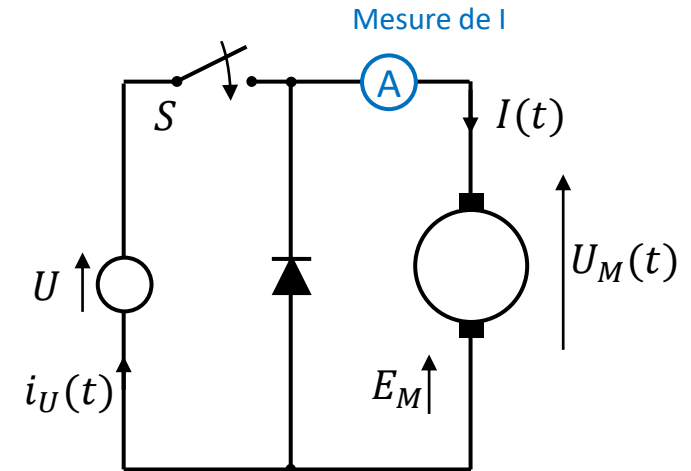
$\Rightarrow$  Amélioration de la précision du contrôle en vitesse



## Pilotage en vitesse par la tension avec compensation

- Ce calcul est impacté par les incertitudes sur  $R$ 
  - Dispersion de fabrication
  - Evolution avec la température
  - Vieillesse (oxidation...)
- Valeur physique  $R = R_{theorique} + \Delta R$
- D'où :

$$U_M = \alpha U = k_\phi \Omega + (R + \Delta R)I$$

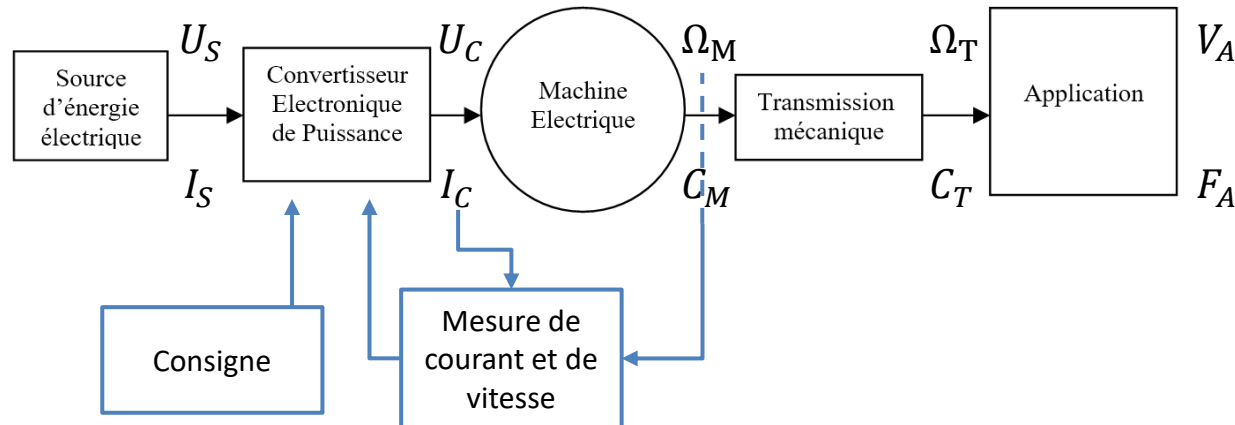


- De plus, l'erreur est relativement plus grande si  $\Omega (= E/k_\phi)$  est faible
- « U-RI » : la plage de vitesse commandable est généralement de 1 à 10



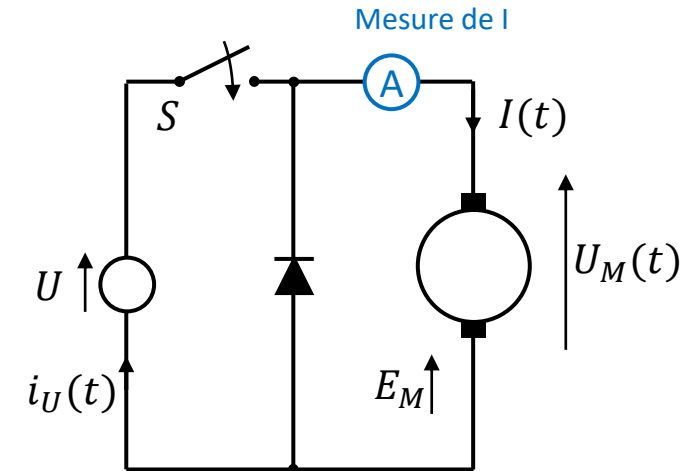
## Pilotage en vitesse avec mesure de vitesse

