



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abderrahmane Mira -Bejaia

Faculté de Technologie  
Département Génie Electrique

# Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme master recherches-en

Électrotechnique.

Option : automatisme industriel

## Thème

Étude et réalisation d'un système de  
positionnement à 2D/3D à l'aide d'un logiciel de  
réalité virtuelle.

Présenté par :

 BOUZEMBOUA TACFRINAS

 BOUKHENAK MADJID

Encadré par :

M<sup>r</sup> : A.MELAHI

M<sup>r</sup>: B.TABTI



*Année Universitaire 2011/2012*

## *REMERCIEMENTS*

*Nous remercions dieu pour le courage, la patience et la santé qui nous ont été utile au long parcours.*

*Nous tenons à dresser nos vifs remerciement a **Mr MALAHI Ahmed et Mr TABTI** qui ont proposé et dirigé et pour leurs entière disponibilité, son aides et ses précieux conseils.*

*Notre sincère gratitude va aussi aux membres de jury qui ont bien accepté de juger ce présent travail.*

*Il nous est particulièrement agréable d'exprimer ici notre reconnaissance envers tous qui ont rendu possible ce travail.*

*Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à notre formation trouvent ici nos sincères remerciements.*

## *DEDICACES*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents qui se sont sacrifiés tout au long de mes études.  
Mes frères (Salem, Fatah, Malek) et mes sœurs (Houria, malaaze), les  
personnes sur laquelle je pourrai toujours compté.  
Tous mes amis (Nassim, Anis, Brahime, Nassima, Melkher, Rahima,  
Farid et Mestafa, sans oublier mon binôme Madjid ...)  
Toutes les personnes que j'aime et qui vaut chère dans mon cœur.  
Toute la famille Bouzemboua et Boukhenak.*

*Tacfarinas*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents*

*A mes chers sœurs et frères*

*A toute ma famille*

*A mon binôme Tacfarinas et sa famille*

*A tous mes amis*

*Sans oublier mes amis de la promotion sortante 2012*

*Madjid*

« *Sommaire* »

# Sommaire

## Introduction général

### *Chapitre I : Etude d'un système de positionnement à 2D/3D*

I.1	Introduction:	1
I.2	C'est quoi un système de positionnement à 3D :	1
I.2.1	Degrés de liberté :	1
I.2.2	Technologie et fonction d'un produit de positionnement en chaînes fonctionnelles :	2
A.	Une partie opérative:	2
A.1	Les pré-actionneurs:	2
A.2	Les actionneurs :	3
A.3	Les capteurs :	3
B.	Une partie commande :	3
I.3	Table traçante IF2400:	3
I.3.1	Historique:	3
I.3.2	Présentation de la table traçante IF2400 :	5
I.3.2.1	Caractéristiques des tables traçantes IF2400 :	5
A)	Caractéristiques physiques :	5
B)	Caractéristiques électriques :	6
C)	Constituants mécanique de la table :	7
I.3.2.2	Réalisation des tracés :	8
A.	Tracé $V_y=f(V_x)$ :	8
•	But du tracé :	8
•	Préliminaires :	8
•	Décalage d'origine :	8
•	Début de tracé :	10
B.	Tracé $V_y=f(t)$ :	10
•	But du tracé :	10
•	Préliminaires :	10
•	Décalage d'origine :	10
•	Début de tracé :	11
I.4	Analyse fonctionnelle technique de la table traçante IF2400:	11
I.4.1	L'outil de description : Diagramme FAST (Fonction Analysis System Technique).....	11
I.4.2	La chaîne fonctionnelle de la table traçante IF2400 :	12
A.	Pour la voie X :	14
B.	Pour la voie Y :	14
C.	Pour la voie Z:	15
I.5	Conclusion :	15

## ***Chapitre II: V-Realm Builder***

II.1	Introduction:	16
II.2	Le langage VRML :	16
	• Vue d'ensemble :	16
II.3	Le Ligos V-Realm Builder:	16
II.3.1	Interface V-Realm Builder:	17
II.3.2	Caractéristiques V-Realm Builder:	17
II.3.3	Barres d'outils V-Realm Builder:	19
	❖ Barre d'outils Standard:	19
	❖ Barre d'outils mode:	19
	❖ Barre d'outils commune:	19
	❖ Barre d'outils Groupe :	20
	❖ Barre d'outils Géométrie :	20
	❖ Barre d'outils des Capteurs :	20
	❖ Barre d'outils Fenêtre principale :	20
	❖ Barre d'outils fenêtre Orthographique :	20
II.3.4	Fenêtres et menus de V-Realm Builder :	20
	❖ Menu principal :	20
II.4	Conclusion:	21

## ***Chapitre III: La réalisation virtuel de la table traçante***

III.1	Introduction :	22
III.2	Démarche à suivre pour la réalisation virtuelle :	22
	• Représentation physique :	22
	• Représentation dynamique :	22
III.3	La réalisation virtuelle de la table traçante :	22
III.3.1	La réalisation physique des composants :	23
III.3.1.1	Plan :	23
A.	Le système moteur et réducteur :	23
	• Le moteur :	24
	• Le réducteur de vitesse :	24
B.	Le système poulies et fil :	25
	• Poulie :	26
	• Fil :	26
C.	Le système rails à guidage :	26
D.	Le support de la feuille :	27
III.3.1.2	Le chariot :	27

A. Système bloc moteur :.....	27
B. Le système poulies et fil :.....	28
C. Le support de plume :.....	28
III.3.1.3 Le produit final : .....	29
III.4 Dimension des composants :.....	30
III.5 Conclusion : .....	31

## ***CHAPITRE IV : Table traçante : modèle dynamique et régulation RST***

IV.1 Introduction :.....	32
IV.2 Architecture globale du système de positionnement (table traçante IF2400) :.....	32
IV.3 Modélisation du système de positionnement :.....	33
IV.3.1 Modélisation géométrique : .....	33
IV.3.2 Modélisation cinématique :.....	33
IV.3.3 Modèle dynamique : .....	33
IV.4 Modèle dynamique de la table traçante : .....	34
IV.4.1 Le premier sous-système (selon la l'axe X): .....	34
Application :.....	40
IV.4.2 Le deuxième sous-système (selon la l'axe Y): .....	40
Application : .....	41
IV.4.3 Le troisième sous-système (selon la l'axe Z): .....	41
IV.5 Synthèse du régulateur RST numérique : .....	41
IV.5.1 Définition :.....	41
IV.5.2 Démarche à suivre : .....	42
IV.5.3 Dimensionnement des régulateurs RST sans intégrateur et sans simplification des zéros.44	
A. Premier sous-système (selon l'axe X) :.....	44
B. Deuxième sous-système (selon l'axe Y) : .....	47
IV.6 Conclusion : .....	50

## ***Chapitre V : Génération de trajectoire***

V.1 Introduction :.....	51
V.2 Génération de la trajectoire dans l'espace articulaire : .....	51
V.3 Mouvement point à point et mouvement à trajectoire continue :.....	51
V.3.1 Méthode de base :.....	52
V.3.2 Mouvement point a point à profil de vitesse trapézoïdal :.....	53

V.4	La génération des différentes trajectoires : .....	54
V.4.1	Présentation des différentes trajectoires :.....	55
V.4.1.1	Schéma de la première trajectoire :.....	55
	• Simulation de la première trajectoire :.....	55
V.4.1.2	Schéma de la deuxième trajectoire :.....	56
	• Simulation de la deuxième trajectoire désirée : .....	57
V.4.2	Application de la commande numérique sur la table traçante : .....	58
V.4.2.1	Simulation 1 : (première trajectoire).....	58
V.4.2.2	Simulation 2 : (deuxième trajectoire).....	60
V.4.3	Interprétation des résultats : .....	62
V.5	Conclusion : .....	62

