

Axe Asservi Maxpid



Dossier Ressource

Dossier ressource

TABLE DES MATIERES:

I.	FAIRE FONCTIONNER LE SYSTEME.....	3
A.	REPONSE A UNE SOLICITATION.....	3
B.	SCHEMA CINEMATIQUE ANIME	5
II.	FAIRE DES ACQUISITIONS	6
III.	RESSOURCES DE SIMULATION NUMERIQUE.....	7
A.	SIMULATION DES SYSTEMES LINEAIRES.....	7
1.	<i>Logiciel SimApp (notice simplifiée):</i>	7
2.	<i>Logiciel Matlab / Simulink:</i>	8
B.	SIMULATION MECANIQUE	10
1.	<i>Solidworks</i>	10
2.	<i>Méca 3D</i>	11
C.	SIMULATION INFORMATIQUE	16
1.	<i>Tracé de courbes avec Python</i>	16
2.	<i>Excel: utiliser un tableur</i>	17
IV.	NOTIONS DE COURS.....	19
A.	CHAINES FONCTIONNELLES - STRUCTURE	19
B.	LES DETECTEURS ET LES CAPTEURS.....	20
1.	<i>Détecteurs de présence mécanique</i> :	20
2.	<i>Détecteurs de présence magnétique ou inductif</i> :	21
3.	<i>Détecteurs de présence optoélectronique</i> :	21
4.	<i>Capteur de position potentiométrique</i> :	22
5.	<i>Capteur de position inductif</i> :	22
6.	<i>Capteur de position angulaire : codeur incrémental</i>	23
7.	<i>Capteur de position angulaire : codeur absolu</i>	24
8.	<i>Capteur de vitesse angulaire : génératrice tachymétrique</i>	25
9.	<i>Accéléromètre : capteur piézoélectrique</i>	25
10.	<i>Capteur d'effort : jauge de déformation</i>	26
C.	LES ACTIONNEURS	27
1.	<i>Moteur électrique à courant continu</i>	27
2.	<i>Moteur électrique asynchrone</i>	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
D.	SYSTEMES LINEAIRES:	32
1.	<i>Réponse indicielle 1er ordre</i>	32
2.	<i>Réponse indicielle 2ème ordre</i>	32
E.	MECANIQUE:	33
1.	<i>Tableau des liaisons normalisées</i>	33
2.	<i>Lois de Coulomb</i>	34
3.	<i>Calcul de puissance développée par une action mécanique</i>	37

I. FAIRE FONCTIONNER LE SYSTEME

A. REPONSE A UNE SOLICITATION

- Mettre sous tension le banc MAXPID,
- Libérer le bouton d'arrêt d'urgence "Coup de poing",
- Lancer le logiciel MAXPID,
- Réaliser la procédure d'étalonnage du capteur de rotation du bras Maxpid en cliquant sur l'icone symbolisant le bras Maxpid



- Cliquer sur PID: Paramétrier asservissement
- Cliquer sur puis sur **Paramètres par défaut**, puis **VALIDER**





- Cliquer ensuite sur puis sur **TRAVAILLER avec MAXPID** puis sur **Réponse à une sollicitation**



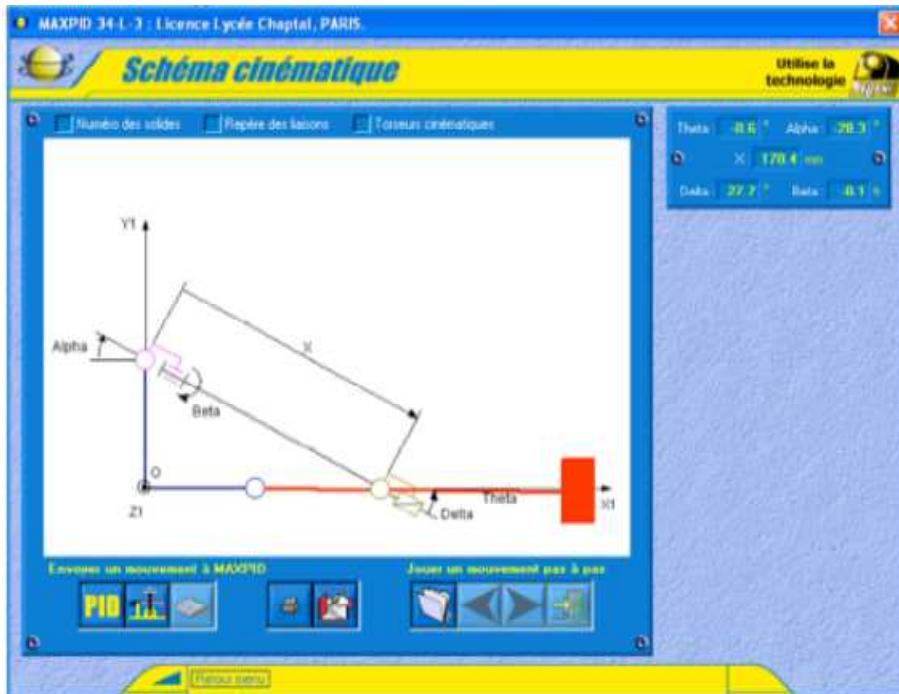
- Indiquer une nouvelle consigne, soit en relatif, soit en absolu en bougeant le curseur situé en haut à gauche de la fenêtre de travail.

B. SCHEMA CINEMATIQUE ANIME

TRAVAILLER
avec MAXPID

- Cliquer ensuite sur **TRAVAILLER avec MAXPID** puis sur Schéma cinématique animé.

La fenêtre suivante apparaît:



- Pour lancer un mouvement, cliquer sur « envoyer un mouvement » .



- Une fois la position angulaire désirée réglée, cliquer sur envoyer mouvement.
- Pour sauvegarder les données de mesure une fois le mouvement effectué, cliquer sur 
- Les données sont alors enregistrées au format ".mvt".
- Pour récupérer les données, ouvrir le fichier .mvt avec Excel. Une fois l'opération terminée, il faut changer le formatage des données. Appuyer sur **crtl** et **A** en même temps pour sélectionner toutes données. Puis appuyer sur **crtl** et **F**, cliquer sur **Remplacer** afin de remplacer tous les . par des virgules.

II. FAIRE DES ACQUISITIONS

Dans le logiciel Maxpid, pour faire des acquisitions, il faut cliquer sur **TRAVAILLER avec MAXPID** puis sur **Réponse à une sollicitation**.



Avec le logiciel Maxpid, il est possible de récupérer l'évolution des grandeurs suivantes:

- Consigne angulaire (en °)
- Position angulaire réelle du bras (en °)
- Commande au bornes du moteur (en V)
- Courant consommé par le moteur (en A)

Indiquer une nouvelle consigne, soit en relatif, soit en absolu en bougeant le curseur situé en haut à gauche de la fenêtre de travail.

Au bout du temps d'acquisition, une courbe traçant l'évolution des variables sélectionnées apparaît.

- Cliquer sur **COMMENTAIRES** pour obtenir certaines caractéristiques du mouvement observé.

Pour enregistrer vos courbes, cliquer sur . Les données seront sauvegées sous un format ".mvt" qu'il est possible d'ouvrir avec Excel.

III. RESSOURCES DE SIMULATION NUMÉRIQUE

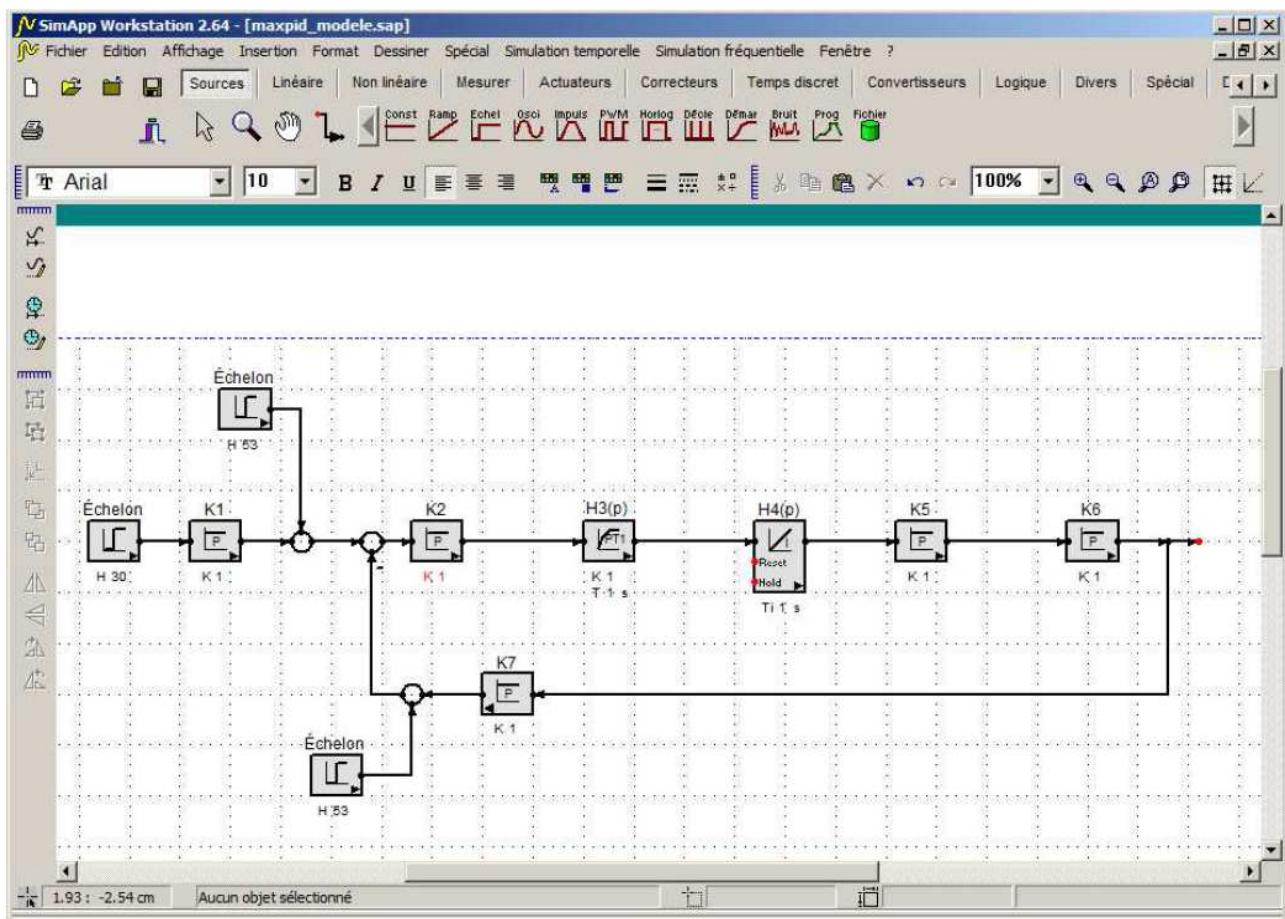
A. SIMULATION DES SYSTÈMES LINÉAIRES

1. Logiciel SimApp (notice simplifiée):

Ouvrir le logiciel SimApp:

- Cliquer sur Fichier puis Ouvrir pour ouvrir le fichier **"*.sap"**.

Voici le genre de fichier qui devrait apparaître:



Pour modifier la valeur des coefficients présents dans le schéma-blocs, il suffit de faire un double-clic dans le bloc et de modifier les valeurs:

- Une fois les valeurs changées, cliquer sur OK.

Pour lancer la simulation, cliquer sur dans le menu de gauche

2. Logiciel Matlab / Simulink:

➤ Lancement de Simulink:

Lancer le logiciel MATLAB-SIMULINK en double-cliquant sur l'icône MATLAB du bureau.

Une fois que MATLAB est ouvert, cliquer sur l'icône "Simulink Library" dans la barre de navigation.



➤ Création d'un modèle sous la forme de schéma-bloc:

Dans la fenêtre "Simulink Library Browser", créer un nouveau modèle en cliquant sur "New Model".

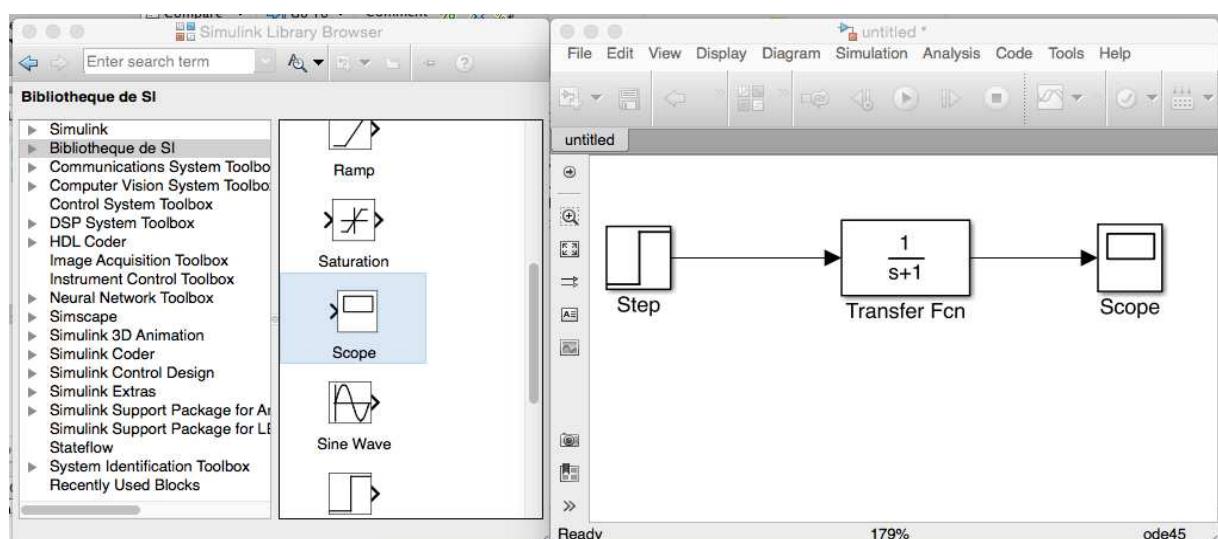
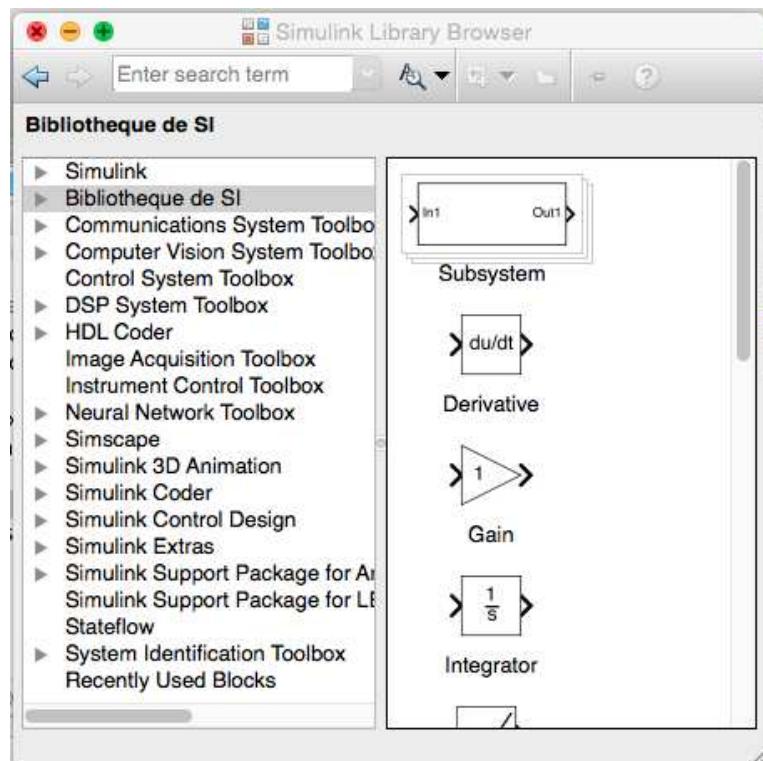
Pour vos modèles, vous utiliserez une bibliothèque de blocs pré-définie appelée "Bibliothèque de SI" disponible dans la fenêtre "Simulink Library Browser".

