

# Ressources Maxpid

## 1. Analyse fonctionnelle et structurelle

### 1.1. Présentation du système

La société Pellenc a développé des robots automatisés permettant de :

- trier automatiquement les déchets (robot Planeco )
- cueillir des pommes ou des citrons (robot Magali/Citrus)
- greffer des rosiers (robot Rosal)

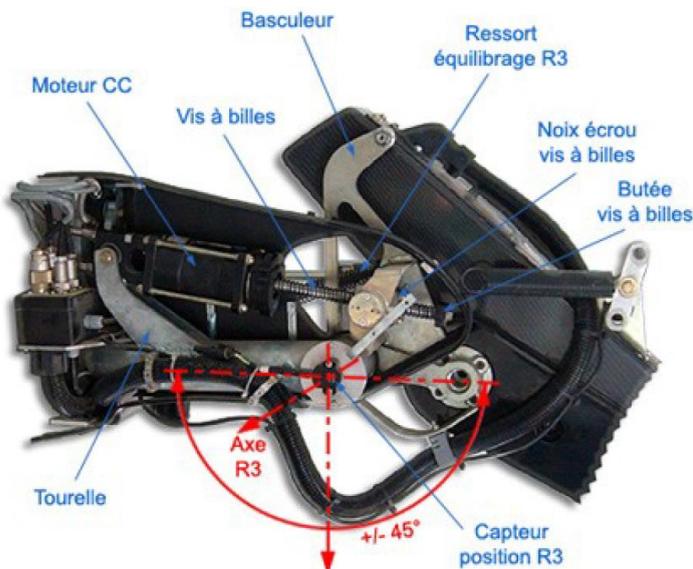
On peut voir ces différents exemples sur le logiciel maxpid

L'architecture générale des deux robots (cueilleur de fruits (MAGALI ou CITRUS) et trieur de déchets (Planeco)), est semblable. La seule différence réside dans l'orientation de l'embase fixe (bâti). Dans le cas du robot cueilleur de fruits, cette embase est horizontale ; alors qu'elle est verticale pour le robot de tri de déchets. L'équilibrage de l'ensemble des axes s'en trouve donc modifié, mais la chaîne cinématique reste la même.

L'orientation du robot est réalisée par trois chaînes fonctionnelles pilotant les axes de rotation :

- de la structure par rapport à l'embase fixe (azimut) (Axe R2) ;
- de la chaise par rapport à la structure (site) (Axe R3) ;
- du bras par rapport à la chaise (Axe R4).

Les trois chaînes fonctionnelles ont la même structure.



Le support de T.P. (Maxpid) disposé sur la table représente une de ces chaînes fonctionnelles.

Pour pouvoir trier les déchets ou cueillir des pommes, le positionnement du robot doit être maîtrisé quelles que soient les conditions de fonctionnement (positionnement précis de l'aspirateur de pommes par exemple).

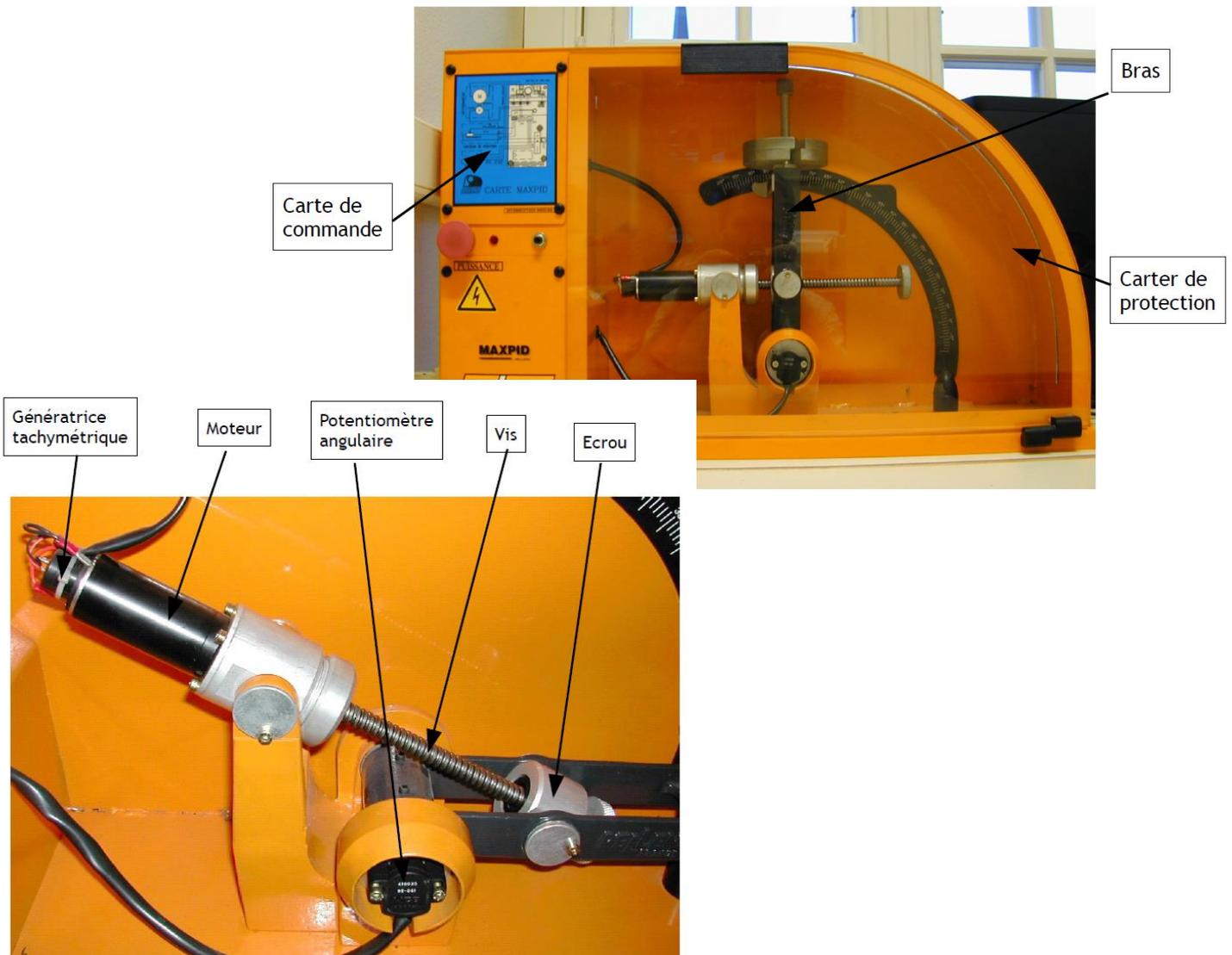
## 1.2.Extrait du cahier des charges

Fonctions ou exigences	Critères	Niveau	limite
Permettre à l'utilisateur d'orienter le tube de cueillette	Débattement angulaire (°)	0 90	mini maxi
	Précision angulaire en régime permanent (°)	1	± 0.5
	Rapidité (s)	0.5	maxi
	Dépassement pour une consigne en échelon	10%	maxi
S'adapter à l'énergie disponible	Tension	220 V 50 Hz	
	Intensité consommée	2A	maxi

## 1.3.Description du système didactisé

Le bras du Maxpid est mis en mouvement par l'intermédiaire d'un système vis/écrou et d'un ensemble de liaisons entre les différentes pièces du mécanisme. La vis est entraînée par un motoréducteur.

Un capteur angulaire permet de mesurer l'angle de rotation du bras par rapport au châssis. Le moteur est piloté en tension par un hacheur situé à l'intérieur de la carte de commande numérique (à l'intérieur du châssis orange). La carte traite les informations transmises par le capteur angulaire, compare cette valeur à la consigne de position angulaire et élabore la commande du hacheur. Une génératrice tachymétrique a été ajoutée et permet de mesurer la vitesse de rotation de la vis par rapport au corps du moteur.



## 2. Modélisation du système

### 2.1. Objectif

Réaliser un modèle permettant d'observer les critères de dépassement et de rapidité.

Ce modèle permettra ensuite d'évaluer l'influence des paramètres de l'axe (Gain du correcteur, masse,...) sur ses performances.

Pour juger de la robustesse d'une simulation, il est nécessaire de faire varier les paramètres d'environnement du modèle. Une simulation est dite robuste si sa représentativité est conservée dans plusieurs phases de vie.