**Conclusion générale**



**« Liste des figures »**

## Liste des figures :

Figure I.1. Mouvement, associé un degré de liberté dans un système a 3D. ....	2
Figure I.2. Structure d'un système positionnement. ....	2
Figure I.3. Un traceur format A0 moderne. ....	4
Figure I.4. Une table traçante (1970). ....	4
Figure I.5. La table traçante IF2400. ....	5
Figure I.6. Constituants mécanique de la table traçant IF2400. ....	7
Figure I.7. Préliminaires de tracer $V_y=f(V_x)$ . ....	8
Figure I.8. Réglage de décalage d'origine. ....	9
Figure I.9. Option base de temps. ....	10
Figure I.10. Diagramme fonctionnelle(FAST). ....	12
Figure I.11. Analyse fonctionnelle d'une table traçante IF2400. ....	13
Figure I.12. Constitue mécanique vue détaillée selon l'axe X. ....	14
Figure I.13. Constitue mécanique vue détaillée selon l'axe Y. ....	15
Figure II.1. Interface V-Realm Builder. ....	17
Figure II.2. La barre d'outils Standard. ....	19
Figure II.3. Barre d'outils mode. ....	19
Figure II.4. Barre d'outils commune. ....	19
Figure II.5. Barre d'outils Groupe. ....	20
Figure II.6. Barre d'outils Géométrie. ....	20
Figure II.7. Barre d'outils des capteurs. ....	20
Figure II.8. Barre d'outils Fenêtre principale. ....	20
Figure II.9. Barre d'outils Fenêtre orthographique. ....	20
Figure II.10. Menu principal. ....	20
Figure III.1. La réalisation physique du plan. ....	23
Figure III.2. Le système moteur et réducteur. ....	24
Figure III.3. L'extrusion du la boîte. ....	25

Figure III.4. Le système poulies et fil. ....	25
Figure III.5. Le système poulies fil. ....	26
Figure III.6. Système rails a guidage. ....	26
Figure III.7. Le chariot. ....	27
Figure III.8. Système bloc moteur. ....	28
Figure III.9. Système poulies et fil.....	28
Figure III.10. Le support de plume et rail a guidage.....	29
Figure III .11. Le produit final de la table traçante IF2400. ....	29
Figure IV.1. Architecture globale de la table traçante IF2400.....	32
Figure IV.2. Système de positionnement trois degré liberté.....	34
Figure IV.3. Schéma symbolique du premier sous système .....	35
Figure IV.4. Le diagramme fonctionnel du premier sous-système .....	40
Figure IV.5. Schéma symbolique du deuxième sous système .....	40
Figure IV.6. Le diagramme fonctionnel du deuxième sous-système.....	41
Figure IV.7. Schéma de la loi de commande.....	42
Figure IV.8. Fonction de transfert en boucle fermée.....	42
Figure IV.9. Schéma bloc du régulateur RST selon l'axe X.....	46
Figure IV.10. Simulation du régulateur RST selon l'axe X.....	46
Figure IV.11. Schéma bloc du régulateur RST selon l'axe Y.....	49
Figure IV.12. Simulation du régulateur RST selon l'axe Y.....	49
Figure V.1. Mouvement point à point à profil de vitesse trapézoïdal.....	54
Figure V.2. Schéma de simulation de la première trajectoire.....	55
Figure V.3. Signaux de consigne ( $X_{c1}$ ) et ( $Y_{c1}$ ).....	56
Figure V.4. Première trajectoire de consigne ( $X_{c1}$ , $Y_{c1}$ ) dans le plans (X,Y).....	56
Figure V.5. Schéma de simulation de la deuxième trajectoire.....	57
Figure V.6. Signaux de consignes ( $X_{c2}$ ) et ( $Y_{c2}$ ).....	57
Figure V.7. Deuxième trajectoire de consigne ( $X_{c2}$ , $Y_{c2}$ ) dans le plans (X,Y).....	58

Figure V.8. Schéma de simulation de régulateur RST de la première trajectoire.....	58
Figure V.9. Les signaux d'erreurs de la première trajectoire.....	59
Figure V.10. Signaux de commande de la première trajectoire.....	59
Figure V.11. Première trajectoire ( $X_c$ , $Y_c$ ) et ( $X$ , $Y$ ) dans le plans ( $X, Y$ ). .....	60
Figure V.12. Schéma de simulation de régulateur RST de la deuxième trajectoire. ....	60
Figure V.13. Les signaux d'erreurs de la deuxième trajectoire. ....	61
Figure V.14. Signaux de commande de la deuxième trajectoire.....	61
Figure V.15. Deuxième trajectoire ( $X_c$ , $Y_c$ ) et ( $X$ , $Y$ ) dans le plan ( $X, Y$ ).....	62

**« Introduction générale »**

## Introduction générale :

Avant l'apparition de la CAO et de l'IAO, le modèle virtuel et le développement d'un produit étaient le fruit de l'expérience et du jugement des ingénieurs. On réalisait ensuite un modèle physique afin de passer à la phase de tests et d'évaluation des performances de ce produit. En l'absence de méthode permettant d'évaluer les propriétés du produit avant cette étape, les modèles répondaient rarement aux critères demandés. Les ingénieurs se voyaient alors contraints de modifier le modèle initial plusieurs fois afin de pallier les faiblesses révélées lors des tests physiques.

De nos jours, les fabricants subissent de plus en plus une pression liée à la réduction des délais de mise sur le marché et à l'optimisation des niveaux de performance et de la fiabilité des produits. Un grand nombre de produits sont désormais développés sous forme de modèles virtuels. Pour ce faire, on utilise des logiciels de simulation d'ingénierie (IAO) qui permettront de prédire la performance d'un modèle avant de réaliser les modèles physiques. Les ingénieurs peuvent rapidement comparer les performances de milliers d'alternatives de modèles sans avoir à investir le temps et l'argent requis pour réaliser des prototypes physiques.

C'est au dernier siècle que les systèmes de positionnement ont amorcés l'explosion des thèmes de recherche. A cette époque les systèmes de positionnement étaient conçus en respectant les contraintes imposées par le milieu industriel, comme la répétition, la précision dans la réalisation des tâches, le respect des cadences de production, etc.

C'est avec le développement scientifique, spécifiquement de l'électronique et de l'informatique mais aussi automatique, mathématique, mécanique, matériaux, que la technologie du système de positionnement a progressée.

Les mouvements devant être effectués par les systèmes de positionnement pour réaliser les tâches désirées exigent plus de précision et des vitesses parfois variables. Ceci a conduit à la mise au point d'algorithmes de commande sophistiqués. Parmi ces algorithmes, on peut citer les algorithmes basés sur les modèles dynamiques.

Les modèles dynamiques des systèmes de positionnement sont exprimés en termes de paramètres dynamiques et géométriques des segments qui les constituent. Ces paramètres dépendent de la géométrie des segments qui sont généralement complexes et de la structure d'outil mouvant (actionneur, capteur...), ceci rend leurs mesures physiques avant assemblages non précis ou impossibles.

Étant donné que les tâches à exécuter sont naturellement définies dans notre espace (espace articulaire), ce qui signifie la description en fonction de temps de la position et de l'orientation de la commande en position d'un outil mouvant, dont l'application sera faite sur une table traçante à trois degrés de liberté.

Dans notre mémoire on s'intéresse aux systèmes de positionnements 2D/3D, par l'étude technique du système et conception, sous V-REALM BUILDER une table traçante de type IF2400 à trois degrés de liberté ayant trois articulations prismatiques, ensuite piloter ce système par un régulateur RST sous MATLAB.