Cette bibliothèque contient les blocs les plus courants que vous allez rencontrer dans les systèmes.

Glisser-déplacer dans la fenêtre du modèle les blocs que souhaitez utiliser pour votre modèle.

Placer les blocs dans la fenêtre du modèle et **relier les** directement en cliquant sur la sortie d'un bloc puis l'entrée du second bloc à relier.

Affecter les bonnes valeurs numériques en double-cliquant dans chacun des blocs et en modifiant les paramètres.



Plusieurs remarques:

- le bloc Transfert "Fcn" permet définir une fonction de transfert sous la forme d'une fraction rationnelle,
- le bloc "Scope" permet de définir une sortie et de l'afficher dans un graphe,
- le paramètre de Laplace est noté "s" au lieu de "p".

➤ *Configurer et lancer une simulation:*

Si votre schéma-bloc est bien construit, les entrées, les sorties et tout les blocs étant définis, vous pouvez passer à la simulation de votre qui calculera numériquement toutes les valeurs à afficher dans les Scopes.

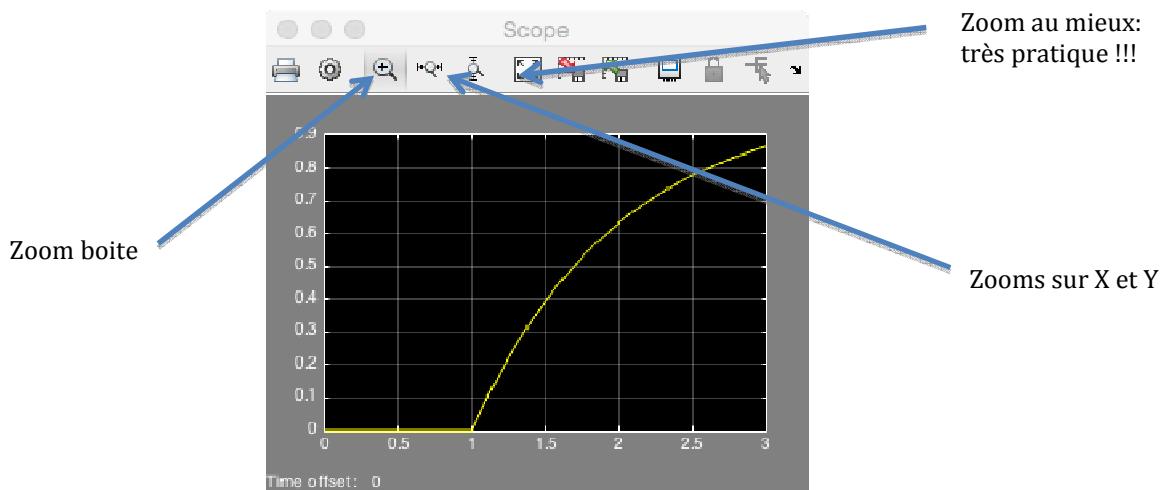
Ouvrir la configuration de la simulation temporelle en allant dans la barre transversale du modèle et en ouvrant le Menu "Simulation" puis "Model Configuration Parameters".

Modifier la durée de la simulation dans la fenêtre "Simulation Time".

Pour **modifier le pas de calcul**, choisir l'option "Fixed-Step" de la fenêtre "Solver options" puis indiquer le pas de calcul dans le champ "Fixed-Step Size (fundamental sample time)". Valider par OK.

Lancer la simulation en cliquant sur l'icône "Run" de la barre transversale du modèle.

Double-cliquer dans le scope dont vous voulez visualiser le graphe.



Récupérer les valeurs dans un fichier:

Rajouter le bloc "To Workspace" dans votre schéma et relier la sortie du système à l'entrée de ce bloc.

Paramétrier le bloc "To Workspace" en choisissant "Structure with time" dans le champ "Save format".

Relancer la simulation en cliquant sur "Run".

Basculer sur la fenêtre MATLAB et **double-cliquer** sur la variable "simout" de la fenêtre "Workspace".

Cette variable contient 2 variables : "time" et "signals".

Copier les deux colonnes de valeurs des variables "simout.time" et "simout.signals.values" dans un fichier texte.

Sauvegarder le fichier texte.

B. SIMULATION MECANIQUE

1. Solidworks

Le logiciel Solidworks permet de faire de la simulation sur des maquettes numériques virtuelles. Il permet de dessiner des pièces, réaliser, visualiser et représenter des assemblages de pièces.

Un mécanisme est construit en réalisant un assemblage de solides. Chacun des solides est mis en position par rapport aux autres par des contraintes géométriques ou dimensionnelles.

➤ *Pour ouvrir le fichier avec solidworks:*

Vous ferez IMPERATIVEMENT une copie totale du dossier contenant la maquette numérique de votre système, copie sur laquelle vous travaillerez.

- Lancer le logiciel Solidworks du bureau;
- Ouvrir le fichier assemblage (*.sldasm) de votre dossier contenant la maquette numérique.

Remarque: Il est fortement possible que dans votre dossier, il y ait plusieurs fichiers assemblages.

Dans ce cas, ouvrez le fichier se terminant par "meca3D_eleve".

➤ *Pour cacher une pièce:*

cliquer droit sur la pièce que vous souhaitez cacher dans l'arbre de construction, et sélectionner "Cacher les composants".

La manipulation est la même pour faire afficher la pièce à nouveau.

2. Méca 3D

MECA3D est un logiciel de simulation mécanique à partir d'une maquette numérique au format SOLIDWORKS. Il permet de modéliser un mécanisme de solides et réaliser des études:

- cinématiques: déterminer des lois entrées sorties,
- statiques: déterminer des efforts à l'équilibre,
- dynamique: déterminer les efforts en fonction des mouvements imposés.

➤ Introduction: MECA3D dans SOLIDWORKS

Lancer Solidworks .

Ouvrir votre maquette numérique:

- Fichier > Ouvrir > "*.sdlsm"

A gauche dans l'arbre de construction, vous voyez apparaître l'onglet MECA3D.

Si ce n'est pas le cas:

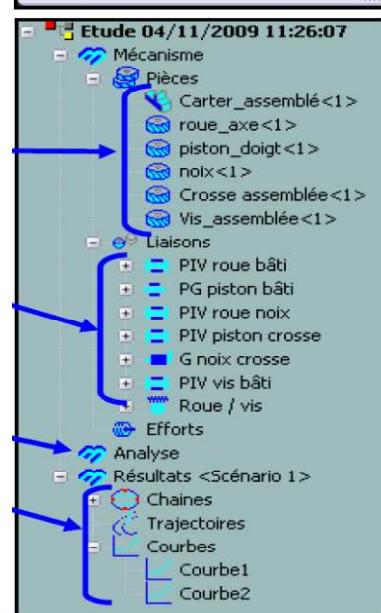
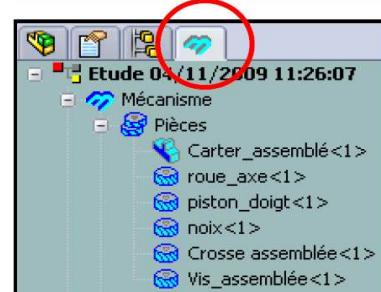
- Option > Compléments > Cocher la case MECA3D

Vous pouvez déjà vérifier si vous avez toutes les pièces du mécanisme.

Il manque des liaisons à modéliser afin de pouvoir simuler le fonctionnement du mécanisme.

Dans l'arbre de construction de gauche, vous visualisez l'étude mécanique en cours avec:

- les **solides** constituants le mécanisme,
- les **liaisons** entre les solides ou groupe de solides,
- la fonction "**Analyse**",
- les **résultats** (simulation et courbes des études menées).



➤ Ajouter une liaison

Pour ajouter une liaison:

- Clic droit sur Liaisons > Ajouter

Choisir une liaison

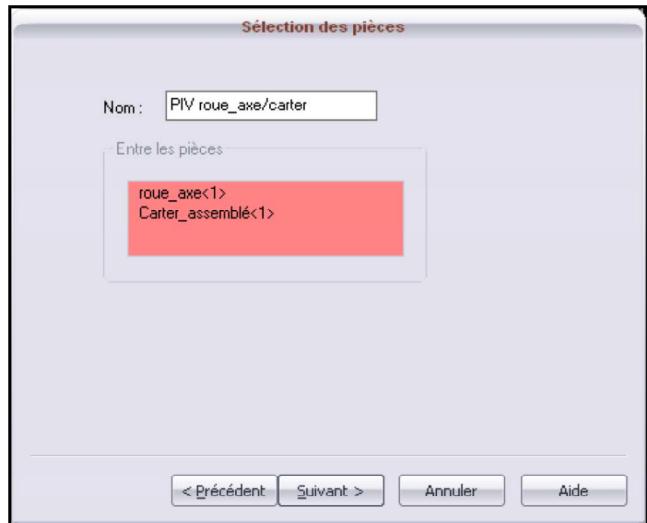
- Sélectionner la liaison choisie,
- Cliquer sur suivant.



Nommer la liaison en indiquant le type de liaison ainsi que les deux pièces en contact.

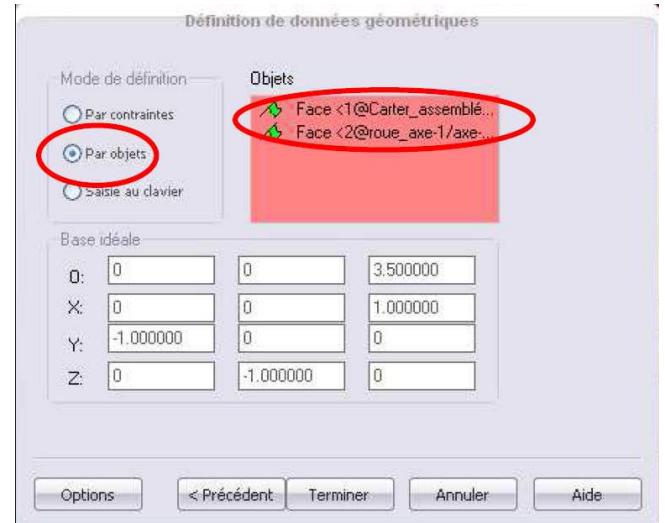
Définir les deux pièces en contact;

- Cliquant sur les deux pièces dans la maquette,
- Ou en cliquant sur les deux pièces dans l'arbre de construction de l'étude à gauche.



Cliquer sur suivant.
Selectionner "Par objets".

- Sélectionner le premier objet **puis avec CTRL enfoncee**, sélectionner l'autre objet,
- Les deux objets apparaissent et deux drapeaux verts s'affichent à gauche si la liaison est bien définie.



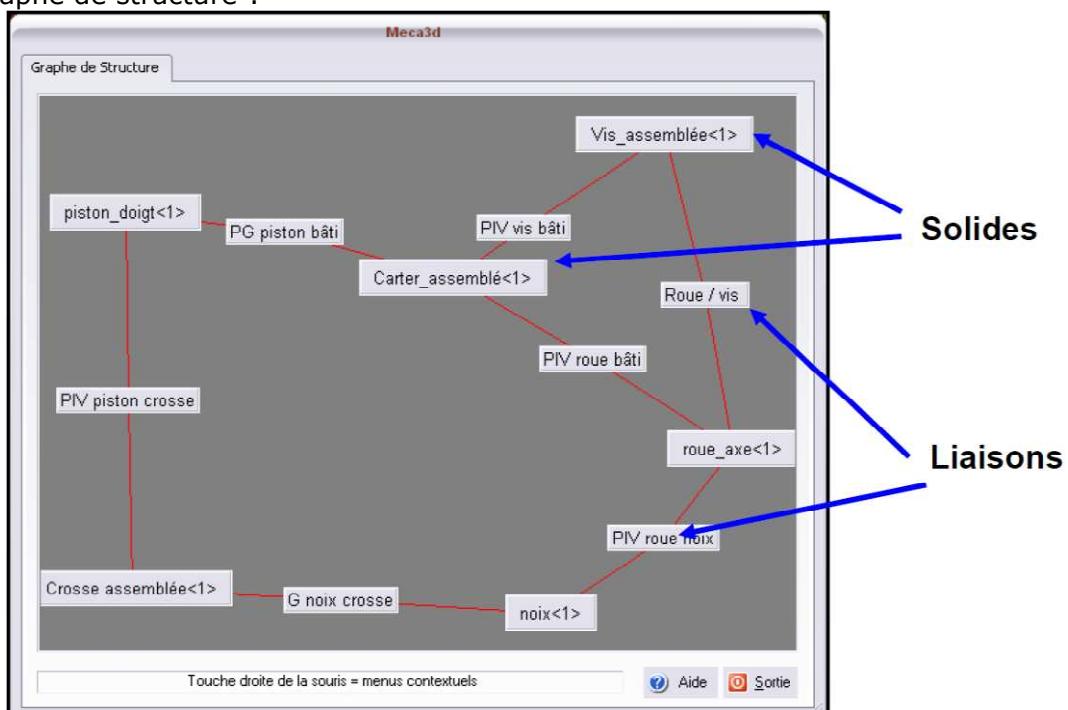
Cliquer sur Terminer puis Annuler.

La nouvelle liaison apparaît dans l'arbre de construction de gauche.