- Pour gagner en précision, il faut un capteur de vitesse
- On peut alors utiliser une commande en boucle fermée
- Précision de la commande = précision du capteur
  - Précision < 1% avec génératrice tachymétrique
  - Très élevée avec un codeur incrémental
- « Tachy » : la plage de vitesse commandable est alors de 1 à 1000 (et plus)



## Pilotage en couple

- Ex : machine d'entraînement sportif
- Commande indirecte en commandant le courant
  - Consigne en courant :  $I = \frac{C}{k_\phi}$
  - Contrôle du couple de sortie
- Commande directe possible avec capteur de couple
  - Mais cela représente un coût supplémentaire
- Cas de la direction assistée :
  - Physique : le couple est lié à la torsion de la colonne de direction
  - Mesure : de la différence d'angle  $\Delta\theta$  entre deux points de la colonne de direction
  - Commande : maintien de  $\Delta\theta$  en dessous d'une certaine valeur
  - Conséquence : limitation du couple fourni par l'utilisateur (car limitation de  $\Delta\theta$ )



# Pilotage de la machine synchrone

Nicolas DAMAY  
Maître de conférences  
Département IM

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
[nicolas.damay@utc.fr](mailto:nicolas.damay@utc.fr)

*Cours SY03 : contrôle des machines électriques*

## Avantages

- Machine robuste, excellent rendement, grandes performances dynamiques
- Peut fournir son couple nominal quelle que soit la vitesse
- Machine à aimant (terre rare) : forte puissance massique

## Inconvénients

- Aimants à base de terres rares : plus chers et leur exploitation peut être problématique
- Pilotage plus difficile qu'une MCC (mais moins qu'une machine asynchrone)

## Commande

- Par conception, la machine synchrone est synchronisée sur l'alimentation
  - Vitesse proportionnelle à la fréquence
- Risque : « décrochage » si elle ne peut pas suivre la fréquence (inertie)
- Solution : mesurer la position du rotor et piloter les courants en conséquence

## Machine synchrone auto-commutée (brushless)

- 6 détecteurs pour savoir quand démarrer/arrêter l'alimentation de chacune des trois phases.
- Simple et coût réduit, mais couple irrégulier

## Machine synchrone auto-pilotée

- Mesure de position par un résolveur qui fournit des courants sinusoïdaux
  - Couple précis et constant
- Grande précision et très grande plage de vitesse : de 1 à 10 000

# Pilotage de la machine asynchrone

Nicolas DAMAY  
Maître de conférences  
Département IM

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
[nicolas.damay@utc.fr](mailto:nicolas.damay@utc.fr)

*Cours SY03 : contrôle des machines électriques*

## Avantages

- Machine standardisée, très robuste et économique (pas d'aimants)
  - Donc pas d'aimants à base de terres rares
- Possibilité de haute vitesse et puissance de 1 kW à 10 MW
- Machine extrêmement courante dans l'industrie (2/3 des machines)

## Inconvénients

- Rendement moins bon que les machines synchrones
- Pertes au rotor : il faut ajouter une ventilation motorisée à basse vitesse
- Commande difficile à cause du glissement

## Rappel

- Vitesse de rotation  $\Omega_M = \frac{60}{p} F_s (1 - g)$

## Commande sans capteur

- Glissement =  $\frac{\Omega_M - \Omega_S}{\Omega_S}$  ( $\Omega_S$  : pulsation au stator)
- Si  $C < C_{nom}$  : faible glissement ( $g < 5\%$ ) => faible erreur de vitesse

## Commande avec mesure de courant

- Glissement proportionnel au couple
- Couple proportionnel au courant
- Mesure du courant => estimation du couple => estimation du glissement => estimation de  $\Omega_S$