Pour cela on a réparti ce travail en cinq chapitres :

- Dans le premier chapitre, On a choisis comme modèle d'un système de positionnement, la table traçante de type IF2400, pour faire une étude technique sur ses parties électrique, physique et mécanique.
- Le second chapitre, consiste à la présentation du logiciel de conception V-REALM BUILDER.
- Pour Le troisième chapitre, c'est la réalisation virtuelle d'un système de positionnement 2D/3D (table traçante IF2400), à l'aide du logiciel V-REALM BUILDER.
- Quand au quatrième chapitre, il est réservé à la modélisation du système virtuel, ainsi la manière dont on peut le piloter par une commande RST a l'aide de la programmation sous Matlab.
- Dans le cinquième chapitre, on procède à la validation de notre modèle réalisé, par la génération des trajectoires. Les trajectoires ainsi que la régulation par RST sont simulées sous Matlab. L'animation se fait sur une fenêtre de visualisation du monde virtuel sous Matlab.

# **Chapitre I**

**« Etude d'un système de positionnement à 2D/3D »**



## **I.1 Introduction:**

Déplacer les éléments d'un système de positionnement d'un point à un autre le plus rapidement possible est une des principales fonctions de tout système de positionnement. Dans le cadre des systèmes de positionnement dédiés aux opérations de déplacement en translation, les contraintes de ce déplacement s'expriment essentiellement au point d'arrivée et éventuellement au point de départ et aussi à la transformation de mouvement de rotation en translation [1].

Pour connaître le comportement d'un système dynamique, il est important de savoir :

- Les relations qui existent entre les tâches de positionnement qui peut être décomposée en une suite de mouvements.
- La complexité de ces mouvements qui augmente avec la nature des déplacements, et la dynamique de l'environnement.
- La planification de chemin a un rôle prépondérant pour un système de positionnement, elle est liée aux chemins que les objets de système doivent suivre pour l'exécution d'une tâche.
- La manipulation d'objets en environnements de 3D est une des aptitudes qu'un système de positionnement doit être capable de maîtriser.

La conception mécanique d'une table traçante a une structure mécanique complexe, dont le mouvement du manipulateur est généré non seulement en fonction de la position et de la détermination de l'évolution des forces généralisées (forces ou couples), mais aussi en fonction de la configuration, des vitesses et des accélérations, que les actionneurs doivent exercer pour garantir l'exécution de la tâche tout en satisfaisant certains critères de performance [2].

Dans le cadre de ce chapitre nous proposons l'étude du mécanisme de la table traçant IF2400 dans le cadre d'une utilisation pour la locomotion d'une structure de position et les différentes caractéristiques des éléments constituant le système et son fonctionnement.

## **I.2 C'est quoi un système de positionnement à 3D :**

### **I.2.1 Degrés de liberté :**

Un système libre, situé dans un espace à trois dimensions, peut réaliser six mouvements. À chaque mouvement, est associé un degré de liberté. Un degré de liberté traduit donc une liberté de mouvement (rotation ou translation). Une pièce libre dans l'espace dispose de 6 degrés de liberté : 3 rotations ( $R_x, R_y, R_z$ ) et 3 translations ( $T_x, T_y, T_z$ ) [3].

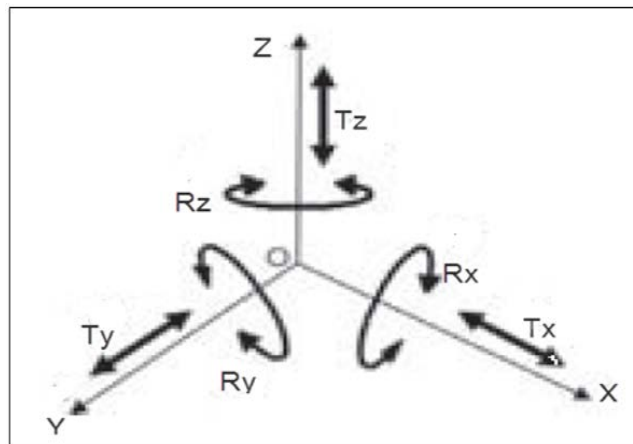


Figure I.1. Mouvement, associé un degré de liberté dans un système a 3D.

## I.2.2 Technologie et fonction d'un produit de positionnement en chaînes fonctionnelles :

La figure ci-dessous représente la structure générale d'un système de positionnement :

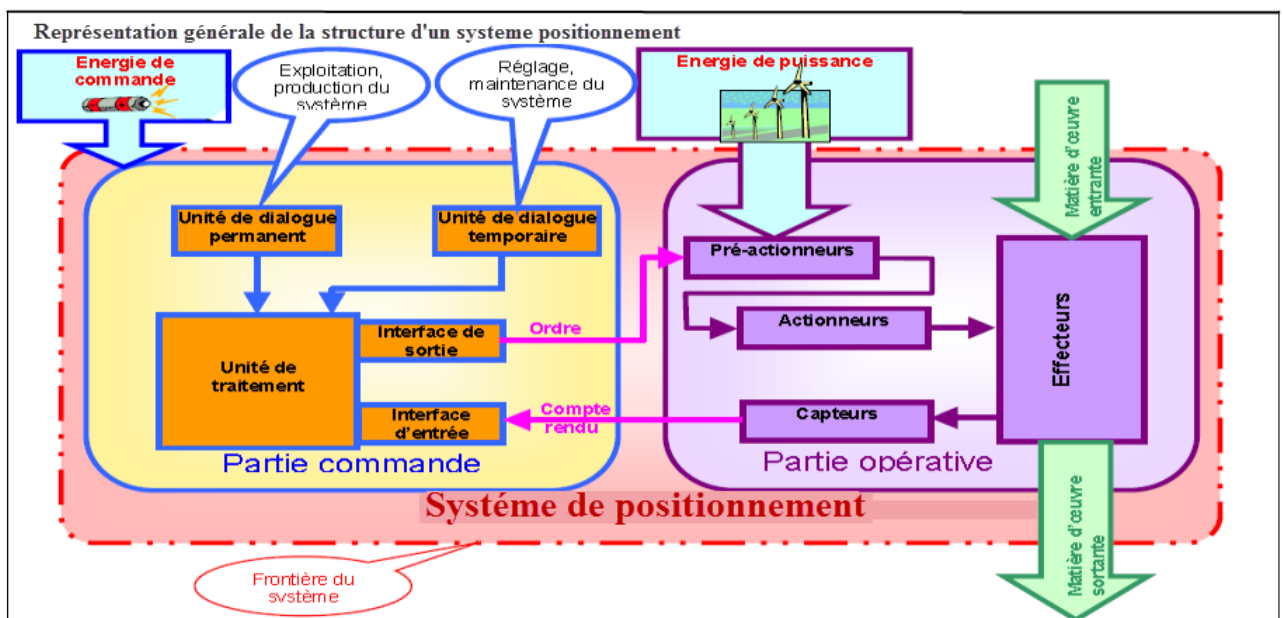


Figure I.2. Structure d'un système positionnement.

### A. Une partie opérative:

C'est la partie visible du système de positionnement. Elle comporte l'élément mécanique du mécanisme Avec :

#### A.1 Les pré-actionneurs:

Lesquels reçoivent des ordres de la partie commande (PC), les pré-actionneurs utilisés dans les systèmes de positionnement sont:

- ❖ **Distributeur:** est chargé d'alimenter les vérins en énergie pneumatique ou hydraulique dans le cas d'un système de positionnement fort puissance (ex. : grue)

- ❖ **Contacteur:** est un pré-actionneur destiné à ouvrir ou fermer un circuit électrique par l'intermédiaire d'un circuit de commande. Il alimente le moteur électrique en énergie de puissance en fonction d'une consigne opérative issue de la partie commande.