➤ Analyse mécanique

Graphe de structure:

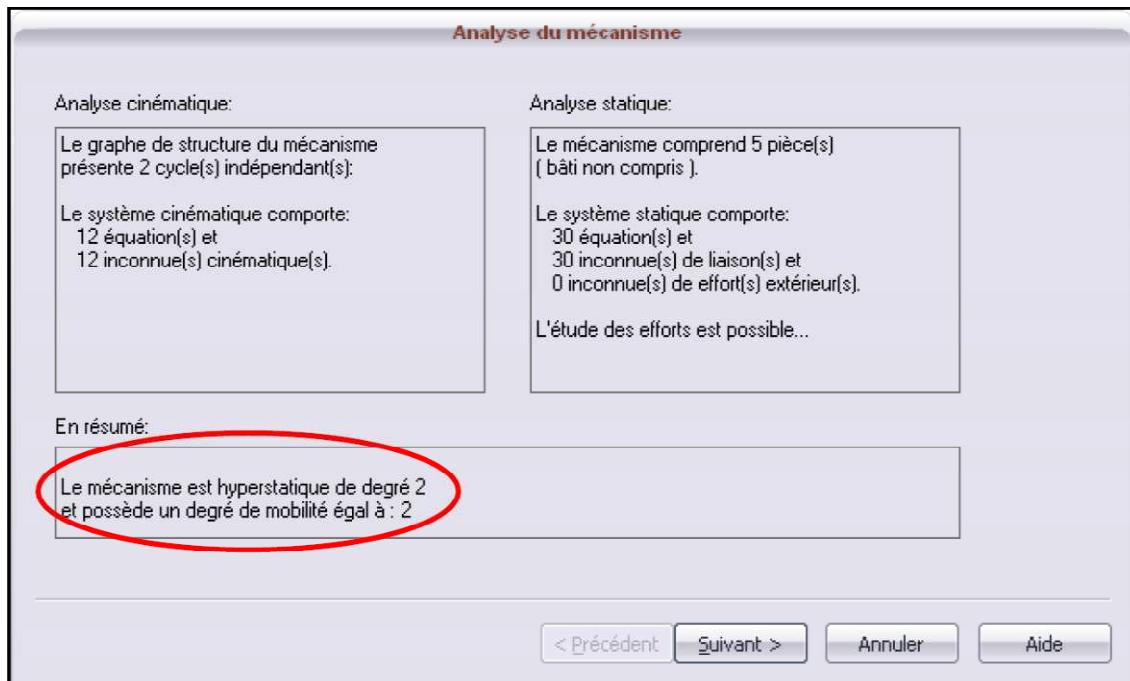
Pour obtenir le graphe de liaison du mécanisme, il suffit d'effectuer un clic droit sur "Analyse" puis "Graphe de structure".



Calcul mécanique:

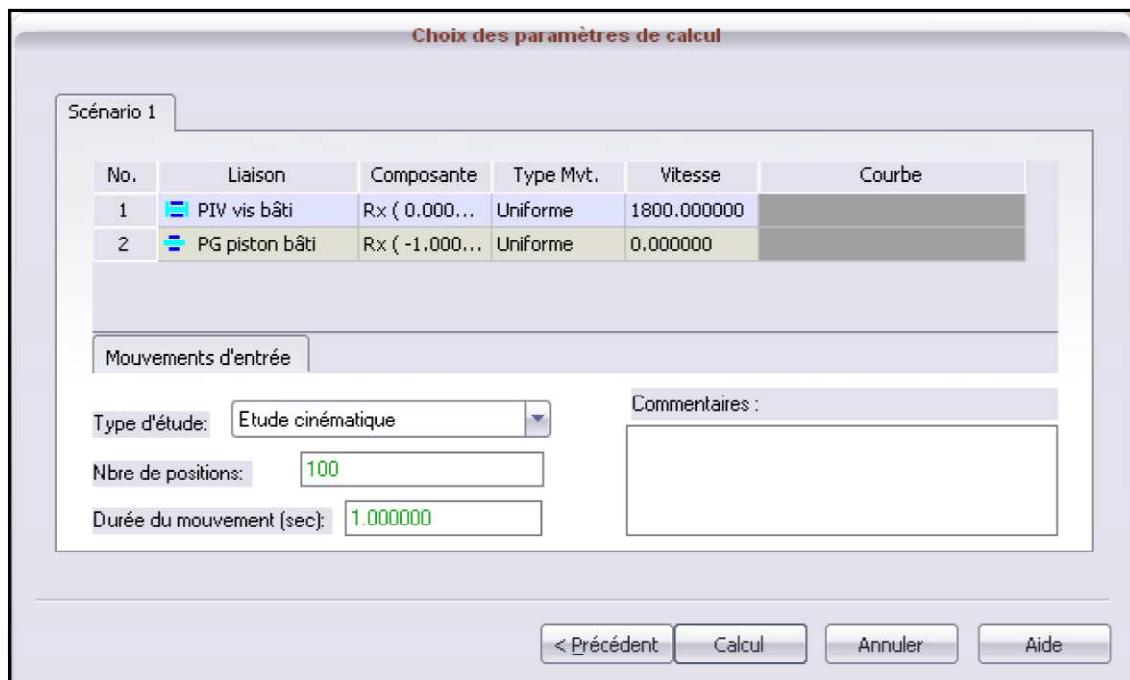
Pour lancer le calcul:

- Clic droit sur "Analyse" > Calcul mécanique.



MECA3D vous donne le degré d'hyperstaticité et le degré de mobilité du mécanisme.

Cliquer sur suivant. Dans l'écran suivant, vous devez définir les liaisons pilotées pour mettre en mouvement le mécanisme et obtenir les lois entrée-sortie. MECA3D appelle cela un scénario.



Ici le degré de mobilité cinématique étant de 2, il faut piloter 2 liaisons pour définir la position de tous les solides à chaque instant. Vous devez définir:

- le **degré de liberté** piloté « Composante » (Rotation ou translation),
- le **type de mouvement** (Uniforme, Position variable ou vitesse variable),

- la **vitesse** du mouvement considéré en **tr/min ou m/s**,
- le **type d'étude** (cinématique, statique, dynamique),
- le **nombre de positions** à calculer (100 c'est bien),
- la **durée du mouvement** total en seconde.

Cliquer ensuite sur calcul.

Lorsque le calcul est achevé, cliquer sur Fin.

➤ Résultats du modèle

Simulation:

Pour lancer la simulation:

- Clic droit sur "Résultats" > Simulation

Pour simuler le fonctionnement cliquer sur Play, le mécanisme s'anime.



Courbes:

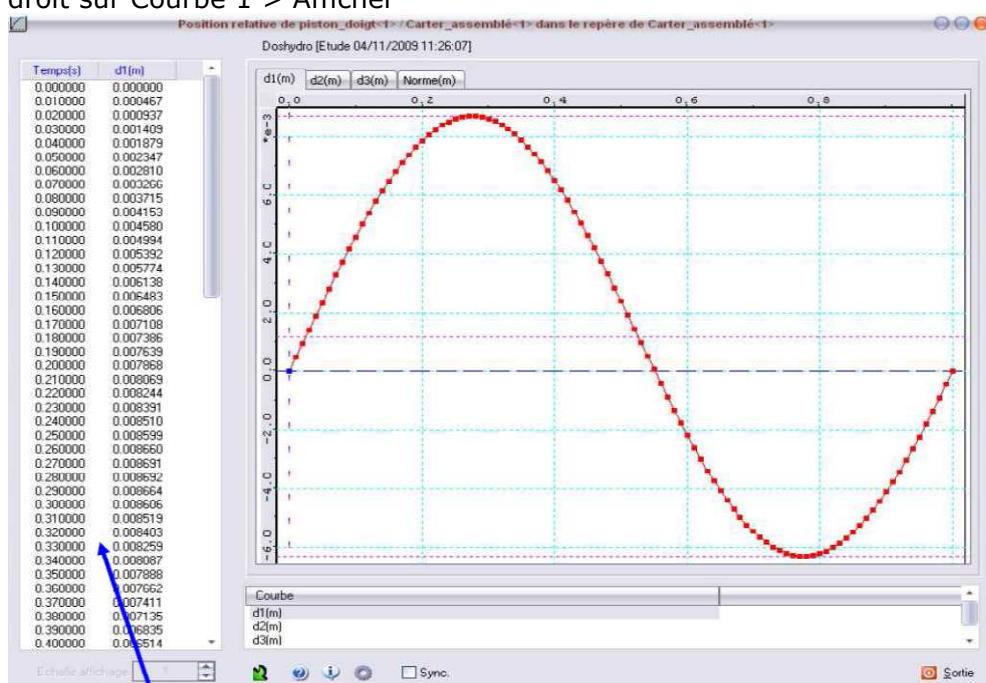
Pour ajouter une courbe:

- Clic droit sur "Courbes" > Ajouter > Simple
- Cliquer sur l'onglet "Liaisons"
- Choisir la liaison en cliquant sur la liaison dans l'arbre de construction de gauche.
- Choisir de visualiser:
 - la position
 - ou la vitesse
 - la composante en rotation ou en translation
- Cliquer sur Ajout.



Pour visualiser la courbe:

- Clic droit sur Courbe 1 > Afficher



Pour exploiter la courbe dans excel, il suffit de:

- Clic droit dans le tableau de points de gauche > Créer un rapport

Choisir le répertoire de sauvegarde : **votre dossier personnel**

Cliquer sur OK.

Il suffit maintenant de copier-coller les valeurs du rapport dans un tableau excel.



C. SIMULATION INFORMATIQUE

1. Tracé de courbes avec Python

Le module **pyplot** de la bibliothèque **matplotlib** permet de tracer rapidement des courbes. Le principe est de placer les valeurs des abscisses et des ordonnées dans 2 listes de même longueur.

Le fichier "ecart_reel_simule_temporelle.py", à compléter, permet de superposer deux tracés dans une même figure.

Les deux premières lignes permettent l'importation des deux bibliothèques **numpy** et **matplotlib**:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

Il faut créer la liste commune des abscisses et les listes des données des grandeurs que l'on souhaite placer en ordonnée:

```
t = np.array([])          # liste des valeurs du temps en secondes
y1 = np.array([])          # liste des valeurs de y1
y2 = np.array([])          # liste des valeurs de y2
```

Pour **superposer les tracés** des données points par points, on utilise les commandes suivantes:

```
plt.plot(t,y1,'g-')      # tracé de la courbe y1 en vert
plt.plot(t,y2,'r-')      # tracé de la courbe y2 en rouge
plt.show()                # montre la figure des tracés
```

On peut légendier le graphe à l'aide des commandes suivantes:

```
plt.title('Titre du graphique')    # titre du graphique
plt.xlabel('en abscisse')          # titre de l'axe des abscisses
plt.ylabel('en ordonnée')          # titre de l'axe des ordonnées
plt.grid(True)                    # mise en place d'une grille
```

Si l'on souhaite créer **plusieurs figures** de tracé, on peut utiliser les commandes suivantes:

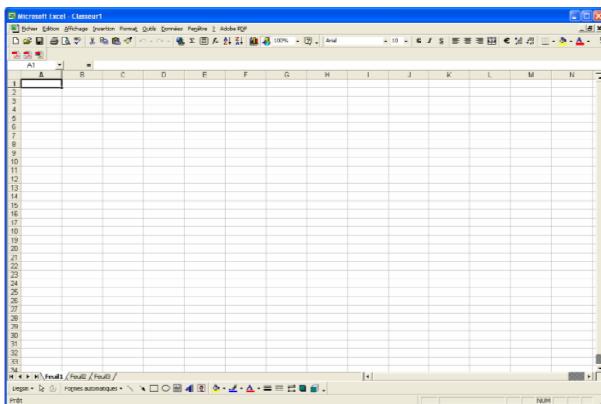
```
fig1 = plt.figure()              # création d'une figure de tracé
fig11 = fig1.add_subplot(1,2,1)   # permet de créer une 1ère zone de
                                # tracé dans un graphe
fig11.plot(x,y1)
fig12 = fig1.add_subplot(1,2,2)   # on crée une seconde zone
fig12.plot(x,y2)
plt.show()
```

2. Excel: utiliser un tableur

Un tableur est un logiciel qui permet de travailler une grande quantité de nombres, afin d'en faire des traitements ou des représentations.

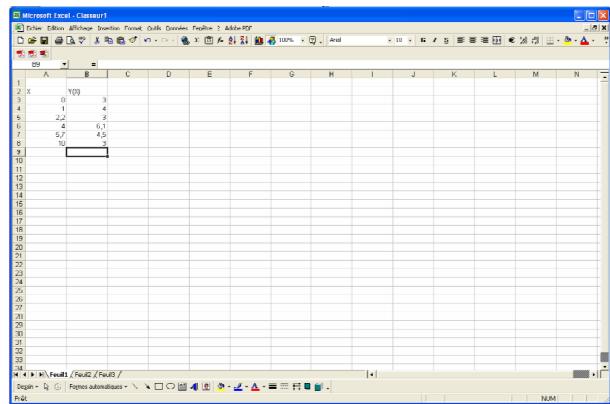
➤ Lancement du tableur

Le tableur se lance en double cliquant sur l'icône de raccourci créé sur le bureau de Windows, ou par l'intermédiaire du "menu démarrer" de Windows.



➤ Ecriture des données

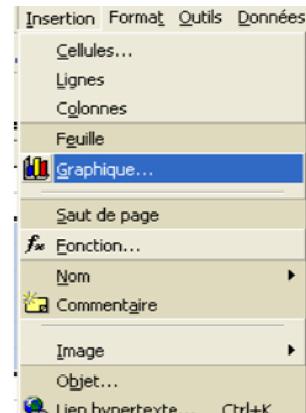
Les données s'entrent dans les cases, de manière verticale.



➤ Tracé graphique des résultats

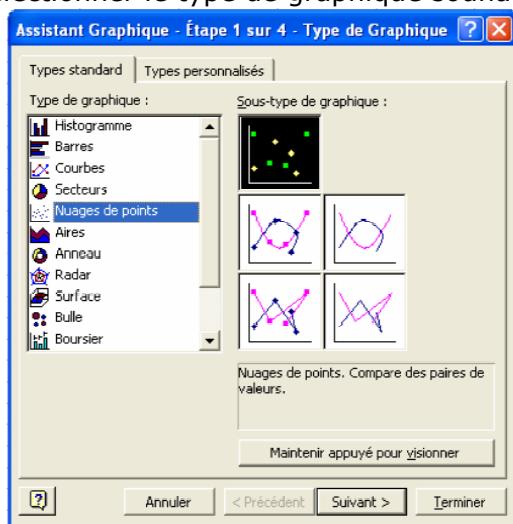
Surligner à la souris la plage de données qui est intéressante.

	A	B
1	X	Y(X)
2	0	3
3	1	4
4	2,2	3
5	4	6,1
6	5,7	4,5
7	10	3
8		
9		
10		

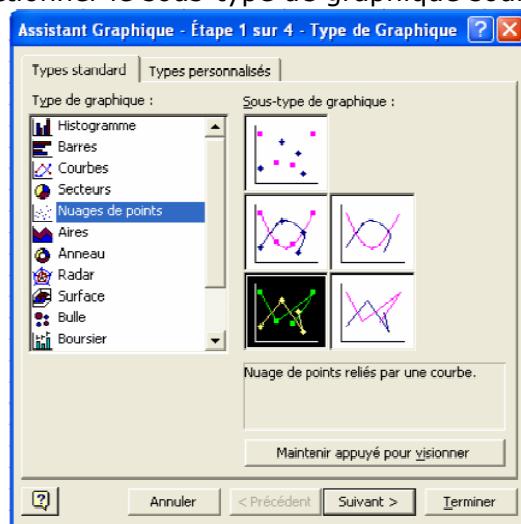


Choisir le menu "Insertion/Graphique".