### 2.2. Variables d'environnement

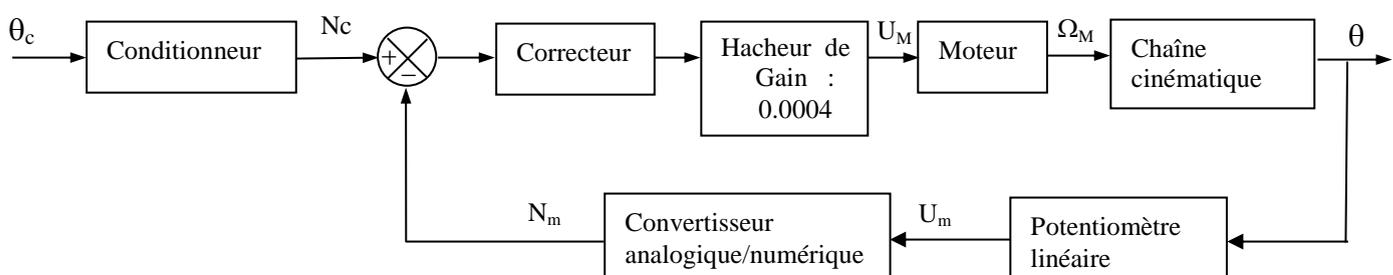
Chargement extérieur	Deux masses à l'extrémité
Positionnement	Plan d'évolution horizontal
Réglage du correcteur	Gain proportionnel du correcteur : Kp=100 (Pas d'intégrateur ni de dérivateur) Kp=10 (Pas d'intégrateur ni de dérivateur)  Deux modèles à caractériser avec les deux valeurs de Kp définies.
Excitateur	Échelon : 20° à partir d'une position de départ 30° Sinusoïde (si disponible) : moyenne 45°, amplitude 5° Trapèze de vitesse : $\Omega_{bras}$ entre 0.5 et 2 rad/s

### 2.3. Domaine de validité du modèle

Pour une entrée échelon	
Écart sur la valeur finale	<10%
Écart du premier dépassement du résultat $D_{\text{modèle}}$ par rapport au premier dépassement de la réponse $D_{\text{expérimentation}}$	<10%
Écart du temps de réponse à 5% du résultat $Tr5\%_{\text{modèle}}$ par rapport au temps de réponse à 5% de la réponse $Tr5\%_{\text{expérimentation}}$	<20%

### 2.4. Schéma-bloc pour modèle de connaissance

La structure est celle d'un asservissement électromécanique de mise en position angulaire. Le système sera considéré non perturbé. Cela correspond à des essais de mise en position réalisés avec le système couché (plan d'évolution horizontal).



## 2.5. Grandeurs utiles

Pour décrire le schéma bloc du système de mise en position il est nécessaire de définir les grandeurs suivantes :

- $\theta_c$  : angle de consigne définie par l'utilisateur (en °)
- $\theta$  : angle du bras (en °)
- $N_c$  : grandeur numérique image de l'angle de consigne (en point)
- $N_m$  : grandeur numérique image de la tension délivrée par le potentiomètre (en point)
- $U_m$  : tension délivrée par le potentiomètre (en Volt)
- $U_M$  : tension d'alimentation du moteur (en Volt)
- $E$  : force contre électromotrice du moteur (en Volt)
- $I$  : intensité dans le moteur (en Ampère)
- $C_M$  : couple délivré par le moteur (en Nm)
- $C_R$  : couple résistant appliqué au moteur (en Nm)
- $\Omega_M$  : vitesse de rotation du moteur (en rad/s)
- $\Omega_b$  : vitesse de rotation du bras (en rad/s)

Internes au moteur

## 3. Description des composants

### 3.1. Chaîne d'information

#### 3.1.1. Le potentiomètre linéaire

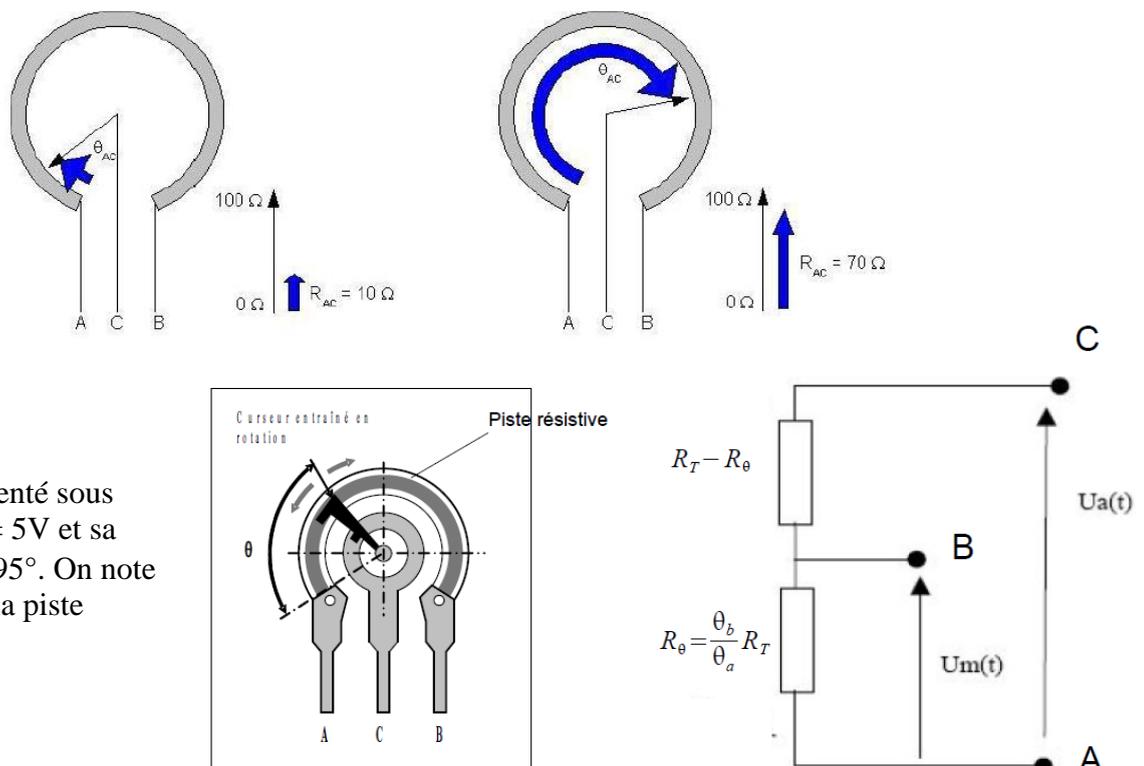
##### Principe de fonctionnement

Ce capteur fonctionne comme un rhéostat "circulaire". La variation de la résistance traduit l'angle à mesurer. On applique un courant constant entre une portion de résistance située entre A et C et on mesure la Tension  $U_{ac}$ .

Avantage : simple à mettre en oeuvre.

Inconvénient :

- contact au niveau de la piste résistive donc usure
- amplitude de mesure limitée (bien souvent 1 tour maximum pour la mesure angulaire), ce qui nécessite l'ajout d'un réducteur).



Le potentiomètre est alimenté sous une tension continue  $U_a = 5V$  et sa plage angulaire  $\theta_a$  est de  $95^\circ$ . On note la  $R_T$  résistance totale de la piste résistive.