## A.2 les actionneurs :

Qui ont pour rôle d'exécuter ces ordres. Ils transforment l'énergie pneumatique, hydraulique, ou électrique en énergie mécanique, les actionneurs principaux utilisés dans les systèmes de positionnement sont:

- ❖ **Vérin :** fait partie des actionneurs pneumatique ou hydraulique, l'énergie mécanique est produite sous forme d'un mouvement permettant un déplacement ou crée une force.
- ❖ **Moteur :** les moteurs électriques sont des actionneurs chargés de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation. Le mouvement de rotation à l'intérieur d'un moteur est engendré grâce à des phénomènes magnétiques [4].

## A.3 les capteurs :

Un capteur est dispositif qui soumis à l'action d'une grandeur physique, Qui informe la partie commande de l'exécution du travail, ce signale est pneumatique mais dans la grand majorité des cas cette information se fais par l'intermédiaire d'un signal électrique. La famille utilisée dans les systèmes de positionnement est celle des capteurs déplacements.

## B. Une partie commande :

Ce secteur gère dans une suite logique le déroulement ordonné des opérations à réaliser. Il reçoit des informations en provenance des capteurs situe dans la PO, et les restitue vers cette même PO en direction des pré-actionneurs.

### I.3 Table traçante IF2400:

#### I.3.1 Historique:

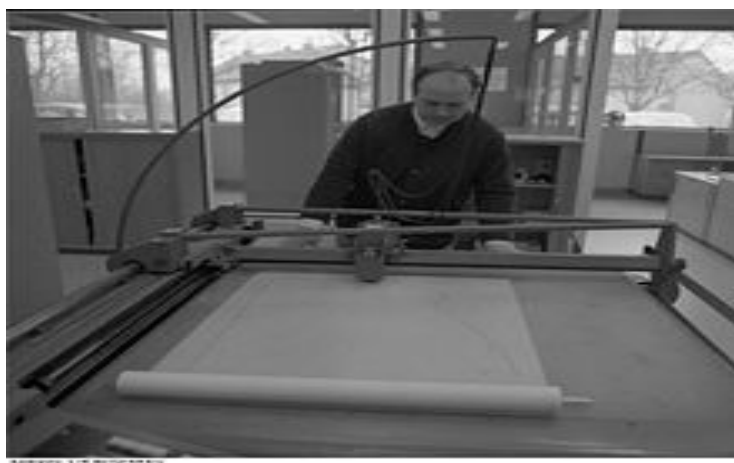
Un traceur ou table traçante ou plotter est un périphérique d'impression informatique pour les impressions graphiques en mode trait. Depuis les années 1960, les traceurs à plume ou jet d'encre ont accompagné l'expansion de la conception assistée par ordinateur. Depuis les années 1980, ils ont généralement été remplacés par des imprimantes laser de format A0, de sorte qu'il est maintenant courant de se référer à ces imprimantes grand format comme « traceurs », même si, techniquement, ces imprimantes permettent aussi bien le tracé d'aplats.



**Figure I.3.** Un traceur format A0 moderne.

Les premières tables traçantes ou traceuses à plumes, se composaient d'une table horizontale et d'un porte-stylo motorisé. Le papier était fixé à la table soit par un système électrostatique, soit par une dépression d'air à travers des trous de très petite taille. Sur certains modèles très bon marché des années 1970, on le collait même avec du Ruban adhésif.

Par la suite le papier sera posé sur un gros cylindre en caoutchouc dur. La rotation du cylindre permet de parcourir le papier dans un sens tandis que le porte stylo n'a à se déplacer que sur un seul axe.



**Figure I.4.** Une table traçante (1970).

Ces traceurs à plumes, désuets, ont été remplacés par les imprimantes à jet d'encre et laser. Ces imprimantes sont encore appelées traceurs, même si ce sont des appareils d'impression plutôt que de traçage [4].

### I.3.2 Présentation de la table traçante IF2400 :

Les tables traçantes de série IF2400 sont des appareils d'usage général pour le laboratoire et l'industrie. Leur conception modulaire ainsi que le nombre important d'options raccordables, en font des appareils susceptibles de s'adapter, au mieux, aux exigences des incorporateurs et utilisateurs [5].

Ainsi l'on distingue deux modes principaux d'utilisations de ces tables traçantes :

- Le premier consiste en l'analyse temporelle d'un phénomène électrique par l'utilisation d'une base de temps sur la voie «X» et de la fonction électrique à analyser sur la voie «Y».
- Le second consiste en l'analyse de l'évolution d'un premier phénomène  $V_y$ , relié à la voie «Y», en fonction d'un second  $V_x$ , relié à la voie «X».

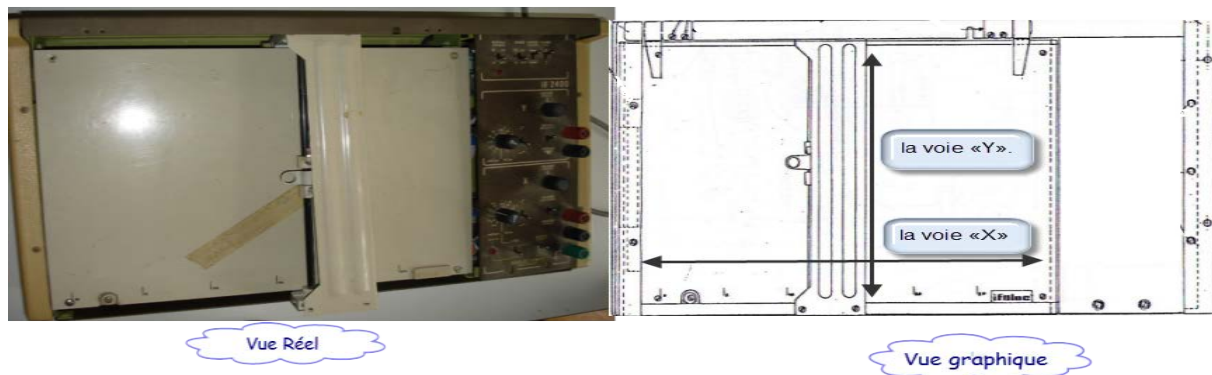


Figure I.5. La table traçante IF2400.

#### I.3.2.1 Caractéristiques des tables traçantes IF2400 :

##### A) Caractéristiques physiques :

format du papier	A4
Dimensions châssis hors-tout	452 × 266 × 134mm
masse	9 kg
Nature du boîtier	Métallique
Maintien du papier	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Par réglettes aimantées</li> <li>• Par écran électrostatique</li> </ul>
Commande maintien papier	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interne</li> <li>• externe</li> </ul>

Bague de support de plume : Ø pas de vis	M 10 × 0.7
Type de plume	Feutre
Raccordement au secteur	Sur borniez à visser (3 bornes)