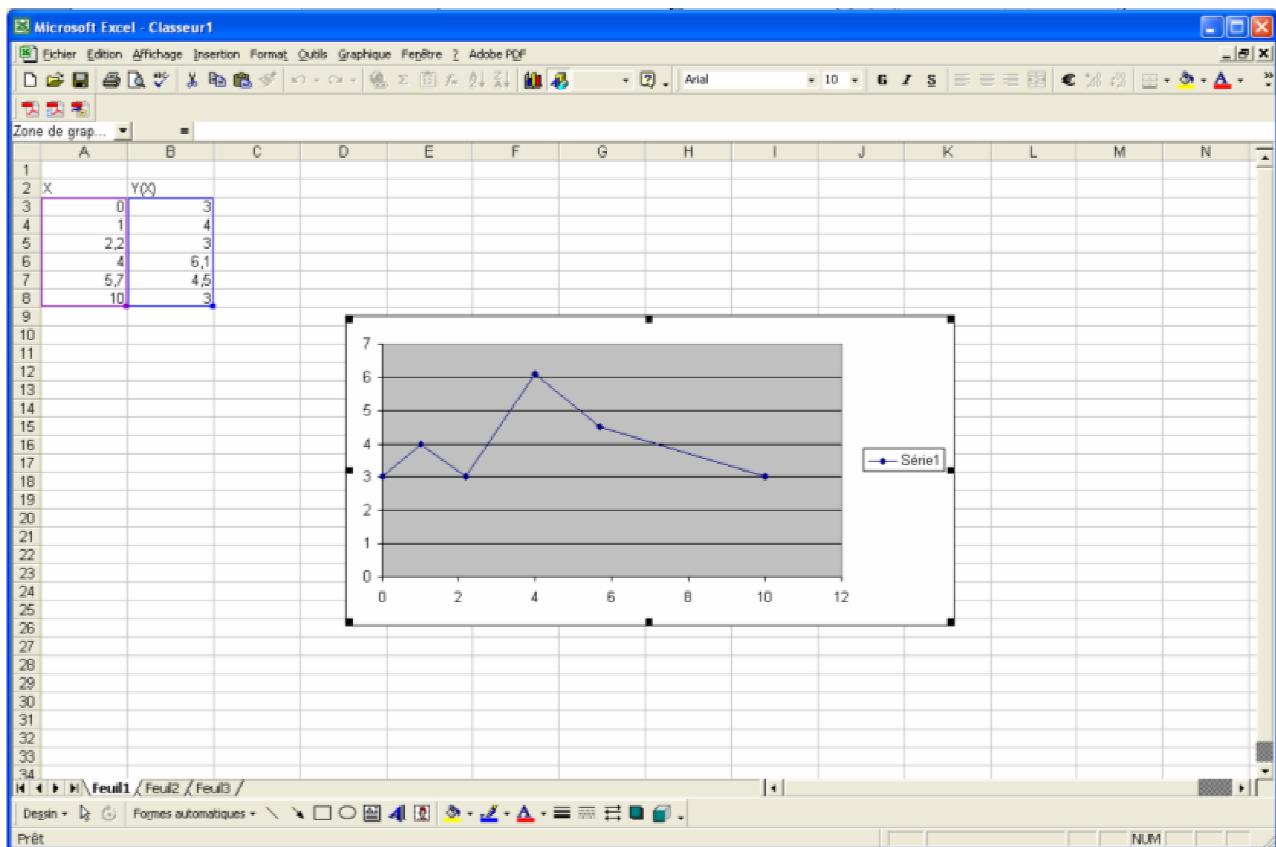
Selectionner le type de graphique souhaité



Selectionner le sous-type de graphique souhaité



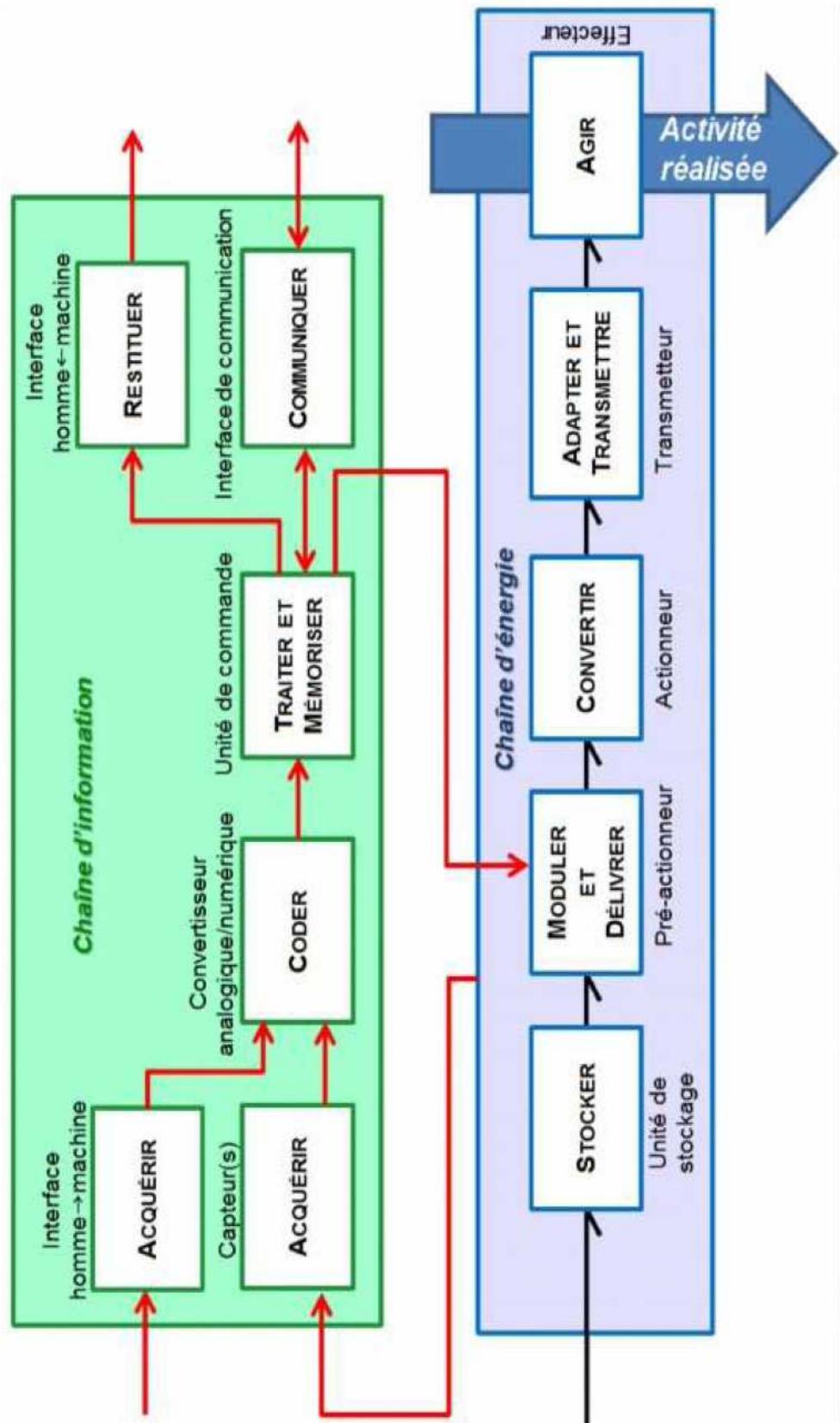
Cliquer sur "Terminer".



Redimensionner au besoin le graphique avec les poignées de sélection.

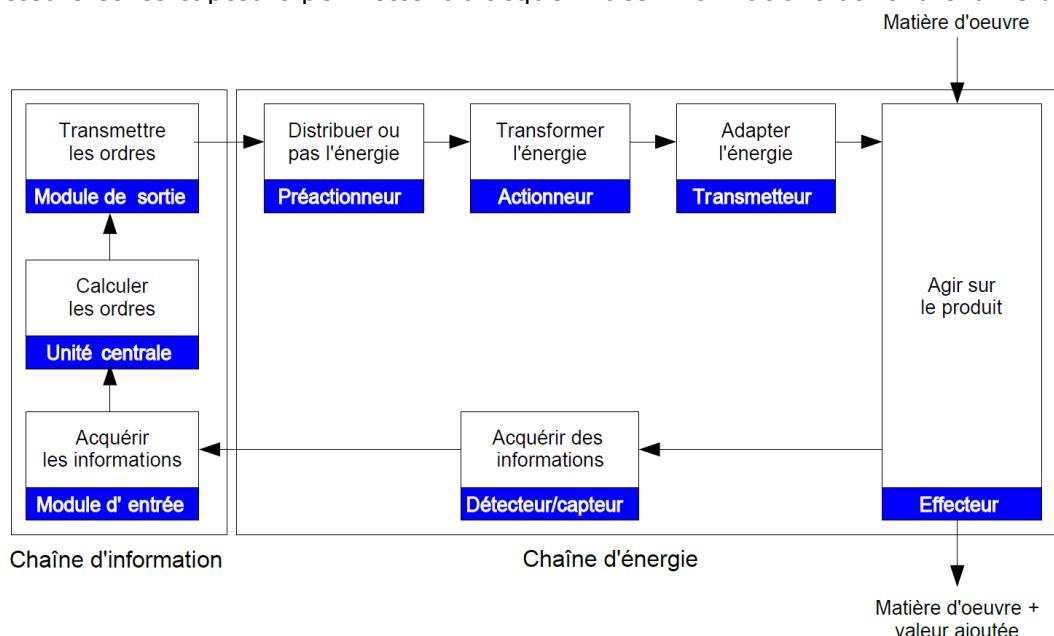
IV. NOTIONS DE COURS

A. CHAINES FONCTIONNELLES - STRUCTURE

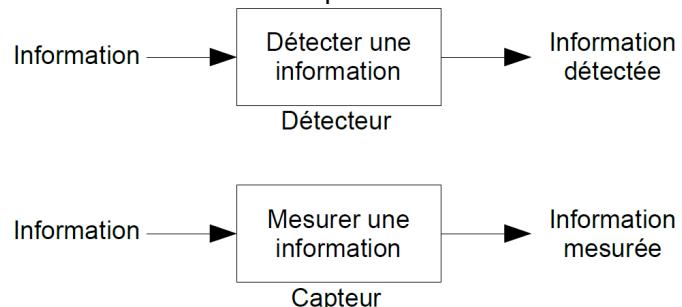


B. LES DETECTEURS ET LES CAPTEURS

Les détecteurs et les capteurs permettent d'acquérir des informations dans la chaîne d'énergie.



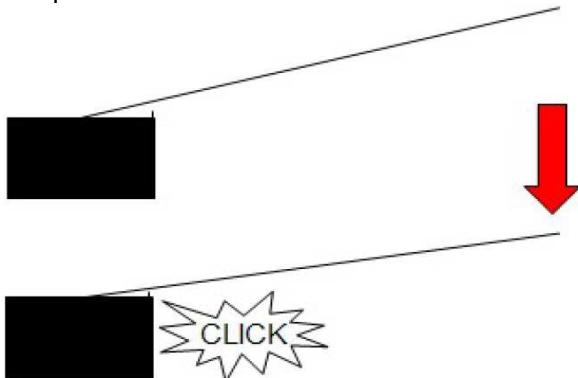
La principale différence entre détecteurs et capteurs est la nature des informations données:



On classe les détecteurs et les capteurs en fonction de la nature de l'information qu'il acquièrent, et de la technologie utilisée pour l'acquisition de l'information.

1. DéTECTEURS de présence mécanique:

Ils détectent la présence d'un objet par contact mécanique.



Avantages:

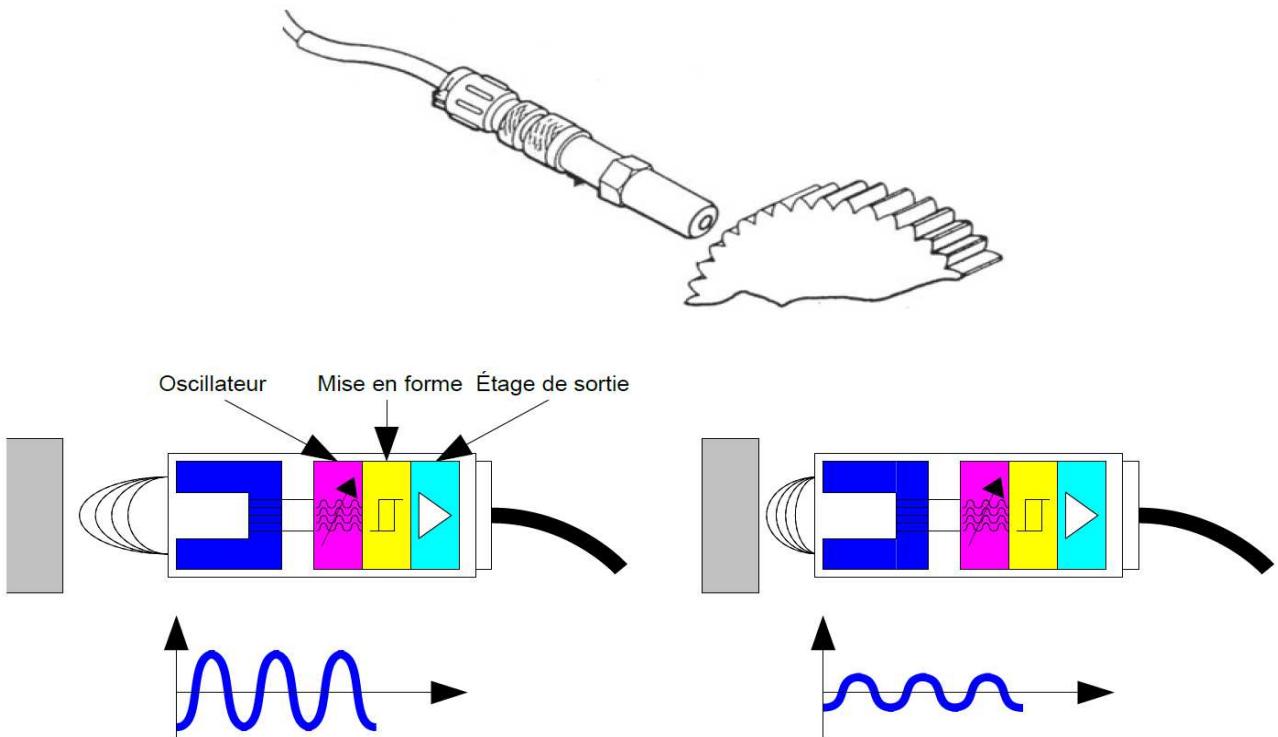
- simples à installer.

Inconvénients:

- en contact avec le produit.