Document constructeur**PMR A LEVIER****CAPTEURS DE DEPLACEMENT ANALOGIQUES POUR APPLICATIONS AUTOMOBILES**

- Technologie potentiomètre à piste plastique
- Utilisation en compartiment moteur
- Entraînement par levier avec ressort de rappel
- Sorties par fils

**CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES**

Course électrique :	$94^{\circ} \pm 2^{\circ}$
Linéarité pondérée :	$\pm 1,5 \%$
Résistance totale :	$3,85 \text{ k}\Omega \pm 20 \%$
Puissance dissipée à $+40^{\circ}\text{C}$ :	0,5 W
à $+125^{\circ}\text{C}$ :	0,05 W
Résistance de limitation du courant curseur ( $R_p$ ) :	$1,7 \text{ k}\Omega \pm 20 \%$
Courant curseur conseillé :	$< 100 \mu\text{A}$
Courant curseur max :	15 mA pendant 1 minute
Régularité de la tension de sortie :	$< 0,1 \%$ ( NFC 93 255 )
Impédance de charge recommandée :	$\geq 100 \text{ Rn}$

**CARACTERISTIQUES MECANIQUES**

Course mécanique :	$125^{\circ} \pm 4^{\circ}$
Couple de rappel du levier en début de course :	$\geq 1 \text{ N.cm}$
Couple de rappel du levier en fin de course :	$\leq 10 \text{ N.cm}$
Couple de butée :	60 N.cm
Rappel du levier :	sens anti-horaire
Couple de serrage des vis de fixation :	2,3 N.m max

**ENVIRONNEMENT**

Températures limites d'emploi :	$-40^{\circ}\text{C}$ à $+125^{\circ}\text{C}$
Températures limites de stockage :	$-55^{\circ}\text{C}$ à $+135^{\circ}\text{C}$
Vibrations :	sévérité 10-2000 Hz 10mm ou 50g
Utilisation en compartiment moteur :	
Durée de vie et indice de protection :	voir tableau
Micro-déplacements : (dither stroke)	$> 200.10^6$ cycles

**CONNECTIQUE**

Sorties par fils - $-40^{\circ}\text{C}$ + $+105^{\circ}\text{C}$ (3x 0,93 mm <sup>2</sup> - longueur 300mm)
Sorties par fils gainés - $-40^{\circ}\text{C}$ + $+125^{\circ}\text{C}$ sur option

### 3.1.2. La génératrice tachymétrique

#### Principe de fonctionnement

Le bras articulé possède une génératrice tachymétrique qui permet de mesurer la vitesse de rotation du moteur à courant continu en sortie, donc de la vis/stator.



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 moteur à courant continu, pour une résistance et une inductance négligeables.

#### Document constructeur

retour ?



Génératrices

Type Produit **2822**

PAGE 1

MAXON

**CARACTERISTIQUES**

		<b>0,52/1000</b>
Tension de sortie	V/1000tr/	0.52
Resistance du rotor	mn	57
Taux d'ondulation	Ohm	6
Linéarité +/-	%	0.7
Courant maximum conseillé	%	10
Impédance nominale de charge	mA	10
Tolérance sur tension de sortie +/-	Kohm	15
Coefficient de température	%	0.4
Commutation	%/°C	Métal
Aimant		AiNiCo
Nombre de lames au collecteur		7
Température minimum d'utilisation		-20
Température maximum d'utilisation	°C	65
Inertie	°C	3
	gcm <sup>2</sup>	



Cette génératrice à faible inertie avec commutation en métaux précieux est l'accessoire indispensable pour l'affichage ou la recopie de la vitesse dans une boucle d'asservissement. A préférer à l'utilisation d'un codeur dans des applications motorisées à basse vitesse, cette génératrice ne peut être associée aux moteurs RED25CLL, RED25G et RED35G que lors de la fabrication.

+ PLAN

### 3.1.3. La carte de commande

La carte de commande est constituée de plusieurs éléments et réalise les opérations suivantes :

- conversion de l'angle de consigne en grandeur numérique
- conversion de la tension délivrée par le capteur en grandeur numérique
- comparaison de ces deux grandeurs numériques
- correction de l'écart
- définition de la consigne du hacheur qui alimente alors le moteur avec la tension adéquate.

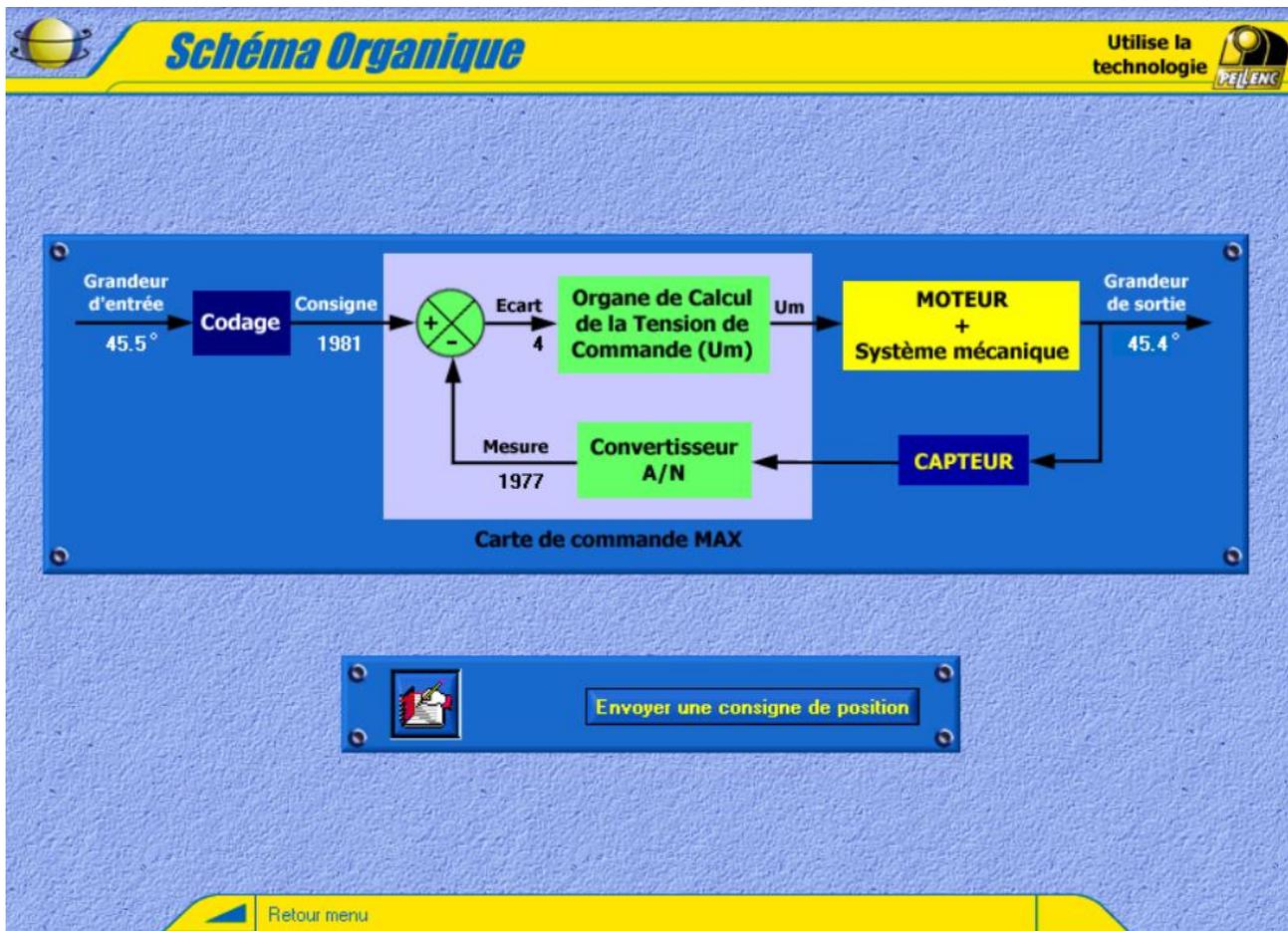
#### Le convertisseur analogique numérique

Le signal de sortie du capteur est une tension. Le correcteur utilisé dans la carte de commande est numérique. On utilise donc un Convertisseur Analogique Numérique (CAN) pour transformer la tension continue en signal numérique (grandeur en points). De la même manière la consigne d'entrée est convertie en valeur numérique par un autre convertisseur.

#### Le conditionneur

L'intérêt de ce composant est de faire en sorte que l'écart soit proportionnel à l'erreur entre l'angle de consigne du bras et l'angle réel du bras.

Les fonctions de transfert des deux composants précédents peuvent être identifiées à partir du schéma organique proposé sur le logiciel maxpid.



#### Le correcteur

La carte de commande intègre un correcteur P.I.D numérique. Il est possible de regarder la documentation constructeur intégrée au logiciel de mesure qui précise l'algorithme que réalise la carte de commande pour obtenir le fonctionnement d'un correcteur P.I.D.

### 3. ALGORITHME PID

Calcul de la commande Théorique :

$C(t)$  : commande

$E(t)$  : écart

$K_p$  : gain Proportionnel

$K_i$  : gain Intégral

$K_d$  : gain Dérivé

$$C(t) = K_p \times E(t) + K_i \times \text{Somme}(E(t)dt) + K_d \times d(E(t))/dt$$

Dans le domaine échantillonné, la commande à la forme suivante :

$$C(n) = K_p \times E(n) + K_i \times \text{Somme}(E(n)) + K_d \times (E(n) - E(n-1))$$

Algorithme de principe en échantillonné (dans la carte MAXPID):

$K_p, K_i, K_d$  : gains du PID choisis dans le réglage de l'asservissement (0 à 255).