**Tab I.1.** Caractéristiques physiques de la table.

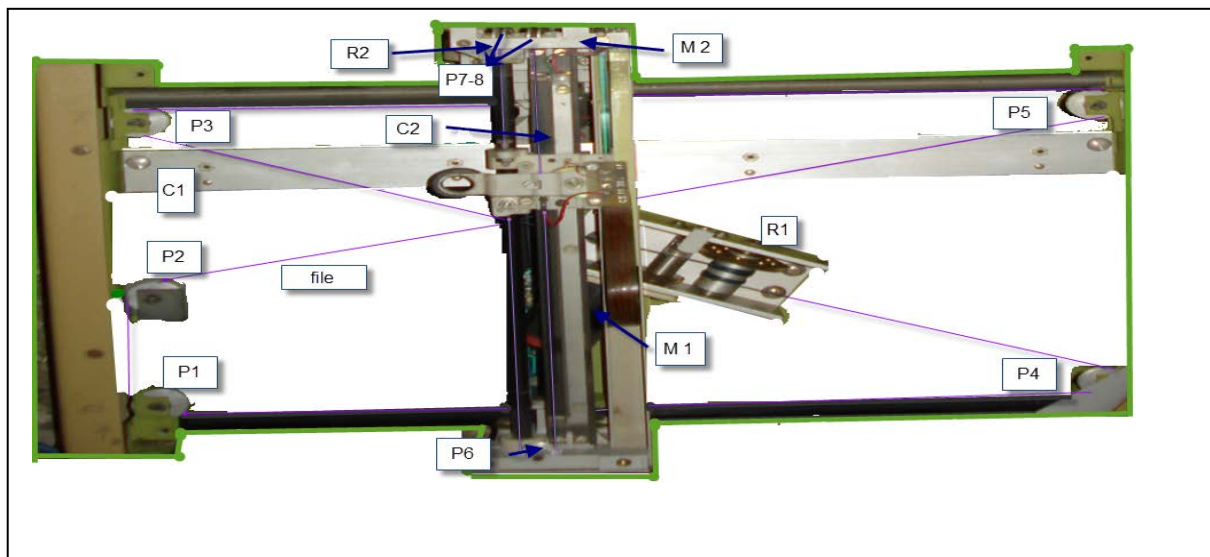
**B) Caractéristiques électriques :**

Alimentation	220 v
Consommation (vecteur 5 cm/ 4 Hz sur X et Y)	Max 200 mA
Type d'entrée	Isolée Galvaniquement
Impédance d'entrée	1 MΩ
Butées	Électronique + mécanique
Sensibilité d'entrée (mV/cm)	1,2,5,10,20,50,100,200,500,1000,2000
Décalage d'origine sur les voies X et Y (mV)	± (45 × sensibilité d'entrée) (mV/cm)
Commande papier	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contacte extérieur</li> <li>• Protection d'entrée : ±20 v</li> </ul>
Commande plume	Validée par la commande papier
Non linéarité par rapport à la pleine échelle	Typique : ±0.1% ; max : ±0.2%
Erreur de précision d'étalonnage par rapport à la pleine échelle	Typique : ±0.25% ; max : ±0.5%
Erreur de précision globale par rapport à la pleine échelle	Max : ±0.7%
Vitesse max de trace (X et Y)	Typique : 50 cm/s ; max : 45 cm/s
Accélération	Typique : 1500cm/s <sup>2</sup>
Déphasage entre voies	Vecteur 5 cm : ≤1° jusqu'à 2 Hz Vecteur 10 cm : ≤1° jusqu'à 1.5 Hz
Bande passante 3 dB (X et Y)	Vecteur 5 cm : 4Hz Vecteur 10 cm : 2.5Hz
Tension max d'isolement entre voies, et entre voies et masse	V : 500 v /50 Hz ; V : 700 v
Tenue diélectrique entre secteur et masse, châssis, entrées réunies	2000 v DC
Temps de retard de commande plume	25 ms

Fréquence max de commande de plume	15 Hz
Dérive en température	< 500 ppm
Domaine d'utilisation en température	0 – 50°C
Base de temps* vitesse (mm/s)	0.25, 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 25 et 50
Non linéarité	0,2%
Erreur de précision	1%

**Tab I.2.** Caractéristiques électriques de la table.

**C) Constituants mécanique de la table :**



**Figure I.6.** Constituants mécanique de la table traçant IF2400.

- Deux moteurs à courant continu : (M1) pour assurer le déplacement selon la voie (X), et (M2) pour le déplacement selon la voie (Y)
- Deux réducteurs de vitesse : R1 pour réduire la vitesse de déplacement selon la voie (X) (système d'engrenage) et R2 pour le réducteur de vitesse selon la voie (Y)
- Poulies (1 ...8), plus des fils pour la transmission de mouvement
- Deux capteurs de position (capteurs résistives (C1-2))
- Le maintien du papier est normalement assuré par des réglettes aimantées à disposer autour de la feuille d'écriture, mais il est possible de maintenir le papier par écran électrostatique grâce à une option adaptable par l'utilisateur ou montée d'origine.



### I.3.2.2 Réalisation des tracés :

#### A. Tracé $V_y=f(V_x)$ :

- **But du tracé :**

Étant donné deux signaux de tension  $V_x$  et  $V_y$ , on souhaite étudier l'évolution du signal  $V_y$  en fonction du signal  $V_x$ , pour cela, la table permet de tracer le graphique  $V_y=f(V_x)$ .

- **Préliminaires :**

Un tracé correct de toute fonction  $V_y=f(V_x)$  présuppose le respect des précautions d'emploi.

En premier lieu, on vérifie que le commutateur "RESEAU" est en position "ARRET" (off), puis on branche le cordon alimentation de la table sur le réseau secteur 220 v / 50 Hz avec prise de terre.

On vérifie que les positions des différents commutateurs sont :




- Servos : ARRET (off)
- Papier : symbole de papier non maintenu sur la table 
- Plume : symbole de la plume levée 
- Si la table possède l'option "BASE DE TEMPS" : commutateur de sélection en position f(x).



Figure I.7. Préliminaires de tracer  $V_y=f(V_x)$ .

- Puis commutateur "RESEAU" sur "MARCHE" : la table est alors sous tension.
- Positionner une feuille millimétrée du format A4, et assurer son maintien, soit par réglettes aimantées, soit par la commande  (symbole de papier maintenu).
- Visser la plume sur son support.

- **Décalage d'origine :**

Le circuit de décalage d'origine permet à la table de mesurer l'évolution de signaux avec des composantes continues d'offset relativement importantes.



Le tableau ci-après donne pour ces tensions, les valeurs maximales admissibles, permettant un positionnement de la plume au point origine 0 ( $x=0$  et  $y=0$ ), et ce, en fonction de la sensibilité d'entrée.

Sensibilité mV/cm	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000
Tension	±45	±90	±225	±450	±900	±2.25	±4.5	±9	±22.5	±45	± 90

**Tab I.3.** Les tensions maximales admissibles en fonction la sensibilité d'entrée.

Étant donné deux signaux  $V_x$  et  $V_y$  à analyser, et tel que :

$$V_x = V_{ox} + V_{ux} \quad (V_{ux} \geq 0)$$

$$V_y = V_{oy} + V_{uy} \quad (V_{uy} \geq 0)$$

Avec :  $V_{ox}$ ,  $V_{oy}$  : composantes continues d'offset

$V_{ux}$ ,  $V_{uy}$  : composantes variables utiles




Pour amener la plume au point origine 0 ( $x=0$ ,  $y=0$ ) :

- Positionner les interrupteurs du choix de mode de fonctionnement de chaque voie sur ORIGINE.
- Sélectionner la sensibilité d'entrée correcte sur chaque voie.
- Mettre les servos en marche.
- Ajuster les potentiomètres "ORIGINE" à l'aide du tournevis fourni dans la boîte d'accessoires, pour amener la plume au point origine.
- Baisser et relever la plume pour marquer le point origine.
- Déconnecter les servos : "ARRET" (off).



**Figure I.8.** Réglage de décalage d'origine.

- **Début de tracé :**

- Connecter les signaux  $V_x$  et  $V_y$  respectivement aux entrées.
- Intercaler le filtre passe-bas  s'il s'agit de signaux très perturbés, sinon positionner le commutateur sur 
- Commander le baisser de plume  (symbole de la plume baissée) et mettre les servos sur "MARCHE".
- Positionner simultanément les interrupteurs des voies X et Y sur "MESURE".
- Attendre la fin du tracé pour commander le lever de plume et l'arrêt des servos.
- Le graphe de la fonction  $V_y=f(V_x)$  est alors disponible pour exploitation ; ne pas oublier de relever l'échelle sur les deux axes.