2. DéTECTEURS DE PRÉSENCE MAGNÉTIQUE OU INDUCTIF:

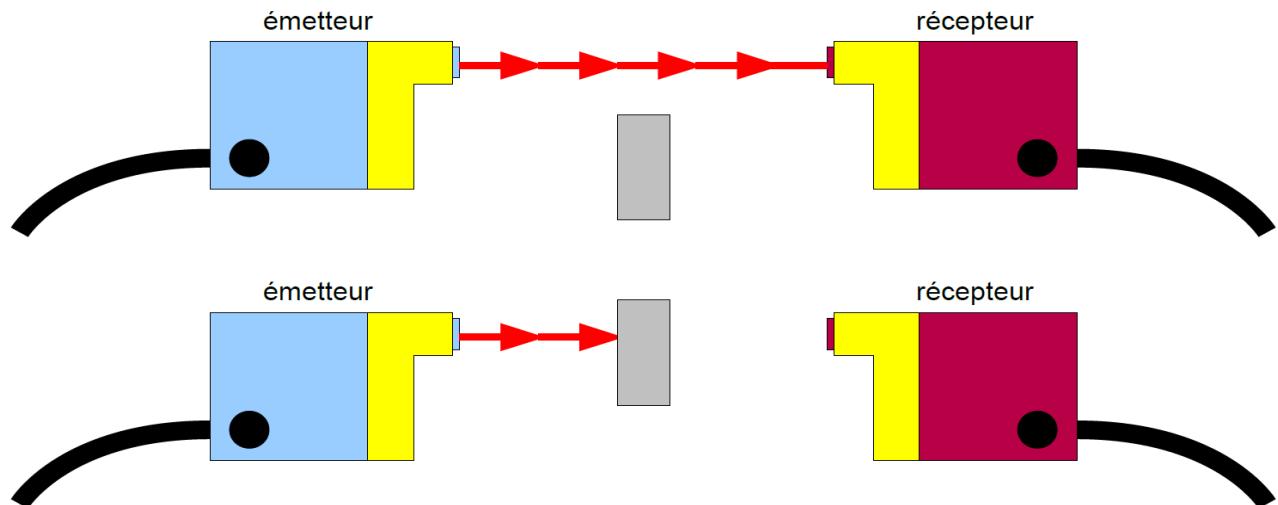
Ils détectent la présence d'un objet métallique par modification du champ magnétique.



Avantages:

- pas de contact physique avec le produit ;
- pas d'usure.

3. DÉTECTEURS DE PRÉSENCE OPTOELECTRONIQUE:



Avantages:

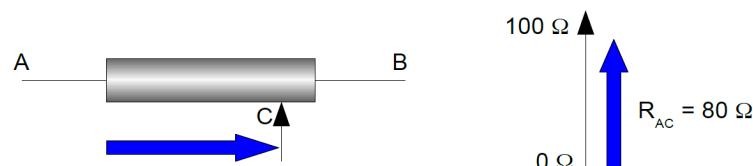
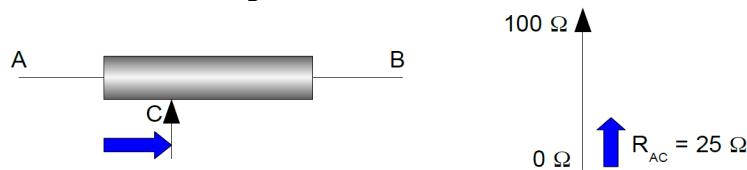
- pas de contact avec le produit.

Inconvénients:

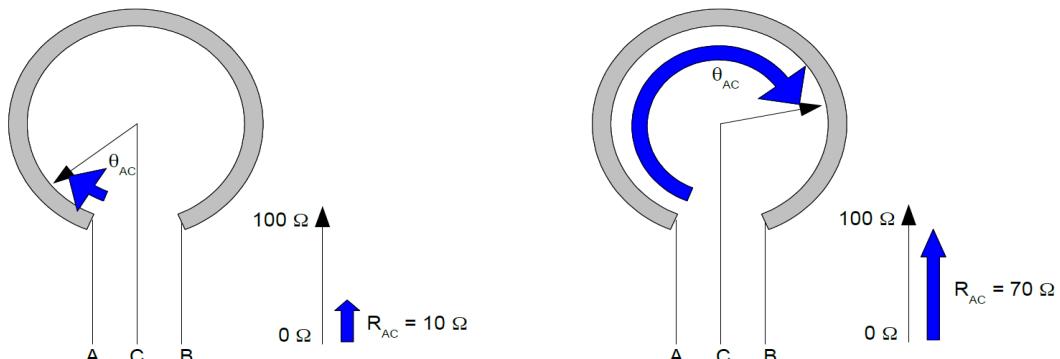
- sensible aux poussières.

4. Capteur de position potentiométrique:

On mesure une position linéaire ou angulaire en mesurant une variation de résistance. La résistance est proportionnelle à la longueur du fil résistant.



Mesure de la position linéaire [AC] par l'intermédiaire de la mesure de RAC.



Mesure de la position angulaire θ_{AC} par l'intermédiaire de la mesure de RAC.

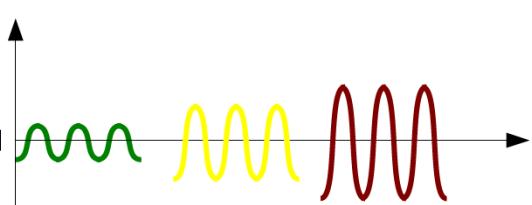
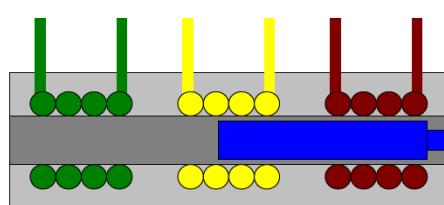
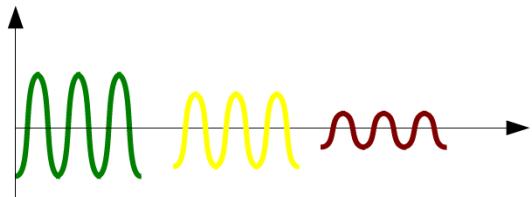
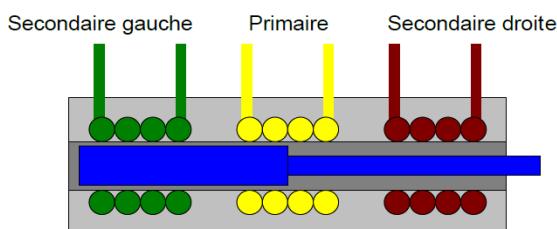
Avantages:

- simples à mettre en œuvre.

Inconvénients:

- amplitude de mesure limitée (bien souvent 1 tour maximum pour la mesure angulaire), ce qui nécessite l'ajout d'un réducteur.

5. Capteur de position inductif:

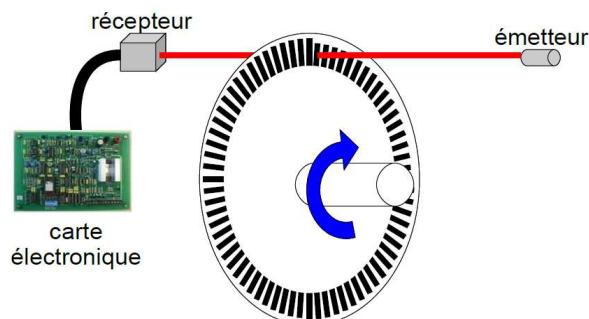


Avantages: pas de contact avec le produit.

6. Capteur de position angulaire : codeur incrémental

➤ *Généralités:*

Une série de fentes est disposée sur la périphérie d'un disque en rotation. En émetteur envoie un signal lumineux dans les fentes, qui est reçu ou non par le récepteur, en fonction de la position angulaire du disque. Une carte électronique compte le nombre d'impulsions reçues et détermine la position angulaire du disque.



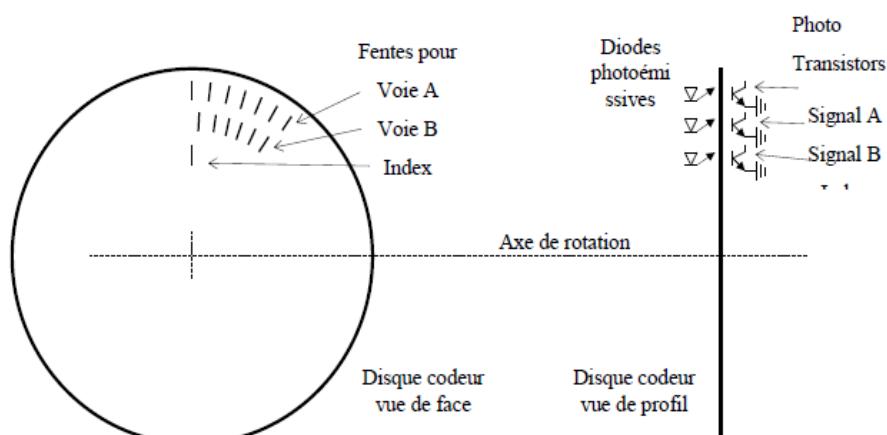
Avantages:

- simples à mettre en œuvre,
- plage de rotation infinie.

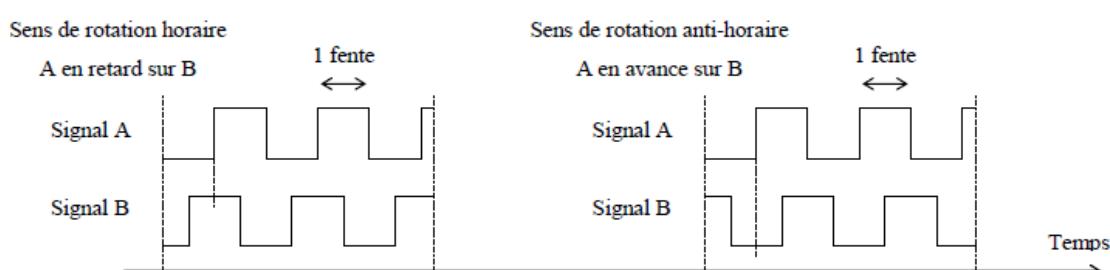
Inconvénients:

- chaque position angulaire est repérée par la même information. Il faut donc faire une mise à zéro avec tout démarrage du système.

On rencontre des codeurs à 1 voie, à 2 voies ou à 2 voies + 1 index. Dans le cas d'un codeur à 2 voies (avec ou sans index), les 2 séries de fentes sont de même période et décalées de $\frac{1}{4}$ de période.



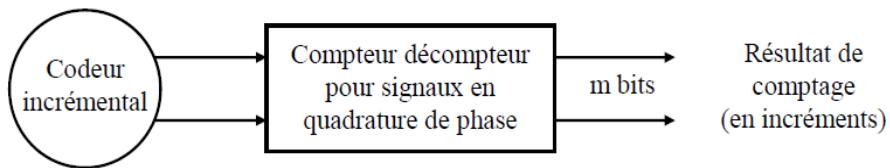
Après mise en forme des signaux délivrés par les phototransistors, le codeur délivre deux signaux électriques en quadrature de phase dont le nombre de période par tour correspond au nombre de fentes par voie sur le disque. Le signe du déphasage entre les deux signaux A et B donne le sens de rotation.



Le signal d'index, le cas échéant, délivre une impulsion par tour. Il permet éventuellement un comptage du nombre de tours ou le repérage de la position angulaire zéro.

➤ Utilisation en capteur de position.

Le comptage (ou décomptage) de toutes les transmissions des signaux A et B donne pour résultat une image numérique du déplacement angulaire.

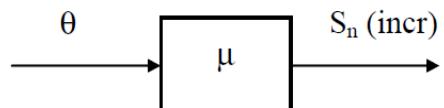


Si on note n le nombre de fentes par voie du disque codeur, on peut en déduire le gain du capteur de position angulaire ainsi réalisé.

Soit: " θ ": le déplacement angulaire

" S_n ": la sortie numérique, image du déplacement angulaire, correspond au comptage des transitions sur les deux voies du codeurs

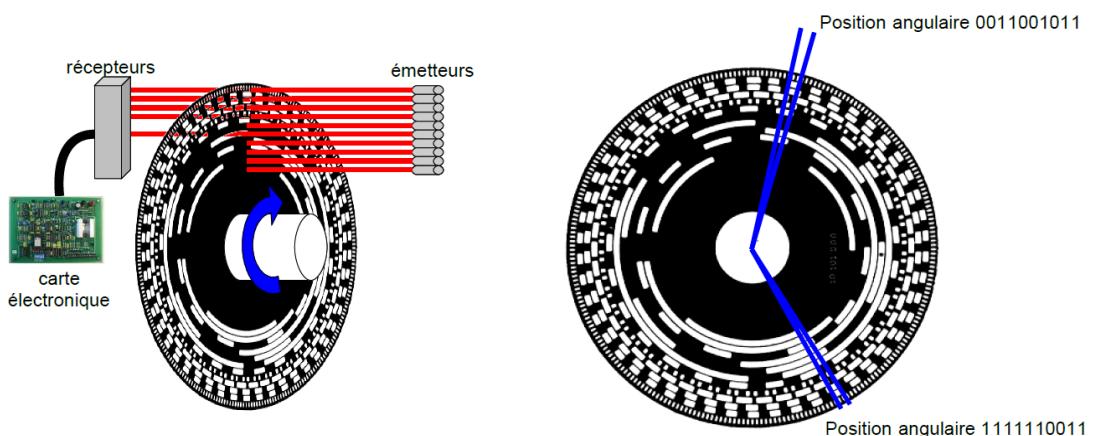
" μ ": le gain du capteur de position à sortie numérique (exprimé en incrément par unité d'angle)



θ en	tours	degrés	radians
μ	$4n$	$4n/360$	$4n/2\pi$
unité	incr/tour	incr/degré	incr/rad

7. Capteur de position angulaire : codeur absolu

Une série de trous ortho-radiaux sont disposées sur un disque en rotation. Plusieurs émetteurs envoient des signaux lumineux dans les trous, qui sont reçus ou non par des récepteurs, en fonction de la position angulaire du disque. Une carte électronique détermine le signal reçu, et en déduit la position angulaire du disque, car chaque position angulaire est repérée par un code différent.



Avantages:

- chaque position angulaire étant codée par un code différent, l'information de position est présente dès la mise en route du système.

8. Capteur de vitesse angulaire : génératrice tachymétrique

Ce capteur fonctionne comme un moteur électrique à courant continu (voir l'annexe sur les moteurs électriques), mais en sens inverse : la tension qu'il délivre est proportionnelle à sa vitesse de rotation. La démonstration de ce résultat s'obtient en regardant les équations du moteurs à courant continu, pour une résistance et une inductance négligeable.