$C$  : Commande : commande numérique envoyée au moteur.

TolStat : tolérance statique choisie dans le réglage de l'asservissement.

TolDyn : tolérance dynamique choisie dans le réglage de l'asservissement

Ecart : écart de position courant en points.

EcartPrecedent : mémorisation de la valeur de l'écart à la période  $n-1$  d'échantillonnage

Ecart = Consigne - Position;

// Signalement du dépassement de la tolérance dynamique (erreur de poursuite)

si (abs(Ecart)  $\geq$  TolDyn)

    FlagEcart = VRAI;

// Calcul de la commande proportionnelle

    Commande = Ecart x  $K_p$ ;

// Calcul de la commande intégrale

    si (abs(Ecart) < TolStat)

        CommandeIntegrale = CommandeIntegrale + (Ecart x  $K_i$ );

    sinon

        si (Ecart > 0)

            CommandeIntegrale = CommandeIntegrale + (TolStat x  $K_i$ );

        sinon

            CommandeIntegrale = CommandeIntegrale - (TolStat x  $K_i$ );

// Calcul de la commande dérivée

    CommandeDerivee = (Ecart - EcartPrecedent) x  $K_d$ ;

    EcartPrecedent = Ecart;

// Rassemblement des commandes et mise à l'échelle

    Commande = Commande + (CommandeIntegrale / 4) + (CommandeDerivee x 16);

    Commande = Commande x Facteur; // Facteur = 3, réglé pour le moteur MAXPID

    si (Commande > (255 x 0.9)) // 90 % de la saturation

        Commande = 255 x 0.9;

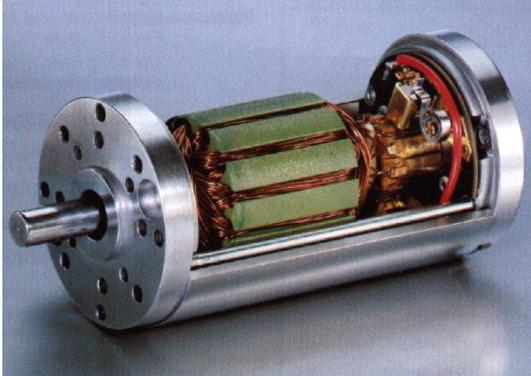
// Pour une Commande de 255, la tension Moteur = la tension Alimentation maximale de MAXPID.

// En Saturation la tension Moteur = 0.9 x la tension Alimentation par précaution.



## 3.2. Chaîne d'énergie

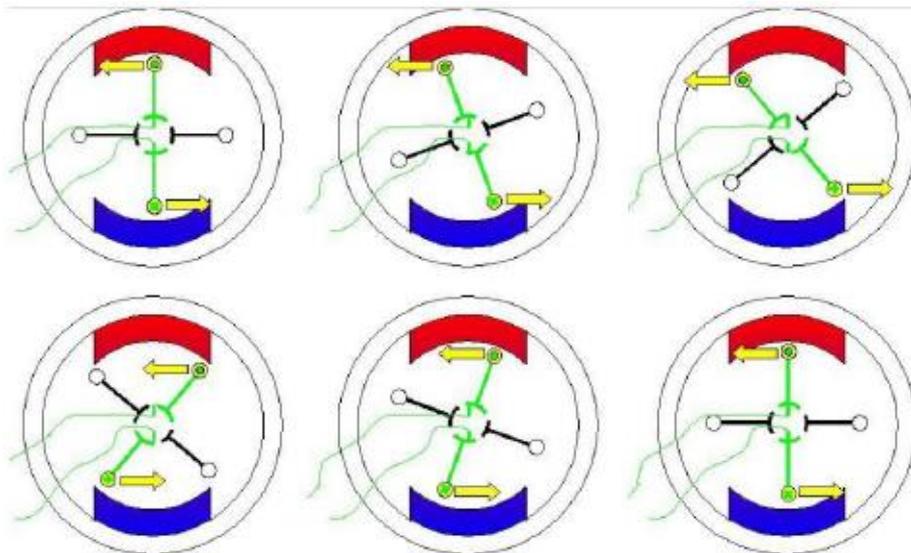
### 3.2.1. Le moteur à courant continu



#### Principe de fonctionnement

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 subit 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 (présenté figure suivante).



#### Mise en équation

Pour traduire le comportement dynamique du moteur à courant continu il faut écrire 4 équations : deux d'entre elles sont des lois fondamentales de la physique (loi des mailles et PFD), les deux autres étant issues des lois sur l'électromagnétisme.

On définit les grandeurs propres au fonctionnement du moteur :

- $i(t)$  : intensité (en Ampère) dans le moteur
- $u_{M(t)}$  : tension (en Volt) aux bornes du moteur
- $C_M(t)$  : couple (en Nm) délivré par le moteur
- $C_R(t)$  : couple résistant (en Nm) provenant en partie de la tension de la corde
- $\omega_M(t)$  : vitesse de rotation (en rad/s) du moteur
- $e(t)$  : force contre électromotrice (en Volt) du moteur
- $L$  : inductance de l'induit
- $R$  : résistance électrique du moteur
- $J$  : inertie équivalente (en  $\text{kgm}^2$ ) à l'ensemble mobile
- $K_c = K_e$  : constantes de couple et de force électromotrice

Equation électrique : 
$$u_m(t) = e(t) + Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt}$$

Equation mécanique (PFD) : 
$$J \frac{d\omega_m}{dt}(t) = C_m(t) - C_r(t) = C_m(t) - \mu \cdot \omega_m(t) - C_f - \dots$$

Equations de couplage : 
$$e(t) = K_e \cdot \omega_m(t) \quad \text{et} \quad C_m(t) = K_c \cdot i(t)$$

Un couple est une action mécanique qui a tendance à s'opposer à la mise en rotation d'un solide.

Un couple résistant ( $C_r(t)$ ) va donc avoir tendance à freiner un solide en rotation. On modélise souvent le couple résistant dû aux frottements en le décomposant en couple de frottement sec ( $C_f$ ) et en couple de frottement visqueux ( $\mu \cdot \omega_m(t)$ ). L'inertie (équivalente) traduit la difficulté d'accélérer un solide en rotation. Sa masse ainsi que ses dimensions radiales influent sur le moment d'inertie  $J$ .

Ces équations permettent d'obtenir les fonctions de transfert du système perturbé :

$$\Omega_m(p) = H_u(p) \cdot U_m(p) + H_r(p) \cdot C_r(p)$$

Document constructeur : un lexique est disponible dans les documents du logiciel maxpid

Mot. Courant Continu

Type Produit

RE035G

PAGE 1

MAXON

41W
97W

**CARACTERISTIQUES** 24V

Tension d'alimentation (Ua)	V	24
Vitesse au courant In	tr/mn	3493
Couple au courant In	mNm	113
Courant max permanent (In)	mA	2150
Vitesse à vide à Ua à +/- 10%	tr/mn	4303
Courant à vide à +/- 50%	mA	92.8
Couple de démarrage à Ua	mNm	611
Courant de démarrage à Ua	mA	11600
Constante de couple	mNm/A	52.5
Constante de vitesse	tr/mn/V	182
Pente vitesse/couple	tr/mn/mNm	7.17
Vitesse limite	tr/mn	8200
Puissance utile max. à Ua	W	69
Rendement maximum	%	85.5
Constante de temps électromécanique	ms	5.23
Inertie	gcm <sup>2</sup>	69.6
Résistance aux bornes	Ohm	2.07
Inductivité	mH	0.62
Résistance thermique Boîtier/Ambiant	K/W	6.2
Résistance thermique Rotor/Boîtier	K/W	2