**B. Tracé  $V_y=f(t)$  :**

- **But du tracé :**

Dans le cas où la table est munie de l'option base de temps, celle-ci permet l'analyse temporelle d'une tension  $V_y$  : on obtient alors le graphe  $V_y=f(t)$ .

- **Préliminaires :**

Procéder comme pour un tracé  $V_y=f(V_x)$  sauf pour le commutateur de la base de temps, qui doit être en position "f(t)", cette position étant alors signalée par un voyant LED.

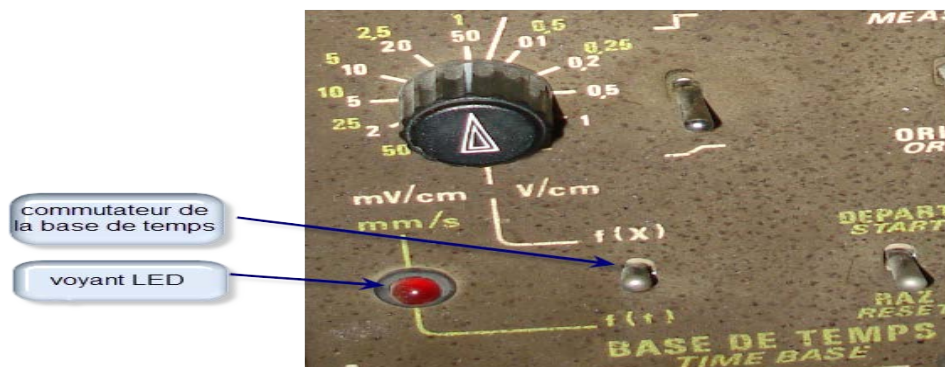


Figure I.9. Option base de temps.

- **Décalage d'origine :**




Pour la voie Y, procéder comme pour le tracé  $V_y=f(V_x)$

Pour la voie X, opérer comme suite :

- Se positionner en mode "ORIGINE"
- Sélectionner la vitesse de défilement voulue entre 0.25 et 50 mm/s
- Mettre les servos en marche

- Régler le potentiomètre origine à l'aide du tournevis afin d'ajuster l'origine du tracé
- Baisser et relever la plume pour marquer l'origine
- Déconnecter les servos.

• **Début de tracé :**

- Connecter le signal Vy sur l'entrée de la voie Y.
- Intercaler le filtre de la voie Y  s'il s'agit d'un signal très perturbé, sinon laisser le commutateur sur la position 
- Commander le baisser de la plume  et mettre les servos en marche.
- Effectuer la commande "départ" de la base de temps et immédiatement après, commuter la voie Y en mode "MESURE".
- Le tracé s'effectue alors jusqu'à ce que le bras arrive en butée. Après quoi, s'effectue automatiquement une RAZ (remise à zéro).
- La plume se lève
- Puis le bras revient rapidement à l'origine de l'axe X

**N.B :** la remise a zéro peut être commandée à n'importe quel moment du tracé, par la commande disponible sur la base de temps "RAZ"

- Pour exploitation du tracé, arrêter les servos et ne pas oublier de noter les échelles des temps et de l'axe Y [5].

**I.4 Analyse fonctionnelle technique da la table traçante IF2400:**

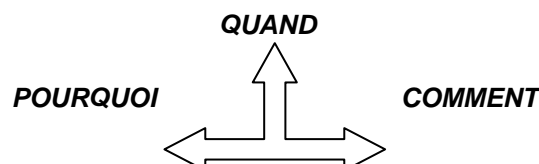
**I.4.1 L'outil de description : Diagramme FAST (Fonction Analysis System Technique)**

La méthode permet de hiérarchiser l'ensemble des fonctions, préalablement identifiées, d'un produit en partant de la fonction d'usage. Dans ce graphique est représentées de manière organisée les fonctions techniques et les solutions techniques associées [6].

Fonction globale  $\longrightarrow$  décomposition fonctionnelle  $\longrightarrow$  solutions techniques

En répondant aux trois questions essentielles :

Technique interrogative : Pourquoi ?, Comment ? et Quand ?



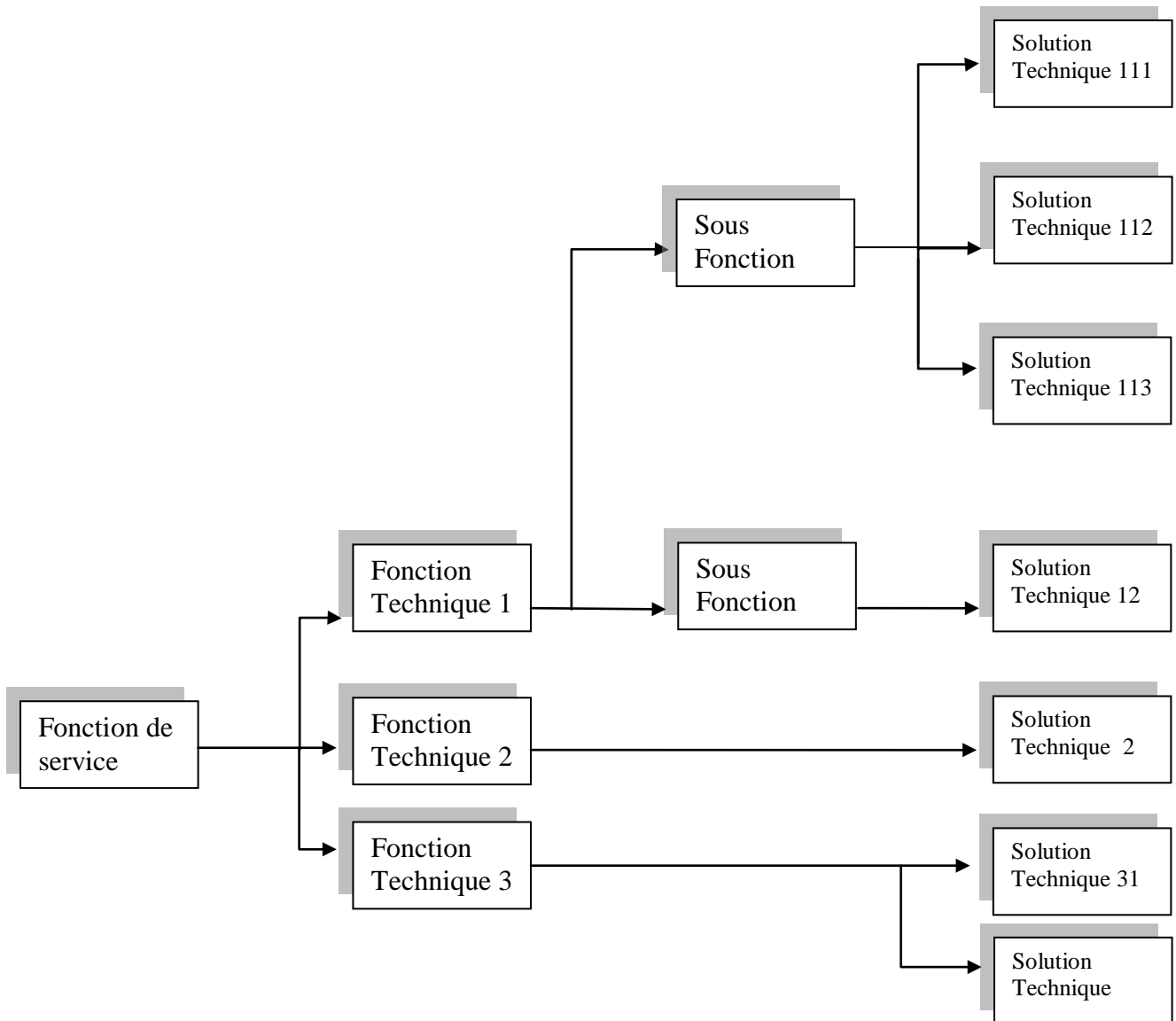


Figure I.10. Diagramme fonctionnelle(FAST).