9. Accéléromètre : capteur piézoélectrique

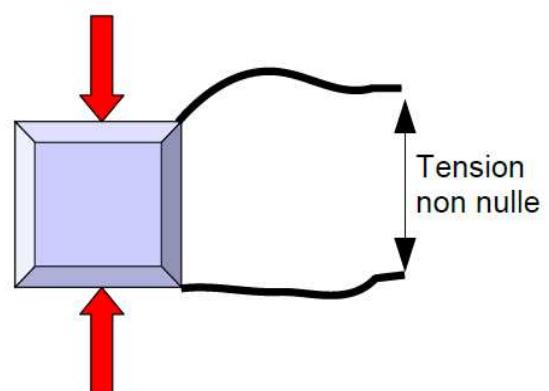
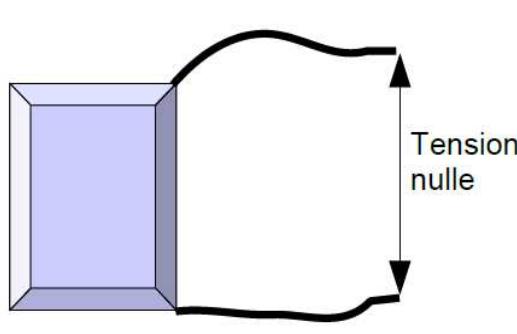
Un capteur piézoélectrique est constitué d'un matériau, le quartz, qui a la propriété de fournir une certaine tension lorsqu'il se déforme. Un accéléromètre contient un disque en matériaux piézoélectriques. Lorsqu'il subit une accélération, le disque se déforme et délivre une tension. La mesure de cette tension permet de connaître la déformation subie, et donc l'accélération.



quartz

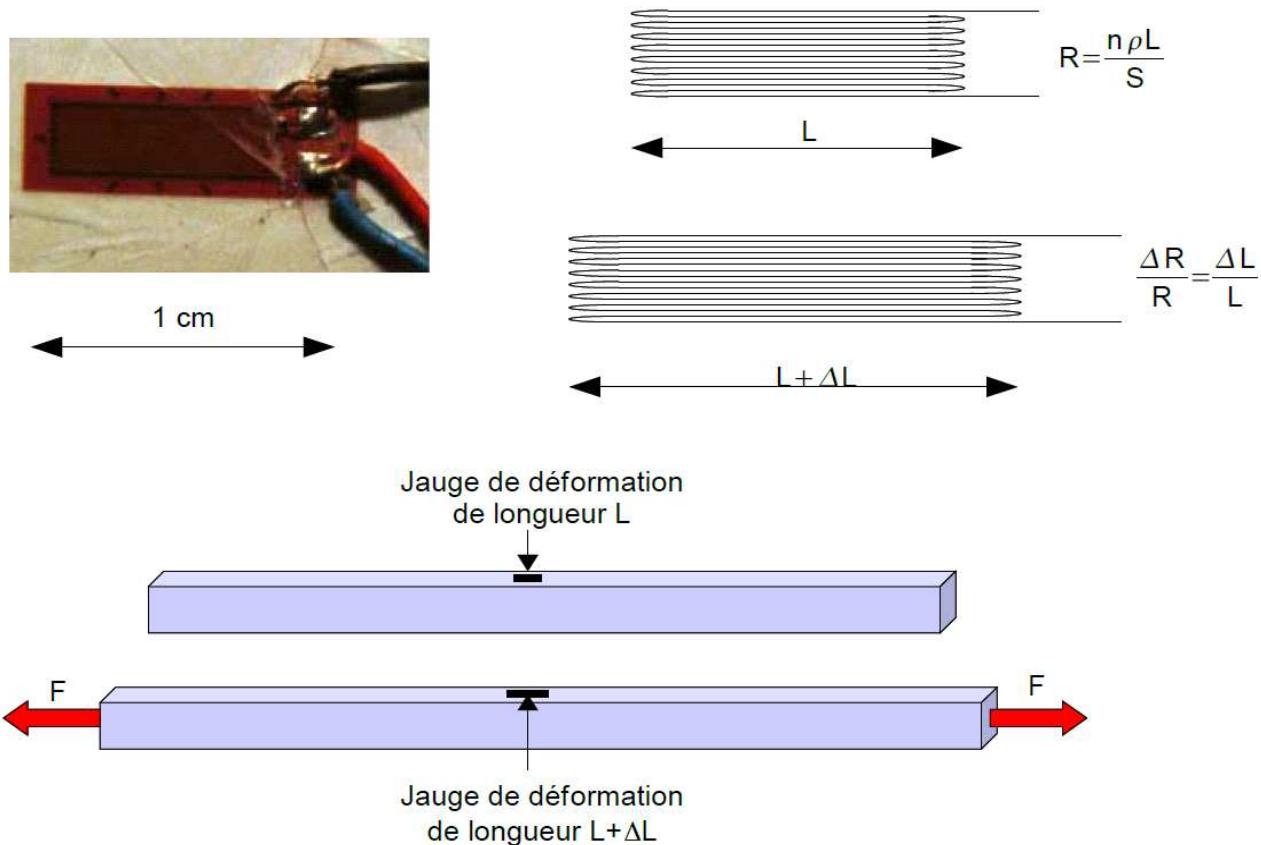


accéléromètre avec son disque piézoélectrique



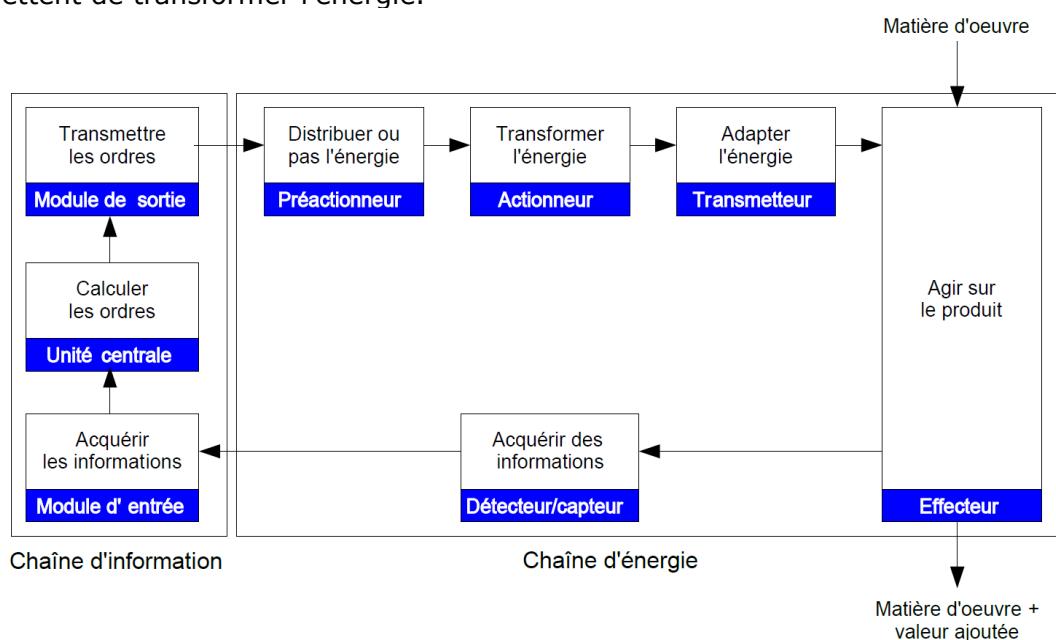
10. Capteur d'effort : jauge de déformation

Un fil en serpentin est collé sur la surface d'une pièce pour laquelle on désire connaître les efforts qu'elle subit. Lorsqu'un effort est appliqué, le fil se déforme, subit une variation de longueur. Sa résistance varie en conséquence. La variation de sa résistance est proportionnelle à sa variation de longueur. Connaissant la loi de comportement du matériau, qui relie les déformations aux efforts, on a accès aux efforts.



C. LES ACTIONNEURS

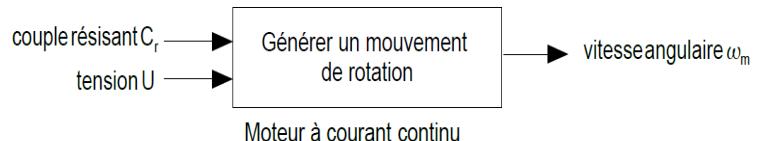
Ils permettent de transformer l'énergie.



On classe les actionneurs en fonction de la nature de l'énergie en entrée, de la nature de l'énergie en sortie, et des solutions techniques retenues pour transformer l'énergie d'entrée en l'énergie de sortie.

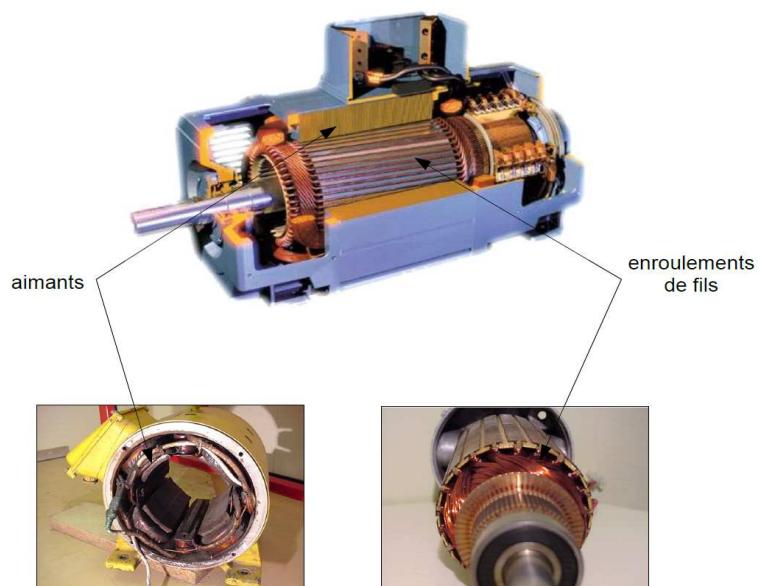
1. Moteur électrique à courant continu

La fonction du moteur électrique à courant continu est de générer un mouvement de rotation (vitesse angulaire " ω_m ") à partir d'une tension.

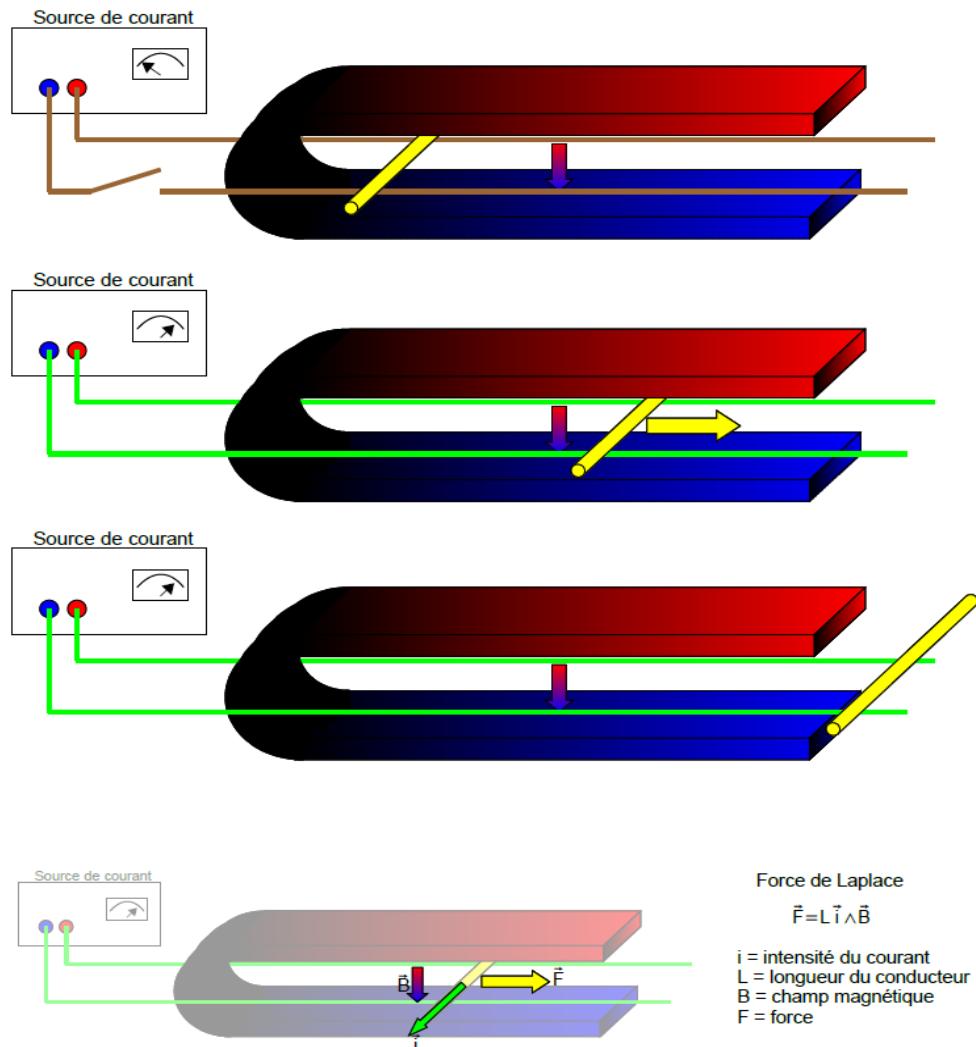


La vitesse angulaire dépend du couple résistant auquel doit faire face le moteur.

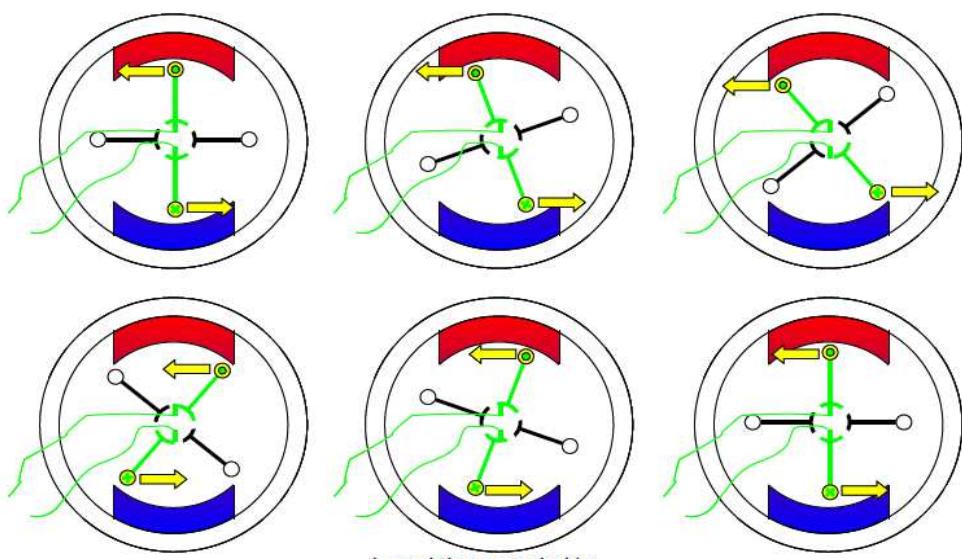
Le moteur électrique à courant continu est constitué d'aimants et de fils enroulés.



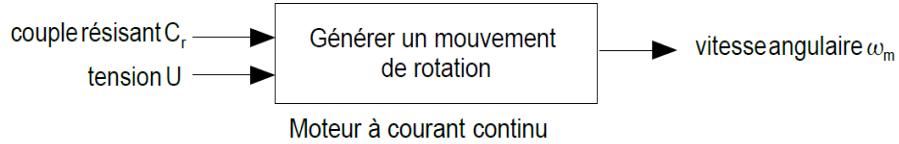
Il se base sur la force de Laplace: tout conducteur parcouru par un courant et plongé dans un champ magnétique reçoit une force, la force de Laplace, proportionnelle à l'intensité du courant et du champ magnétique.



Un système particulier permet de faire varier le passage du courant dans les fils, afin de générer une force de Laplace motrice pour le mouvement de rotation.



Le moteur à courant continu peut être schématisé par le schéma bloc suivant:



Les équations qui traduisent son comportement sont (inductance et couple résistant négligé):

$$u_{mot}(t) = e_{mot}(t) + R.i_{mot}(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

$$e_{mot}(t) = k_e \cdot \omega_{mot}(t)$$

$$J \cdot \frac{d\omega_{mot}(t)}{dt} = c_{mot}(t) - f \cdot \omega_{mot}(t)$$

$$c_{mot}(t) = k_t \cdot i_{mot}(t)$$

avec:

- $u_{mot}(t)$: tension du moteur (en V),
- $e_{mot}(t)$: force contre électromotrice du moteur (en V),
- $i_{mot}(t)$: intensité dans le moteur (en A),
- $c_{mot}(t)$: couple exercé par le moteur (en N.m),
- $\omega_{mot}(t)$: vitesse angulaire du moteur (en rad / s).