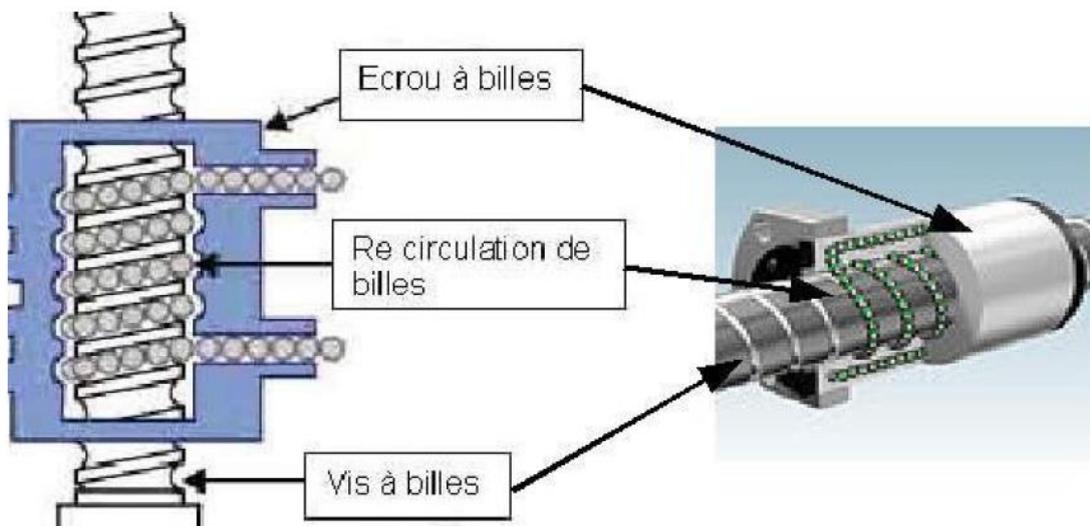
### 3.2.2. La chaîne cinématique

Pour transformer le mouvement de rotation de l'arbre moteur en rotation d'axe perpendiculaire du bras, le constructeur a choisi d'utiliser un mécanisme (ensemble de solides en liaison). Une vis est liée à l'arbre moteur et transmet le mouvement de rotation à un écrou en liaison pivot (rotation par rapport au bras). Les différentes liaisons entre le bras, le moteur et le bâti permettent la cinématique du mouvement.

#### Le système Vis/écrou

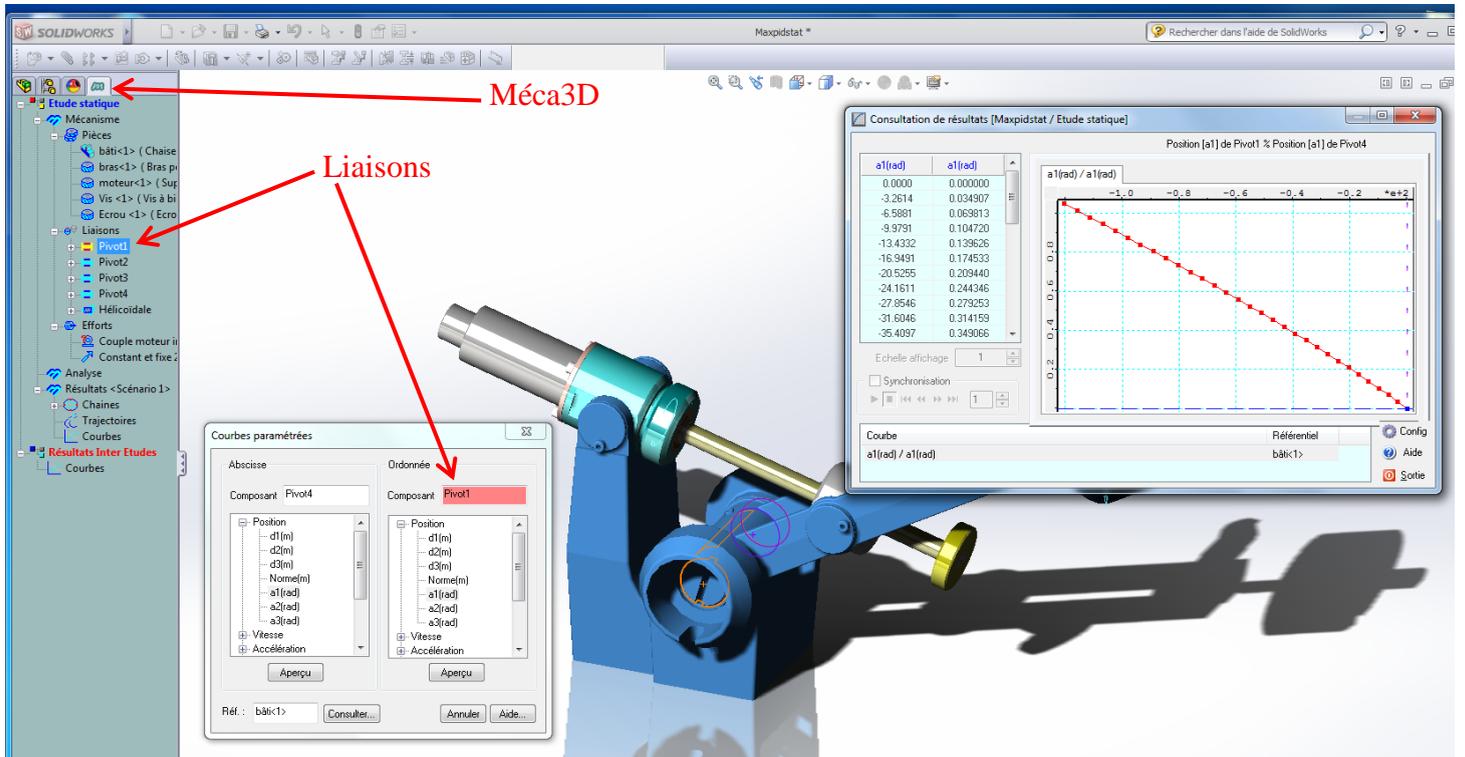


Le système vis/écrou permet de transformer un mouvement de rotation de la vis en mouvement de translation de l'écrou. Il s'agit d'un système vis écrou classique avec interposition d'éléments roulants pour éliminer les frottements. Lors du mouvement, les billes se déplacent dans un circuit fermé.

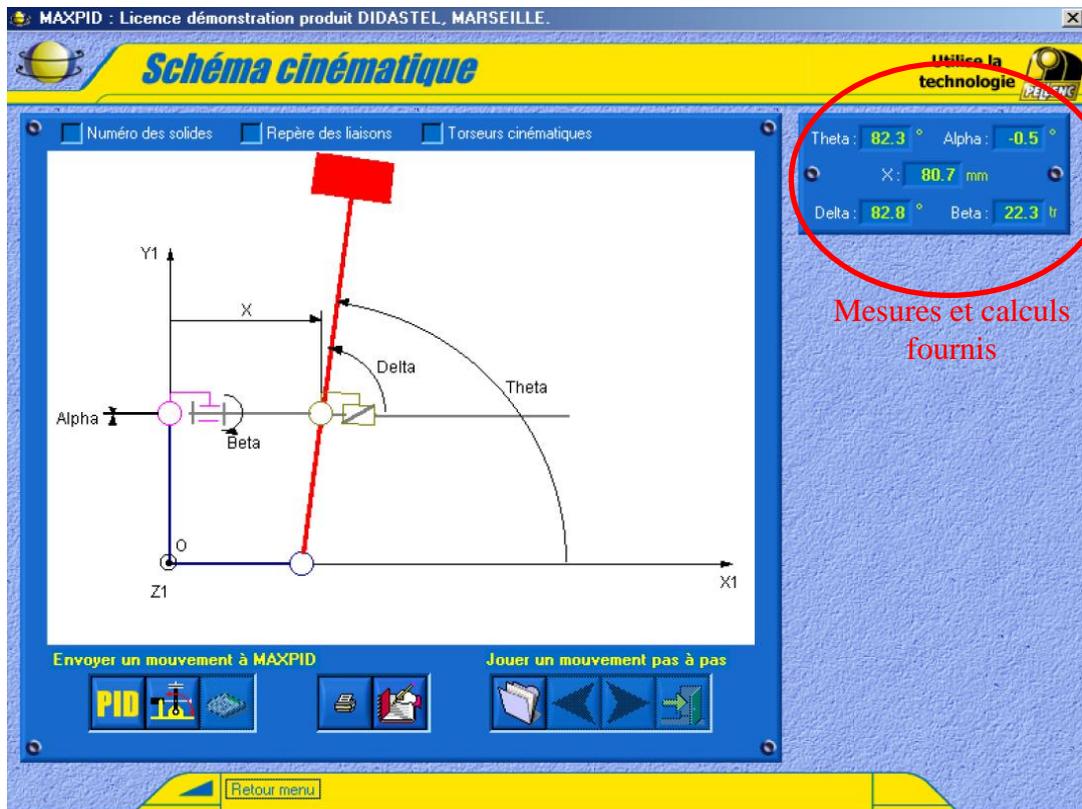


Une étude géométrique réalisée dans un autre TP permet d'obtenir la loi entrée/sortie de la chaîne cinématique reliant la rotation du bras à la rotation du moteur. Elle peut être obtenue par simulation sur le module méca3D du logiciel SolidWorks. Pour cela :

- Lancer le logiciel Solidworks
- Ouvrir l'assemblage « Maxpid »
- Dans Méca 3D/Analyse : lancer le calcul mécanique
- Dans Résultats/Courbes paramétrées sélectionner les liaisons et les paramètres de celles-ci à afficher conformément à la figure ci-dessous.