#### I.4.2 La chaîne fonctionnelle de la table traçante IF2400 :

Étant donné deux signaux de tension  $V_x$  et  $V_y$ , on souhaite étudier l'évolution du signal  $V_y$  en fonction du signal  $V_x$ , pour cela, la table permet de tracer le graphique  $V_y=f(V_x)$ . Le principe de fonctionnement est le suivant :

Positionner une feuille millimétrée du format A4, et assurer son maintien. Grâce à 2 Système poulie-courroie pour chaque voie(X, Y) qui transforme le mouvement de rotation en mouvement de translation, qui permet à la plume de se déplacer en translation. La combinaison de ces deux mouvements permet d'effectuer les tracés désirés sur le papier.

On va s'intéresser à la chaîne fonctionnelle qui permet la mise en translation de la plume.

La figure ci-dessous montre la hiérarchisation du fonctionnement de la table traçante.

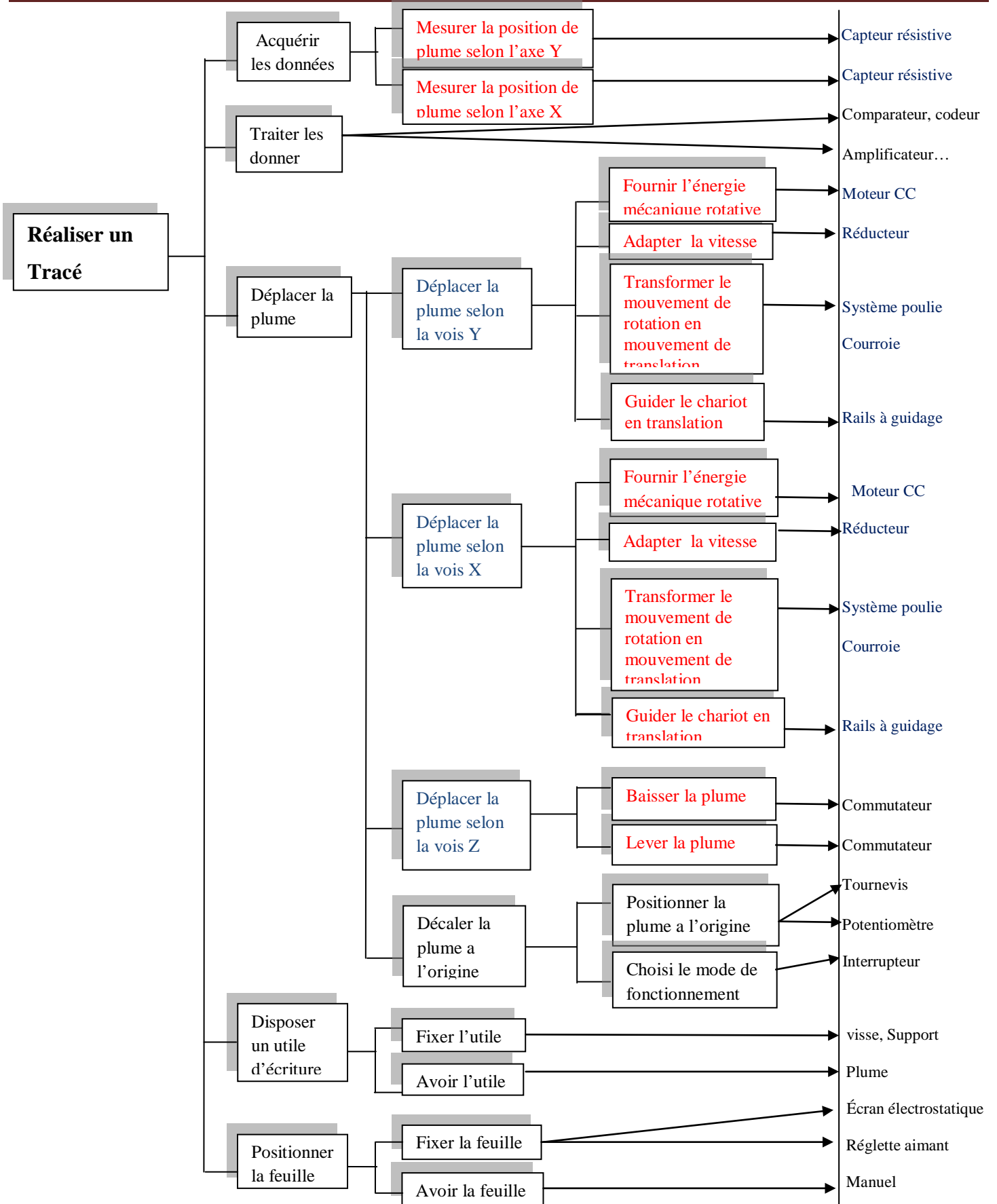


Figure I.11. Analyse fonctionnelle d'une table traçante IF2400

Le principe de fonctionnement est le suivant :

### A. Pour la voix X :

Un moteur électrique  $M_1$  commandé en tension, fournissant une vitesse de rotation  $\Omega_{m1}$ , provoque, par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse (R1) (rapport de réduction  $\gamma = \Omega_{P1}/\Omega_{m1}$ , système d'engrenage), la mise en rotation de 5 poulie (vitesse de rotation  $\Omega_{P1}$ ) qui entraîne une courroie (on suppose que cette courroie ne glisse pas sur les poulies). Le chariot supportant la plume est entraîné par la courroie. Le chariot guidé par des rails, et il a un mouvement de translation suivant l'axe de X.

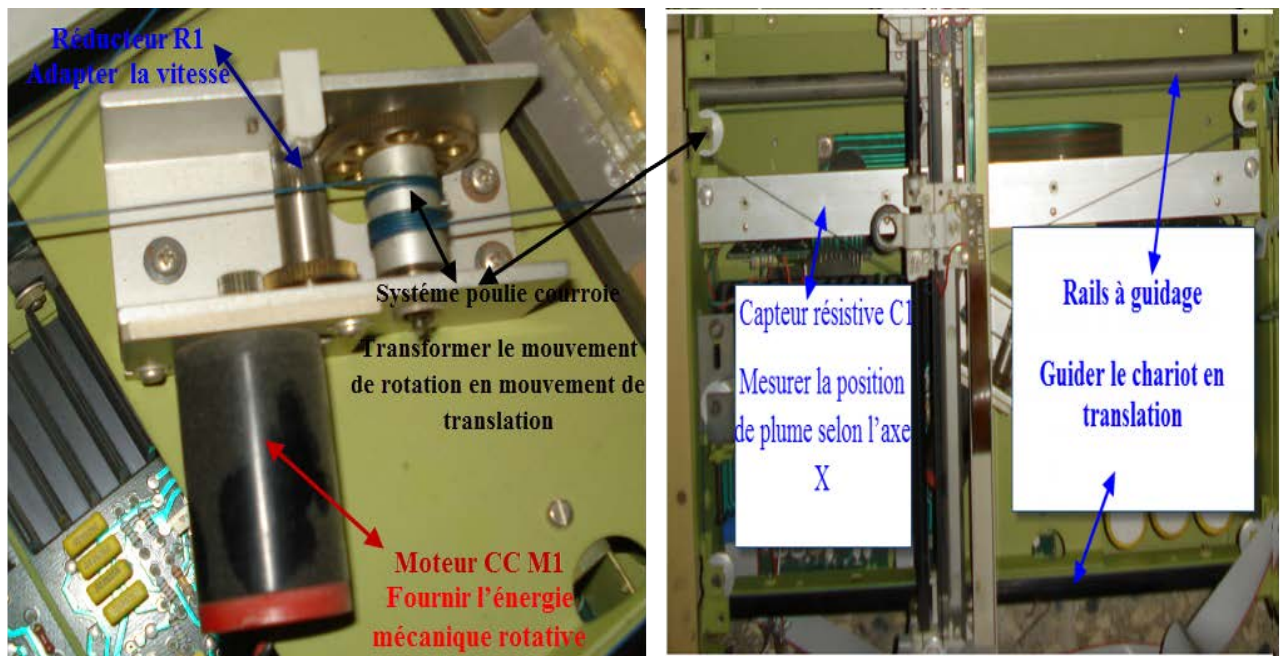


Figure I.12. Constitue mécanique vue détaillée selon l'axe X.