## Commande avec mesure de vitesse

- Contrôle en boucle fermée
- Commandes élémentaires
  - « Commande scalaire » : modèle simplifié de la machine en régime permanent
  - « Commande vectorielle » ou « Commande directe de couple » : nécessite un modèle dynamique complet, mais très bonnes performances

Commande	Sans capteur	Avec capteur
"Scalaire"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solution très économique</li> <li>- Faibles performances dynamiques</li> <li>- Précision en vitesse moyenne : 3 % et 0.5 % avec compensation de glissement.</li> <li>- Plage de vitesse réduite : rapport 3 et 10 avec compensation de glissement</li> <li>=&gt; Vitesse faible ou nulle impossible.</li> </ul> <p>Applications : pompes, convoyeurs, levage, ventilateurs...</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faibles performances dynamiques</li> <li>- Très bonne précision en vitesse : meilleure que 0.1%</li> <li>- Vitesse très faible ou nulle mal maîtrisée.</li> </ul> <p>Applications : pompes (dosage), convoyeurs synchronisés, ponts roulants</p>
"Vectorielle" ou "Directe de couple"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solution économique</li> <li>- Bonnes performances dynamiques</li> <li>- Plage de vitesse : rapport 1 à 100</li> <li>- Vitesse faible, mais non nulle.</li> </ul> <p>Applications : broches d'usinage, haute vitesse, traction</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solution très performante</li> <li>- Très bonne précision en vitesse : meilleure que 0.1% (0.001 % possible)</li> <li>- Grande plage de vitesse : 1 à 1000 (voir 10 000)</li> <li>- Vitesse très faible ou nulle contrôlée.</li> </ul> <p>Applications : mandrin de tour, traction, enrouleuse (papier, tissus, câble)</p>

# Exemples de variateurs industriels

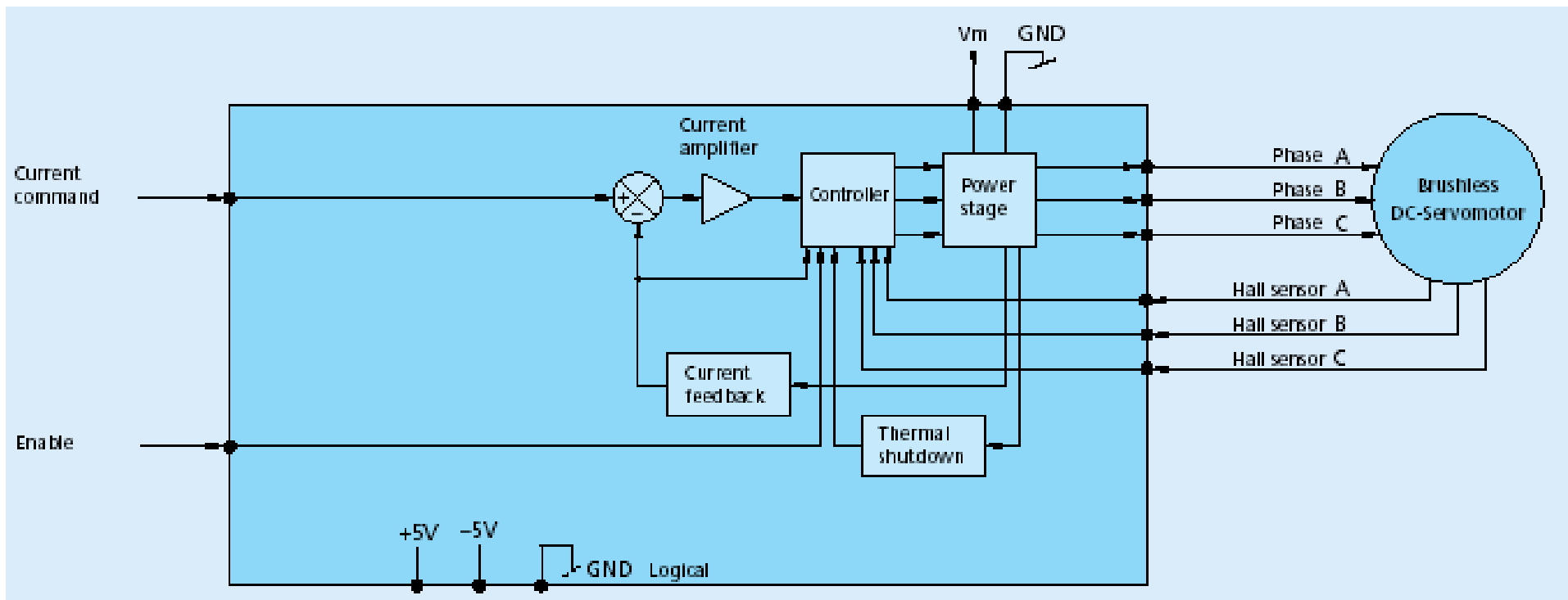
Nicolas DAMAY  
Maître de conférences  
Département IM