Elle peut également être obtenue par utilisation des mesures et calculs fournis sur le logiciel maxpid dans schéma cinématique animé par exemple (voir figure ci-dessous)

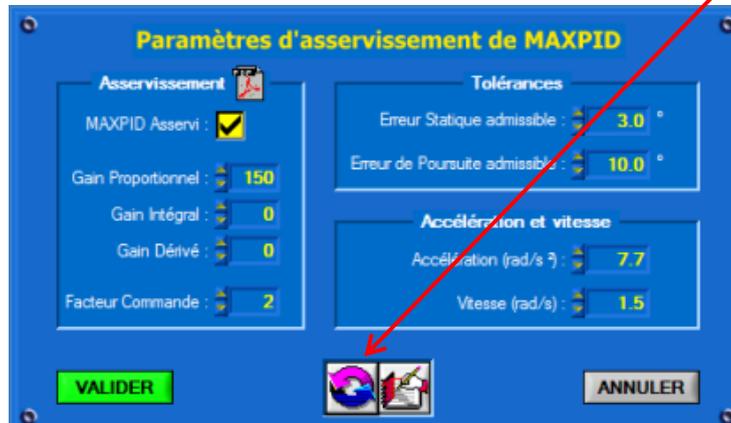


Cette loi n'est pas linéaire. Dans un certain domaine de variation de  $\theta$  ( $[30^\circ, 90^\circ]$ ), une loi linéarisée peut être facilement obtenue.

## 4. Manipulations

### 4.1 Faire fonctionner maxpid

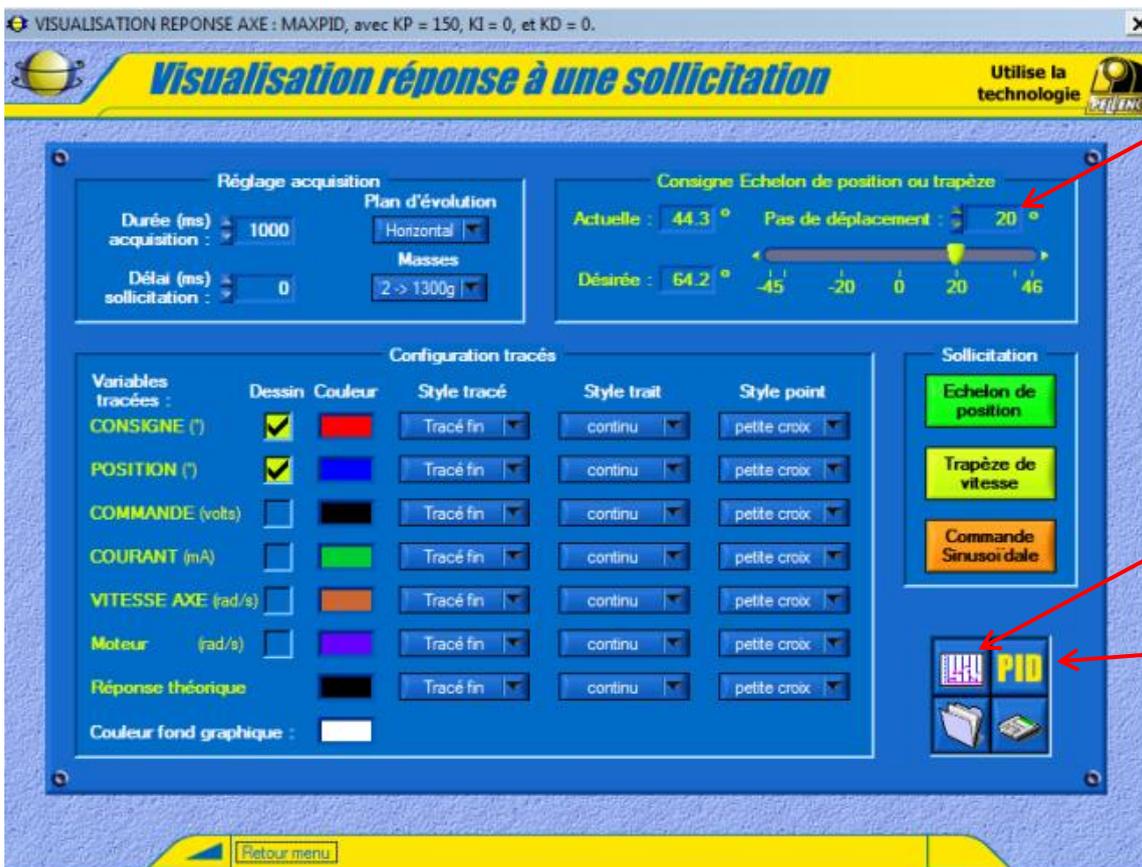
- Déverrouiller le bouton d'arrêt d'urgence (tirer).
- Appuyer sur le bouton « marche » à gauche du boîtier du maxpid.
- Allumer l'ordinateur.
- Sélectionner le logiciel « Maxpid »
- Vérifier que la connexion est établie "ON" (sinon choisir Com1 puis établir la connexion).
- Cliquer sur PID pour régler les paramètres désirés : régler les paramètres par défaut



- Cliquer sur travailler avec Maxpid :



Vous avez accès au schéma organique et au schéma cinématique animé. Les essais nécessiteront d'utiliser principalement la visualisation d'une réponse à une sollicitation (voir figure ci-dessous).