- R : résistance du bobinage (en Ohms).
- L : inductance de la bobine (en H),
- k_e : constante de vitesse (en V.s / rad),
- k_t : constante de couple (en N.m / A),
- J_{eq} : inertie équivalente du système ramené sur l'axe moteur (en kg.m²),
- f : coefficient de viscosité (en N.m.s / rad).

2. Moteur électrique asynchrone

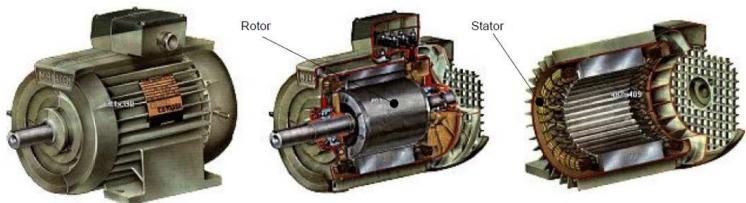
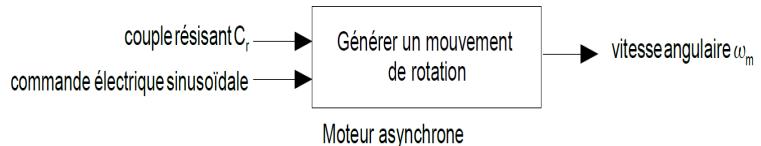
La fonction du moteur électrique asynchrone est de générer un mouvement de rotation (vitesse angulaire "ω_m") à partir d'une commande électrique sinusoïdale de fréquence variable.

La vitesse angulaire dépend du couple résistant auquel doit faire face le moteur.

Le moteur asynchrone est largement utilisé dans l'industrie, car sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable ne nécessitant pas beaucoup d'entretien.

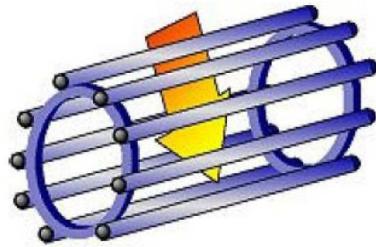
Il est constitué:

- d'une partie fixe, le stator, qui comporte le bobinage,
- d'une partie rotative, le rotor, qui comporte un bobinage en cage d'écurail.



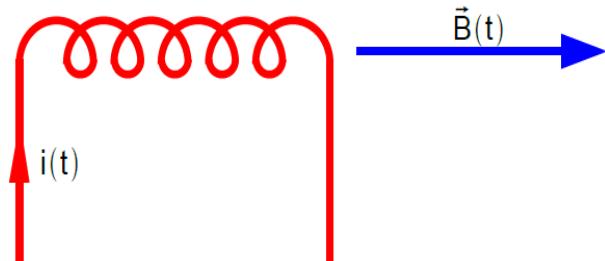
Bobinage du stator

Rotor en structure de cage d'écurail

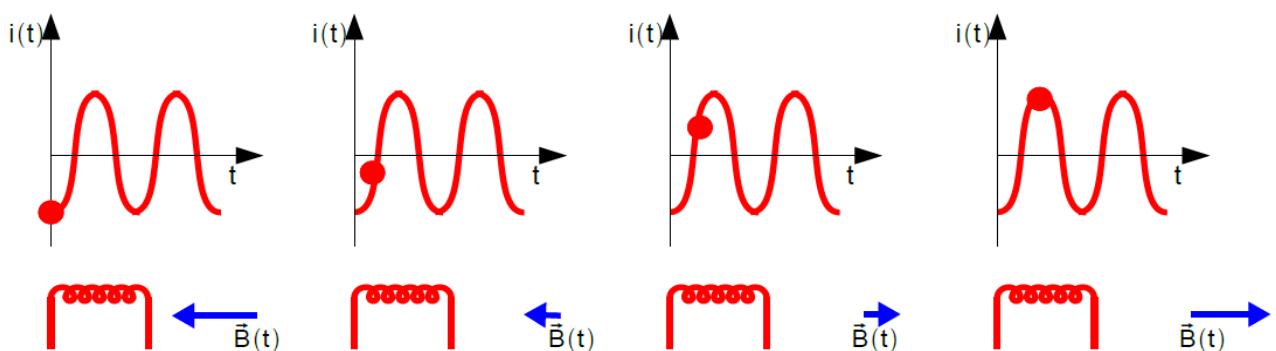


Pour fonctionner, il utilise le principe des champs magnétiques tournants produit par des tensions alternatives.

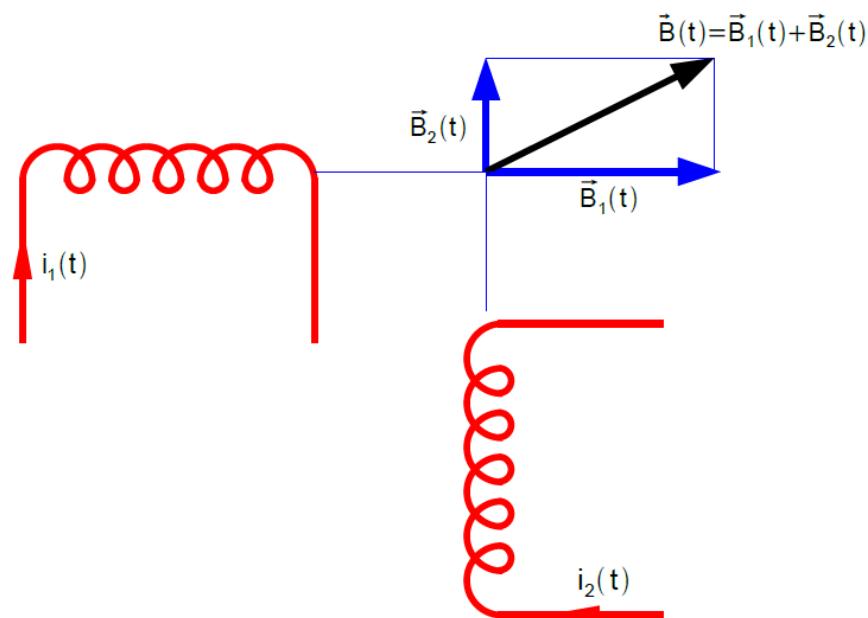
En effet, un bobine, parcourue par un courant i , produit un champ magnétique " \vec{B} " dirigé selon son axe. Le sens et la norme de " \vec{B} " dépendent de " i ".



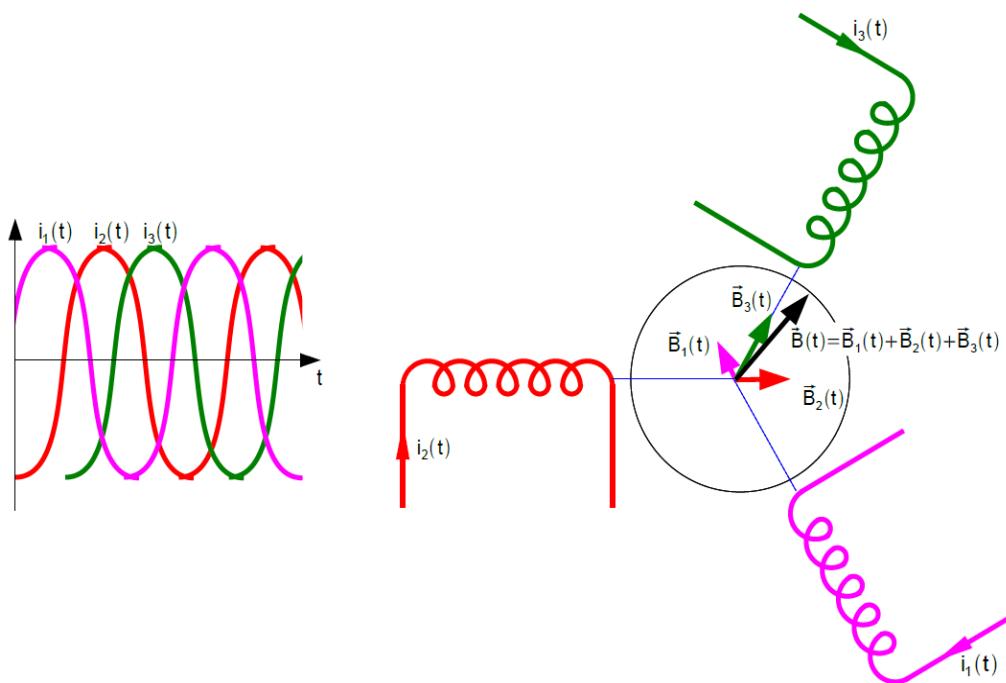
Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en norme à la même fréquence que le courant.



Si deux bobines sont placées à proximités, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des champs magnétiques.



Dans le cas d'un moteur triphasé, il y a trois bobines dans le stator, disposées à 120° chacune. Les courants, sinusoïdaux, de chaque bobine sont déphasés de 120° . La somme vectorielle des champs magnétiques est un champ magnétique de norme constante, qui tourne en cercle, à la même fréquence que celle des courants.



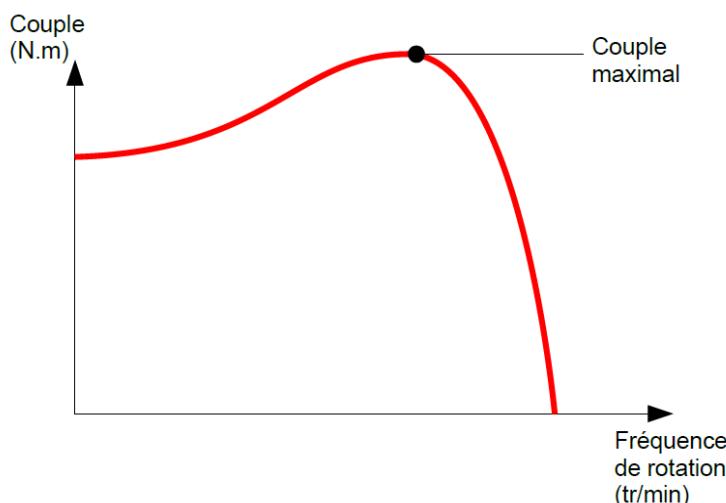
Les trois bobines créant un champ magnétique tournant, si on place un boussole dedans, elle va tourner à la même fréquence, appelée fréquence de synchronisme.

La cage d'écureuil du rotor est noyée dans le champ magnétique créé par le stator. Il est résulte des courants de Foucault induits, ce qui crée des forces de Laplace et font tourner le rotor sur lui même.

La cage ne peut pas tourner exactement à la même vitesse que le champ magnétique, sinon les courants de Foucault n'existeraient plus. Il y a donc une légère différence entre la fréquence du courant et la fréquence de rotation de la cage, d'où l'appellation « moteur asynchrone ». Par exemple, un champ magnétique qui tourne à 3000 tr/min entraîne en rotation, en régime nominal, un rotor à 2840 tr/min. Il y a donc une différence de 160 tr/min.

Pour un moteur asynchrone, le couple varie en fonction de la fréquence de rotation du moteur.

La caractéristique dynamique d'un moteur asynchrone est la suivante:



La variation de la fréquence du courant de commande permet de faire varier la fréquence de rotation du moteur. Pour cela, on utilise un variateur.



Variateur de vitesse

D. SYSTEMES LINEAIRES:

1. Réponse indicielle 1er ordre

La forme canonique d'un système du premier ordre est la suivante:

$$H(p) = \frac{K}{1 + T \cdot p}$$

avec: "K": Gain statique

"T": Constante de temps

La réponse indicielle d'amplitude "E₀" d'un système du premier ordre est:

$$s(t) = K \cdot E_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) u(t)$$

2. Réponse indicielle 2ème ordre

La forme canonique d'un système du deuxième ordre est la suivante:

$$H(p) = \frac{K}{1 + \frac{2 \cdot \xi}{\omega_0} \cdot p + \frac{1}{\omega_0^2} \cdot p^2}$$

avec: "K": Gain statique

"ξ": Coefficient d'amortissement

"ω₀

La réponse indicielle d'amplitude "E₀" d'un système du deuxième ordre dépend de la valeur du coefficient d'amortissement "ξ":

- Si "ξ < 1", alors:

$$s(t) = K \cdot E_0 \cdot \left[1 - e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot t} \cdot \left(\cos(\omega_0 \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot t) + \frac{\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}} \cdot \sin(\omega_0 \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \cdot t) \right) \right] u(t)$$

- Si "ξ > 1", alors:

$$s(t) = K \cdot E_0 \cdot [1 - e^{-\omega_0 \cdot t} \cdot (1 + \omega_0 \cdot t)] u(t)$$

- Si "ξ = 1", alors:

$$s(t) = K \cdot E_0 \cdot \left[1 - e^{-\xi \cdot \omega_0 \cdot t} \cdot \left(\cosh(\omega_0 \cdot \sqrt{\xi^2 - 1} \cdot t) + \frac{\xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}} \cdot \sinh(\omega_0 \cdot \sqrt{\xi^2 - 1} \cdot t) \right) \right] u(t)$$

E. MECANIQUE:

1. Tableau des liaisons normalisées

Degré de liberté	Nom de la liaison	Symbole 2D	Symbole 3D	Caractéristique géométrique	Torseur cinématique exprimé dans la base $[\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}]$	Particularités
0	Liaison encastrement			Aucune	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_P$	$\forall P$
1	Liaison pivot			Axe ($O\dot{x}$)	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} p_{21} 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{P,R}$	$\forall P \in (O\dot{x})$
1	Liaison glissière			Direction \dot{x}	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} 0 u_{21} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{P,R}$	$\forall P$
1	Liaison hélicoïdale			Axe ($O\dot{x}$)	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} p_{21} u_{21} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{P,R}$ $ V_x = \frac{p}{2\pi} \omega_x $ p pas de la liaison	$\forall P \in (O\dot{x})$
2	Liaison pivot glissant			Axe ($O\dot{x}$)	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} p_{21} u_{21} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}_{P,R}$	$\forall P \in (O\dot{x})$
2	Liaison sphérique à doigt			Centre O, plan de la rainure, direction du doigt	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} p_{21} 0 \\ 0 & 0 \\ r_{21} 0 \end{pmatrix}_{O,R}$	O, centre de la sphère
3	Liaison rotule (ou sphérique)			Centre O	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} p_{21} 0 \\ q_{21} 0 \\ r_{21} 0 \end{pmatrix}_{O,R}$	O, centre de la sphère
3	Liaison appui plan			Normale \vec{z}	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} 0 u_{21} \\ 0 v_{21} \\ r_{21} 0 \end{pmatrix}_{P,R}$	$\forall P$
4	Liaison linéaire annulaire (ou sphère cylindre)			Axe ($O\dot{x}$) Centre O	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} p_{21} u_{21} \\ q_{21} 0 \\ r_{21} 0 \end{pmatrix}_{O,R}$	O, centre de la sphère
4	Liaison linéaire rectiligne (ou arête-plan ou cylindre-plan)			Droite de contact ($O\dot{x}$), plan tangent	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} p_{21} u_{21} \\ 0 v_{21} \\ r_{21} 0 \end{pmatrix}_{P,R}$	$\forall P \in (O, \dot{x}, \dot{z})$
5	Liaison ponctuelle (ou sphère-plan)			Normale ($O\dot{z}$)	$[\mathbf{V}(S_2/S_1)] = \begin{pmatrix} p_{21} u_{21} \\ q_{21} v_{21} \\ r_{21} 0 \end{pmatrix}_{P,R}$	$\forall P \in (O\dot{z})$

2. Lois de Coulomb

➤ Généralités

Précédemment, nous avions fait l'hypothèse que les actions de contact se faisaient sans frottement et que la force élémentaire " $\overrightarrow{dF(Q)} = \overrightarrow{dF_{S1 \rightarrow S2}}$ " au point " Q " était portée uniquement par la normale au contact " \vec{n} ".