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
[nicolas.damay@utc.fr](mailto:nicolas.damay@utc.fr)

*Cours SY03 : contrôle des machines électriques*

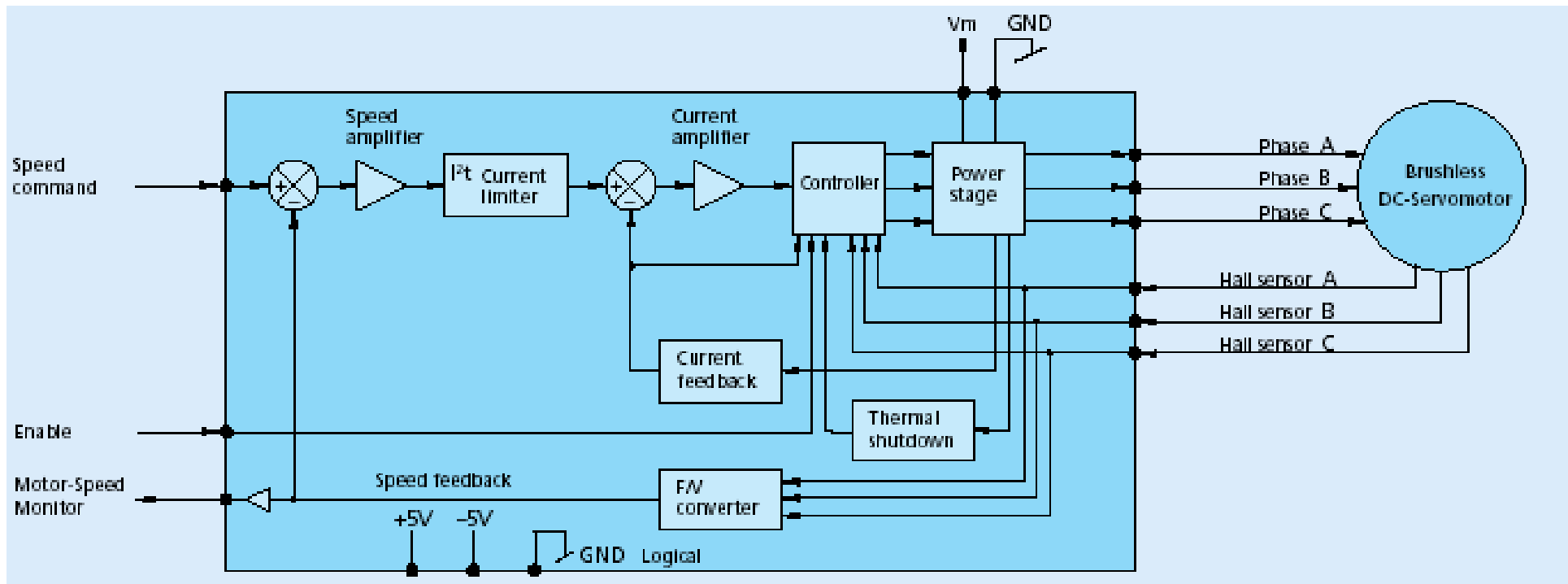
## Variateur électronique BLD (Faulhaber)

- Commande en courant => contrôle du couple



## Variateur électronique BLD (Faulhaber)

- Commande en vitesse **sans** codeur
- Vitesse minimale : 1000 tr/min



Nicolas DAMAY  
Maître de conférences  
Département IM

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
[nicolas.damay@utc.fr](mailto:nicolas.damay@utc.fr)

Cours SY03 : contrôle des machines électriques

## Variateur électronique BLD (Faulhaber)

- Commande en vitesse **avec** codeur
- Vitesse minimale : 20 tr/min