Amplitude échelon

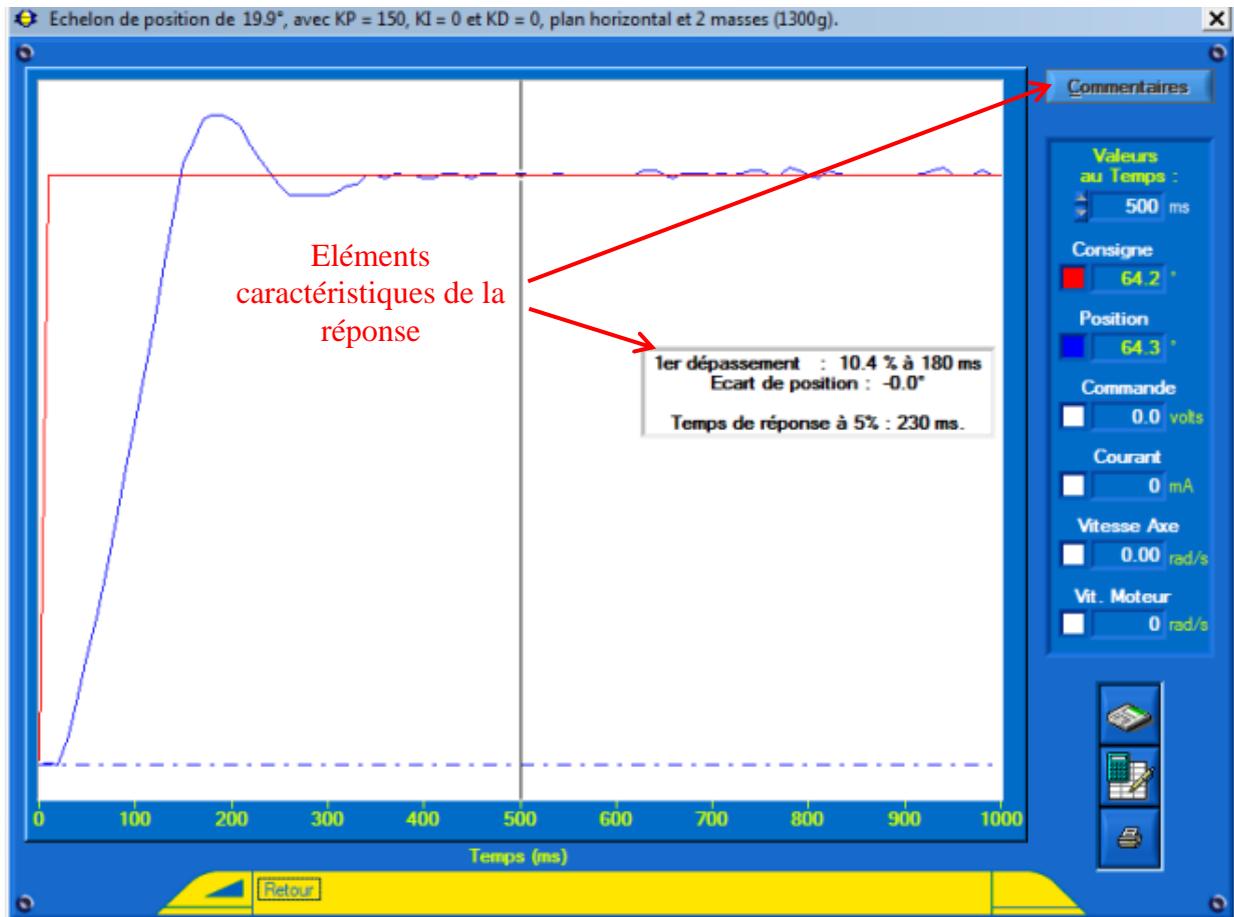
Dernier tracé affiché

Réglages paramètres

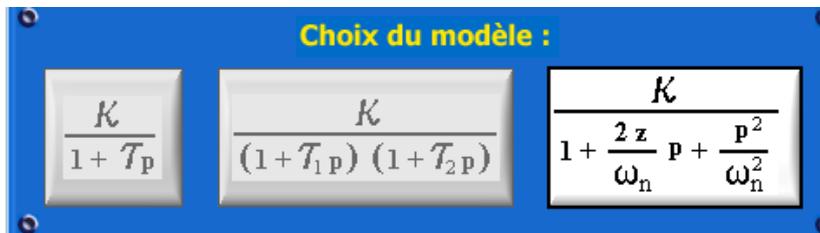
## 4.2. Exemple d'essai et mesure

Le Maxpid est en position à plat et est équipé de deux masses à son extrémité.

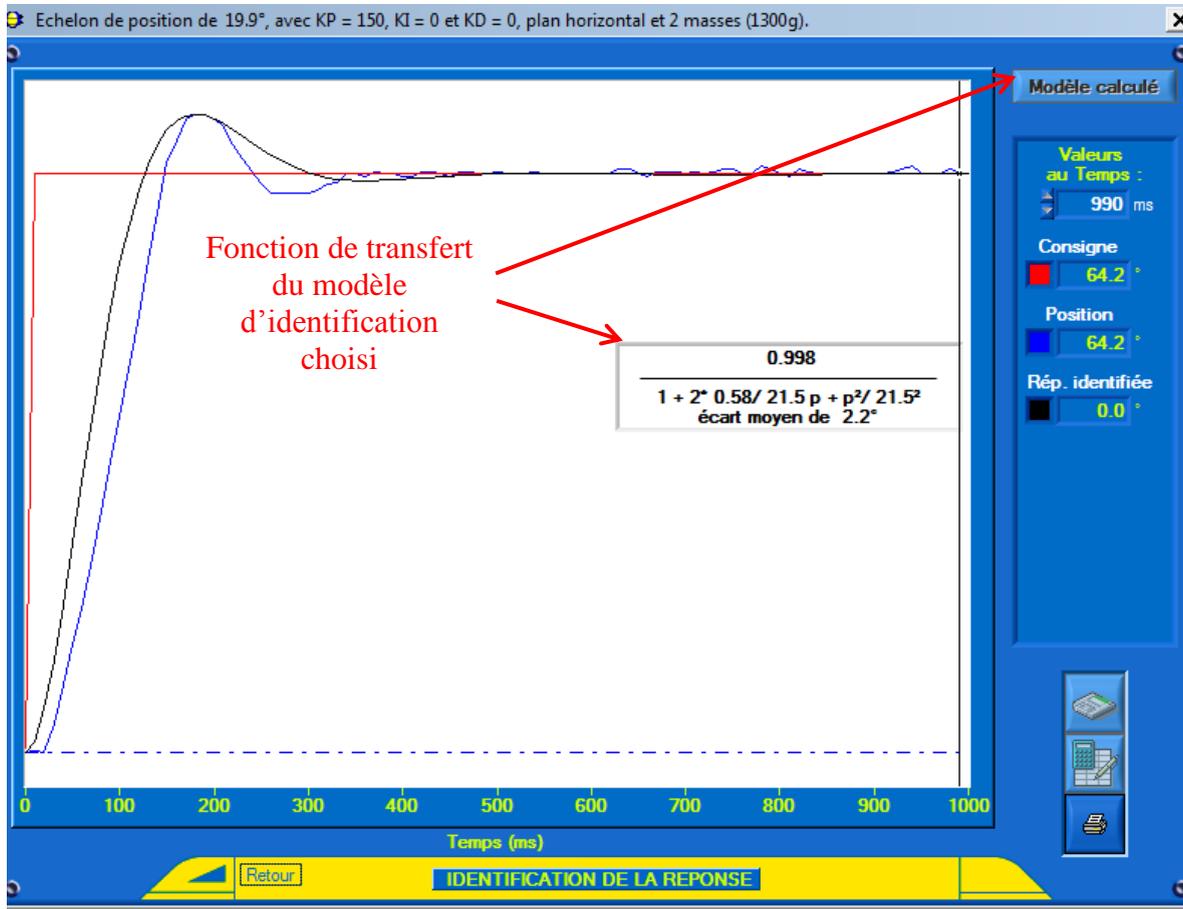
- Paramétrer le PID du Maxpid dans le menu Réponse à une sollicitation.
- Sélectionner les paramètres de mesure et de tracé : consigne et position.
- Lancer le mouvement demandé
- Les courbes s'affichent dans la fenêtre de visualisation comme ci-dessous. Le titre de cette fenêtre vous rappelle la sollicitation choisie, les et la configuration de votre système Maxpid.
- Cliquer sur « commentaires » : les éléments caractéristiques de la réponse apparaissent



- Cliquer sur « identifier la réponse » : le logiciel vous propose 1 ou 2 modèles parmi 3 types de fonction de transfert



- Sélectionner le modèle
- Cliquer sur « modèle calculé » : le logiciel vous précise les valeurs numériques de la fonction de transfert choisie et le tracé de la réponse à la sollicitation du modèle.



**Pour visualiser des mesures sur Scilab :**

- Réaliser le schéma ci-dessous sur scilab.
- Lire le fichier de mesures sous excel par exemple et le transformer en fichier .csv (attention à la mise en forme).

Le fichier de mesures issu du logiciel maxpid se trouve au format .txt dans le répertoire Dynmax.

max 10 15 - Microsoft Excel

Fichier Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision Affichage

Calibri 11 Standard Insérer Σ Trier et Rechercher et

Police

E9

A B C

Mise en forme du fichier de mesures .csv

4	0.05	34.7
5	0.04	35.2
6	0.05	35.4
7	0.06	35.9
8	0.07	36.3
9	0.08	36.7
10	0.09	37.0
11	0.1	37.5
12	0.11	37.8
13	0.12	38.2
14	0.13	38.7

\*superposition courbes (C:\Users\SII\Desktop\fauriel 2014 2015\TP\3ième série de TP\TP îlots asse...)

Fichier Édition Affichage Simulation Format Outils ?