Dans la réalité, le frottement est partout. Il peut avoir des effets négatifs ou positifs:

- effets négatifs: être obligé de fournir une énergie supérieure
- effets positifs: permettre de se déplacer (l'adhérence évite de glisser)

La prise en compte du frottement peut modifier la direction de la force élémentaire " $\overrightarrow{dF(Q)}$ " au point " Q " en ajoutant éventuellement une deuxième composante cette fois-ci tangente au contact.

Considérons 2 solides (S_1) et (S_2) en contact avec frottement au point " Q " sur une surface élémentaire " ds " dont le plan (Π) est le plan tangent au contact avec " \vec{n} " vecteur normal au plan (Π) et " \vec{t} " vecteur du plan (Π).

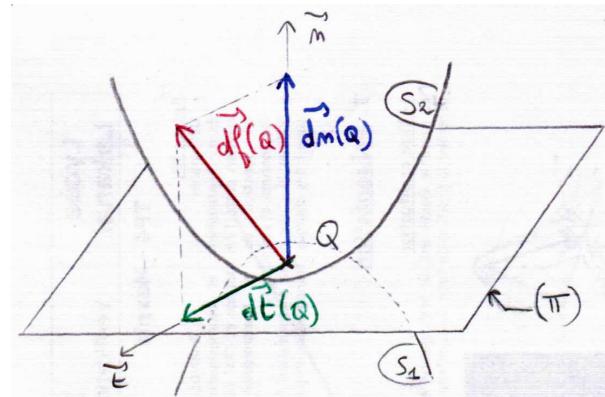
Le torseur cinématique peut se mettre sous la forme suivante:
$$\{V_{S2/S1}\} = \left\{ \frac{\Omega_p \cdot \vec{n} + \Omega_R \cdot \vec{t}}{V_{Q \in S2/S1}} \right\}_Q$$

Ainsi la force élémentaire de contact avec frottement s'écrit:

$$\boxed{\overrightarrow{dF(Q)} = \overrightarrow{dn(Q)} + \overrightarrow{dt(Q)}}$$

avec " $\overrightarrow{dn(Q)}$ " composante normale de la force élémentaire (due à la non pénétration),

avec " $\overrightarrow{dt(Q)}$ " composante tangentielle de la force élémentaire (due au frottement).



Remarque: Même sans mouvement relatif entre les pièces en contact, la composante de frottement existe (une pièce posée sur un plan incliné reste immobile).

➤ Résistance au glissement

Trois cas peuvent alors se présenter:

Glisser entre les deux solides: $\exists Q \in \partial S, \quad \overrightarrow{V_{Q \in S2/S1}} \neq \vec{0}$

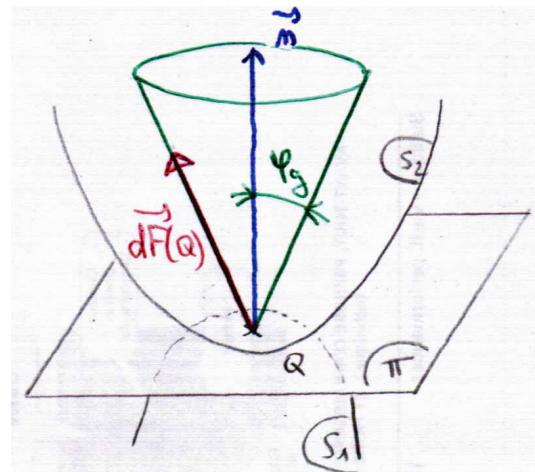
- " $\overrightarrow{V_{Q \in S2/S1}}$ " appartient au plan (Π),
- " $\overrightarrow{dt(Q)}$ " est colinéaire et s'oppose à la vitesse de glissement " $\overrightarrow{V_{Q \in S2/S1}}$ ",
- on pose " $\varphi_g = (\overrightarrow{dF(Q)}, \vec{n})$ ": " φ_g " est défini par le coefficient " $f_g = \tan \varphi_g = \frac{\| \overrightarrow{dt(Q)} \|}{\| \overrightarrow{dn(Q)} \|}$ ",
- " f_g " est appelé "facteur de frottement" ou "coefficient de résistance au glissement".

Remarques:

- La projection dans le plan tangent (Π) de la force élémentaire " $\overrightarrow{dF(Q)}$ " est une résistance au déplacement:

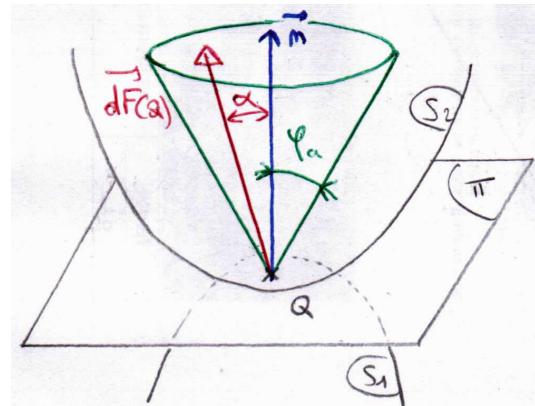
$$\overrightarrow{V_{Q \in S_2/S_1}} \wedge \overrightarrow{dn(Q)} = \vec{0} \text{ et } \overrightarrow{V_{Q \in S_2/S_1}} \cdot \overrightarrow{dt(Q)} < 0.$$

- Le déplacement pouvant avoir lieu dans toutes les directions autour du point " Q ", on définit alors un "cône de frottement" de demi-angle au sommet égal à " φ_g ".



Adhérence entre les deux solides: $\exists Q \in \partial S, \overrightarrow{V_{Q \in S_2/S_1}} = \vec{0}$

- " $\overrightarrow{dt(Q)}$ " appartient au plan (Π), elle résiste et s'oppose au glissement hypothétique,
- on pose " $\alpha = (\overrightarrow{dF(Q)}, \vec{n})$ ": l'angle " $\alpha < \varphi_a$ " avec " $f_a = \tan \varphi_a = \frac{\|dt(Q)\|}{\|dn(Q)\|}$ ",
- " f_a " est appelé "facteur d'adhérence"; il est légèrement supérieur à " f_g ". on supposera malgré tout que " $f_a = f_g = f$ ", autrement dit " $\varphi_a = \varphi_g = \varphi$ ".



Remarque: la force élémentaire " $\overrightarrow{dF(Q)}$ " est située à l'intérieur du "cône d'adhérence" de demi-angle au sommet égal à " φ_a ".

Limite d'adhérence: $\exists Q \in \partial S, \overrightarrow{V_{Q \in S_2/S_1}} = \vec{0}$

Il n'y a pas de glissement entre les deux solides ($\overrightarrow{V_{Q \in S_2/S_1}} = \vec{0}$), mais les actions mécaniques placent le solide (S_2) en équilibre "strict": on est alors à la limite de l'adhérence.

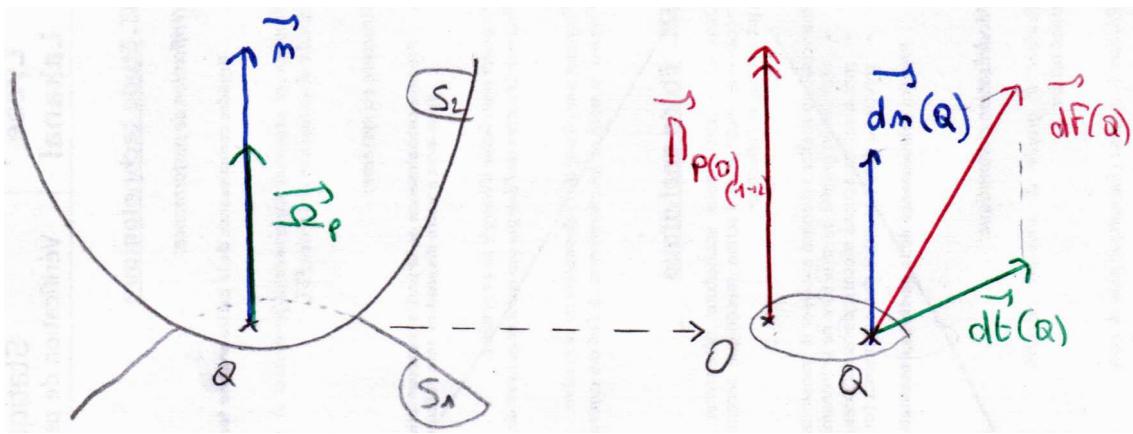
- la direction de " $\overrightarrow{dF(Q)}$ " est confondue avec une génératrice du "cône d'adhérence" de demi-angle au sommet égal à " φ_a ".
- la tendance au déplacement permet de définir la direction et le sens de " $\overrightarrow{dt(Q)}$ ".
- " $\overrightarrow{dt(Q)}$ " s'opposera au "futur" mouvement relatif de (S_2) par rapport à (S_1).

➤ Résistance au pivotement

La composante " $\Omega_p \cdot \vec{n}$ " de la résultante du torseur cinématique du mouvement relatif de (S_2) par rapport à (S_1) correspond à la vitesse angulaire de pivotement qui entraîne un moment résistant au pivotement " $\overrightarrow{M_p(O)_{(S1 \rightarrow S2)}}$ " exercée par (S_1) sur (S_2).

Le moment résistant au pivotement se calcule par:

$$\overrightarrow{M_p(O)_{(S1 \rightarrow S2)}} = \iint_{\partial S} \overrightarrow{OM} \wedge \overrightarrow{dt(Q)} ds$$



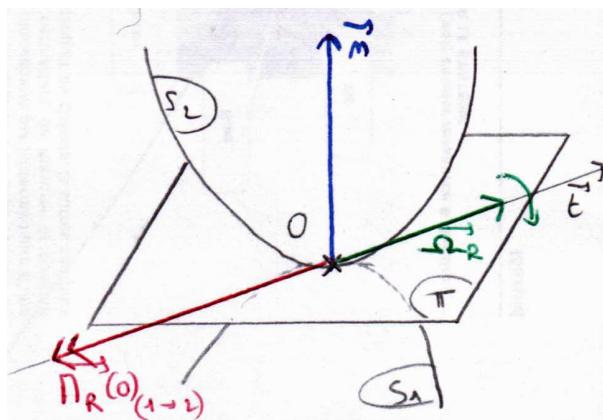
Remarques:

- $\|\overrightarrow{M_p(O)_{(S1 \rightarrow S2)}}\| \leq \mu_p \|\overrightarrow{N_{(S1 \rightarrow S2)}}\|$ (égalité si pivotement effectif, donc si mouvement relatif de (S_2) par rapport à (S_1)),
- " $\overrightarrow{N_{(S1 \rightarrow S2)}}$ " est la résultante des actions normales qu'exerce (S_1) sur (S_2) ,
- " μ_p " est homogène à une longueur, il est appelé "coefficient de résistance au pivotement".

➤ Résistance au roulement

La composante " $\Omega_R \cdot \vec{n}$ " de la résultante du torseur cinématique du mouvement relatif de (S_2) par rapport à (S_1) correspond à la vitesse angulaire de roulement qui entraîne un moment résistant au roulement " $\overrightarrow{M_R(O)_{(S1 \rightarrow S2)}}$ " exercée par (S_1) sur (S_2) .

Le moment résistant au roulement se calcule par: $\overrightarrow{M_R(O)_{(S1 \rightarrow S2)}} = \iint_{\partial S} \overrightarrow{OM} \wedge \overrightarrow{dn(Q)}.ds$



Remarques:

- $\|\overrightarrow{M_R(O)_{(S1 \rightarrow S2)}}\| \leq \mu_R \|\overrightarrow{N_{(S1 \rightarrow S2)}}\|$ (égalité si roulement effectif, donc si mouvement relatif de (S_2) par rapport à (S_1)),
- " $\overrightarrow{N_{(S1 \rightarrow S2)}}$ " est la résultante des actions normales qu'exerce (S_1) sur (S_2) ,
- " μ_R " est homogène à une longueur, il est appelé "coefficient de résistance au roulement".

3. Calcul de puissance développée par une action mécanique

➤ Cas de puissance extérieure:

Posons:

- $\{F_{Ext \rightarrow S}\} = \left\{ \frac{\overrightarrow{R}_{Ext \rightarrow S}}{\overrightarrow{M}_{(A)Ext \rightarrow S}} \right\}_A$ le torseur des Actions Mécaniques de l'Extérieure agissant sur le solide (S),
- $\{V_{S/R}\} = \left\{ \frac{\overrightarrow{\Omega}_{S/R}}{\overrightarrow{V}_{A \in S/R}} \right\}_A$ le torseur cinématique du mouvement du solide (S) par rapport à un référentiel Galiléen (R).

On définit la puissance des actions extérieures au système (S) calculée par rapport à la référence (R) comme le scalaire calculé par la relation suivante:

$$P_{Ext \rightarrow S/R} = \{F_{Ext \rightarrow S}\} \otimes \{V_{S/R}\} = \left\{ \frac{\overrightarrow{R}_{Ext \rightarrow S}}{\overrightarrow{M}_{(A)Ext \rightarrow S}} \right\}_A \otimes \left\{ \frac{\overrightarrow{\Omega}_{S/R}}{\overrightarrow{V}_{A \in S/R}} \right\}_A$$

➤ Cas de puissance intérieure:

Posons:

- $\{F_{S1 \rightarrow S2}\} = \left\{ \frac{\overrightarrow{R}_{S1 \rightarrow S2}}{\overrightarrow{M}_{(A)S1 \rightarrow S2}} \right\}_A$ le torseur des Actions Mécaniques du solide ($S1$) agissant sur le solide ($S2$),
- $\{V_{S2/S1}\} = \left\{ \frac{\overrightarrow{\Omega}_{S2/S1}}{\overrightarrow{V}_{A \in S2/S1}} \right\}_A$ le torseur cinématique du mouvement du solide ($S2$) par rapport au solide ($S1$).

On définit la puissance des inter-efforts développé au sein du contact ($S1 \leftrightarrow S2$) le scalaire calculé par la relation suivante:

$$P_{S1 \leftrightarrow S2} = \{F_{S1 \rightarrow S2}\} \otimes \{V_{S2/S1}\} = \left\{ \frac{\overrightarrow{R}_{S1 \rightarrow S2}}{\overrightarrow{M}_{(A)S1 \rightarrow S2}} \right\}_A \otimes \left\{ \frac{\overrightarrow{\Omega}_{S2/S1}}{\overrightarrow{V}_{A \in S2/S1}} \right\}_A$$