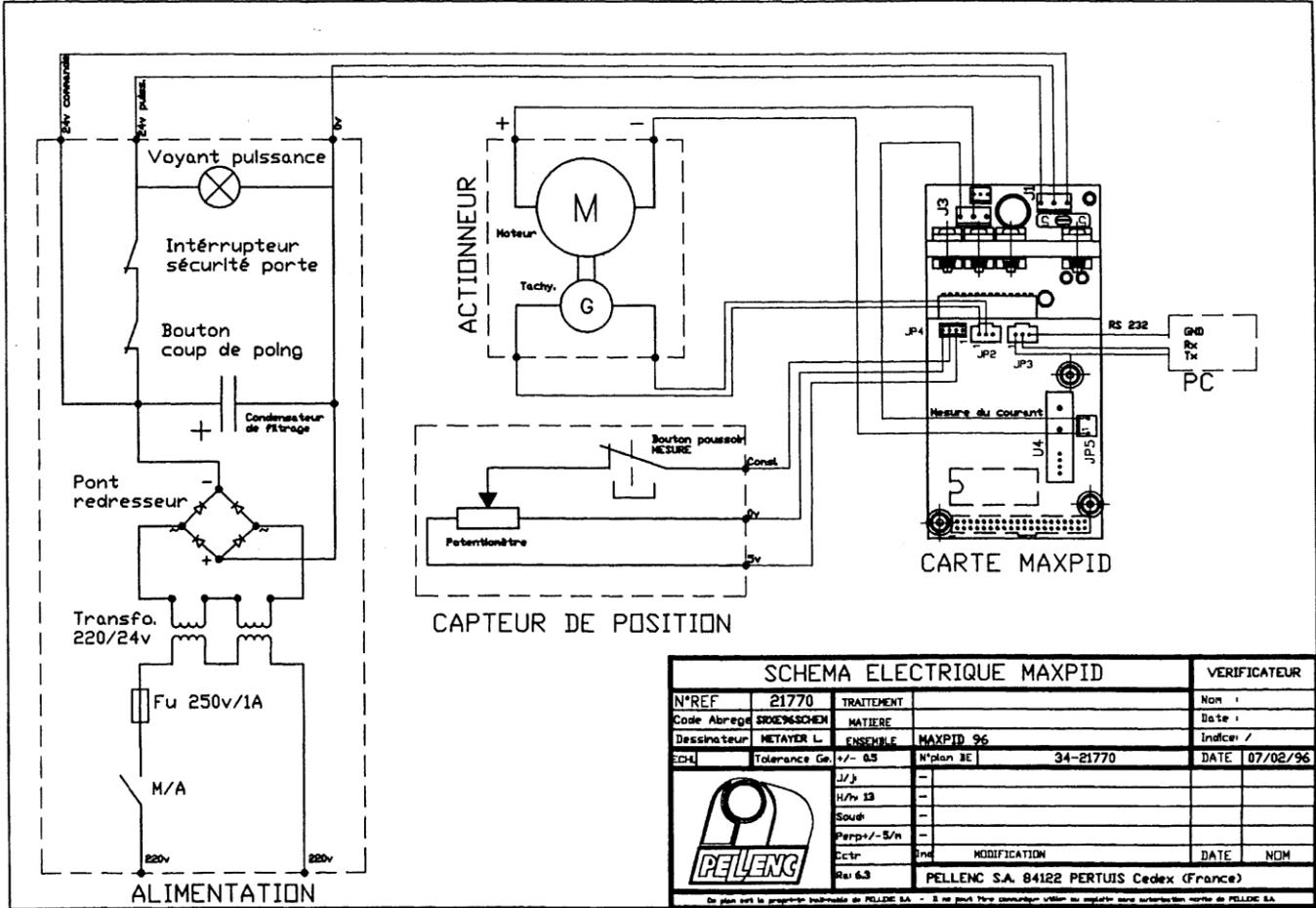
\*superposition courbes (C:\Users\SII\Desktop\fauriel 2014 2015\TP\3ième série de TP\TP îlots asservissement\Maxpid\Corrigé\superpos

Time 3 s

Read csv

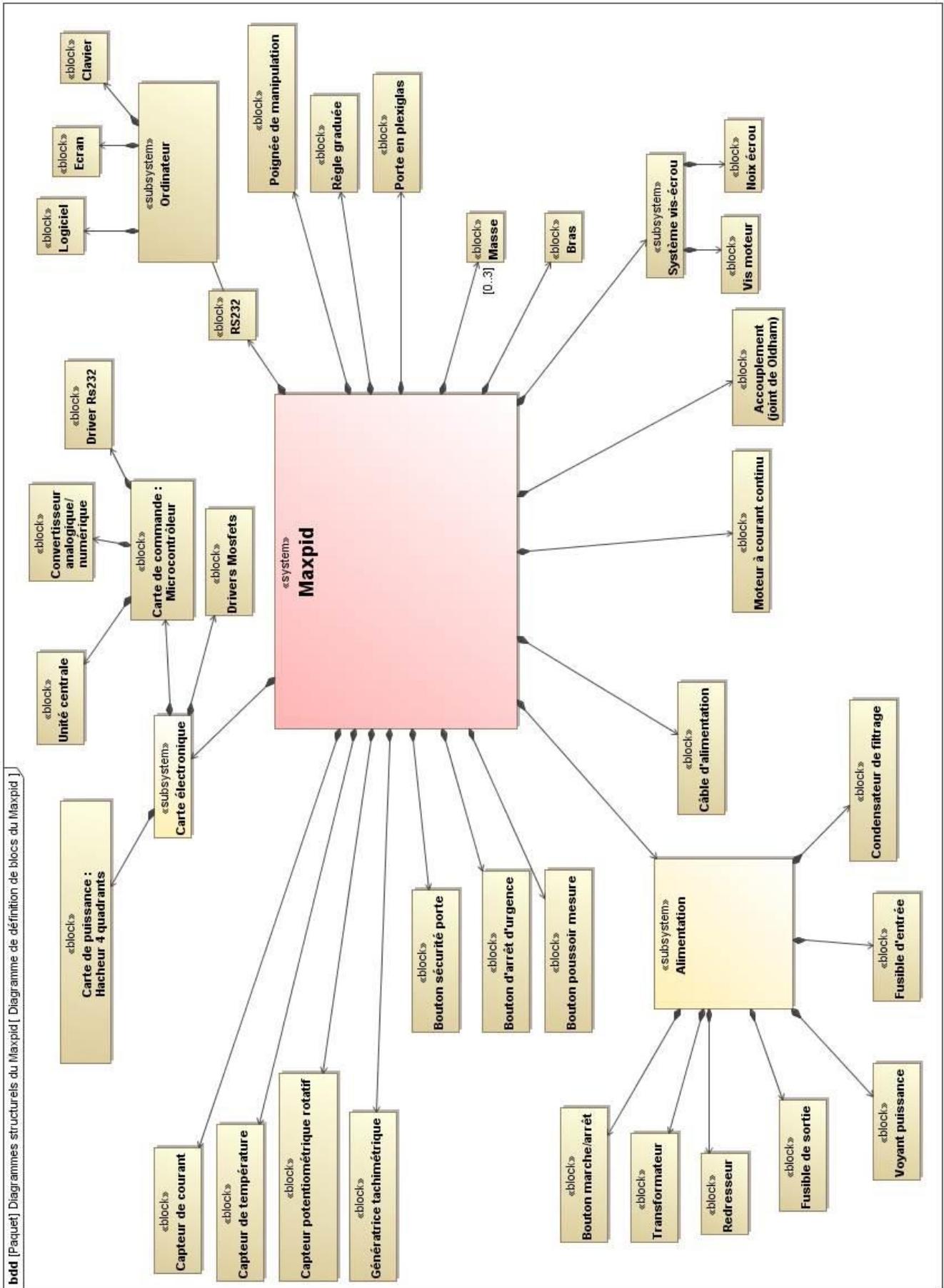
ANNEXE

Schéma électrique du maxpid



SCHEMA ELECTRIQUE MAXPID				VERIFICATEUR
N°REF	21770	TRAITEMENT		Nom :
Code Abrege	SROEY6S8CHEN	MATIERE		Date :
Dessinateur	METAYER L.	ENSEMBLE	MAXPID 96	Inalce /
Ech	Tolerance Ge. +/- 0.5	N°plan BE	34-21770	DATE
				07/02/96
		J/J	--	
		H/nv	13	--
		Soud	--	
		Perp+/-	5/n	--
		Ectr	In	MODIFICATION
Rai	6.3	PELENC S.A. 84122 PERTUIS Cedex (France)		
<small>De plan sur la propriété intellectuelle de PELENC S.A. - Il ne peut être communiqué, utilisé ou copié sans autorisation écrite de PELENC S.A.</small>				

### Le diagramme de définition de bloc :



bdd [Paquet] Diagrammes structuraux du Maxpid [ Diagramme de définition de blocs du Maxpid ]

### Le diagramme de bloc interne :