Un capteur résistive C1 linéaire permet de mesurer la position du chariot  $x$  et délivre une tension proportionnelle à la position mesurée. Elle permet, grâce à un comparateur et à un amplificateur (gain  $K1$ ), d'assurer la commande en tension et l'asservissement de la vitesse de rotation du moteur. La tension délivrée par le capteur  $U_{c1}$  sera comparée à une tension de consigne  $U_c$ , image de la position désirée.

### B. Pour la voix Y :

Un moteur électrique  $M_2$  commandé en tension, fournissant une vitesse de rotation  $\Omega_{m2}$ , provoque, par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse (R2) (rapport de réduction  $\gamma = \Omega_{P2}/\Omega_{m2}$ , système d'engrenage), la mise en rotation de 3 poulie (vitesse de rotation  $\Omega_{P2}$ ) qui entraîne une courroie (on suppose que cette courroie ne glisse pas sur les poulies). Le support de plume est



entraîné par la courroie, et guidé par des rails, et il a un mouvement de translation suivant l'axe de Y.

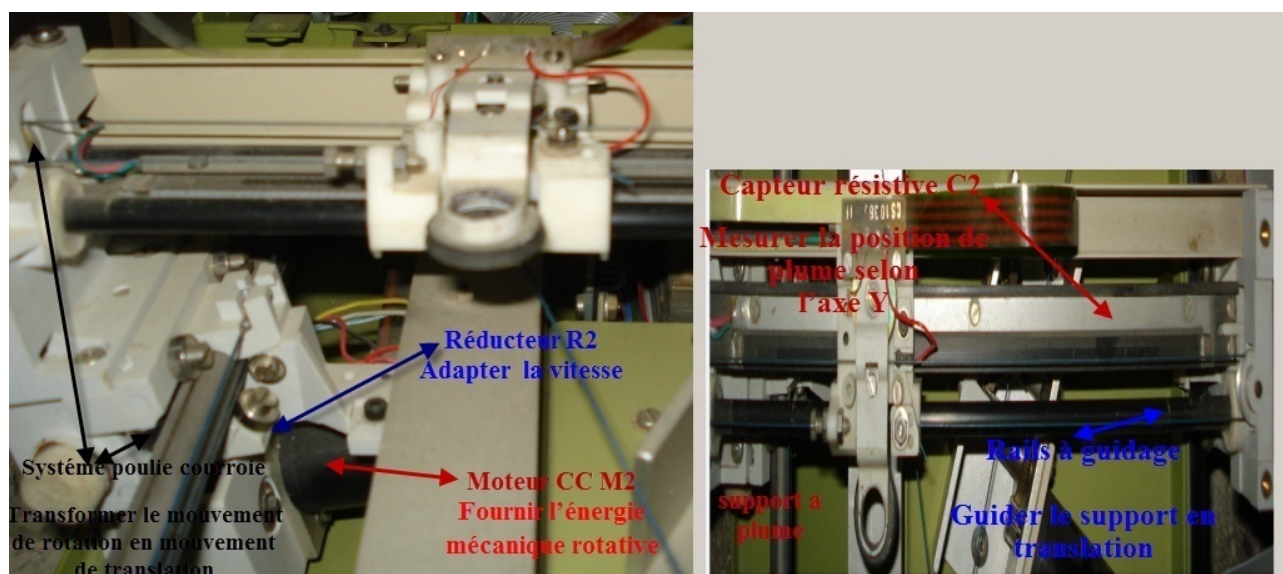


Figure I.13. Constitue mécanique vue détaillée selon l'axe Y.

Un capteur résistive C2 linéaire permet de mesurer la position du support de plume y et délivre une tension proportionnelle à la position mesurée. Elle permet, grâce à un comparateur et à un amplificateur (gain K2), d'assurer la commande en tension et l'asservissement de la vitesse de rotation du moteur. La tension délivrée par le capteur Uc2 sera comparée à une tension de consigne Uc, image de la position désirée.

### C. Pour la voix Z:

Le troisième sous-système est commandé par un électro-aimant. Le porte plume peut prendre seulement deux positions (haute et basse).

### I.5 Conclusion :

La présentation et l'étude technique globale faites sur la table traçante de type IF2400, pris comme exemple d'un système de positionnement, nous a permet de connaitre mieux les caractéristiques de ses déferents éléments de base (physique, mécanique, et électrique). Ce qui nous a amené à comprendre d'avantage le fonctionnement de cette table.

## **Chapitre II**

**« V-Realm Builder »**



## II.1 Introduction:

V-Realm Builder est un générateur à trois dimensions pour la création d'objets 3D et des mondes virtuels, qui peuvent être vues avec le navigateur V-Realm ou tout autre navigateur conforme à VRML 2.0. Il est essentiel de se rappeler que VRML 2.0 a été conçu comme un "réseau" cahier des charges amical de fichier virtuel. V-Realm Builder et VRML ne sont pas destinés à remplacer les outils de modélisation que nous avons aujourd'hui [7].

## II.2 Le langage VRML :

Le langage de modélisation de réalité virtuelle [VRML] est une norme ISO qui est ouverte, basé sur du texte, et utilise un format axé sur WWW. On utilise VRML pour définir un monde virtuel qu'on peut afficher avec une visionneuse VRML et de se connecter à un modèle Simulink [8].

VRML ne peut pas espérer faire face à des logiciels de modélisation qui créent des objets incroyablement réalistes avec 5 ou 10 millions de polygones. Ces objets peuvent être convenables pour les ordinateurs autonomes ou des applications, mais d'attendre d'un fichier de cette taille pour être facilement transportable sur le net en temps réel n'est pas possible. Pour cette raison, en utilisant VRML, V-Realm Builder a été conçu pour nous donner des outils afin de minimiser la taille des fichiers et de fournir un moyen de modéliser des objets plus complexes avec des primitives, sans avoir à surcharger le net avec de gros fichiers.

- **Vue d'ensemble :**

Il ya plus d'un moyen de créer un monde virtuel décrit avec le code VRML. Par exemple, on peut utiliser un éditeur de texte pour écrire directement un code VRML, ou bien utiliser un éditeur VRML pour créer un monde virtuel sans avoir à connaître quoi que ce soit sur le langage VRML.

Cependant, on doit comprendre la structure d'un arbre VRML pour connecter un monde virtuel à des blocs Simulink et des signaux.

## II.3 Le Ligos V-Realm Builder:

L'application Ligos V-Realm Builder est un outil flexible et orientée graphiquement pour l'édition 3D, et il est disponible pour les systèmes d'exploitation Windows uniquement. Il est un outil de création natif de VRML, qui fournit une interface facile à la syntaxe VRML. Son format de fichier primaire est VRML, et son interface d'utilisation graphique [GUI] offre

non seulement la représentation graphique d'une scène 3D et des outils pour la création interactive d'éléments graphiques, mais aussi un style d'arbre hiérarchique [arbre spectateur] de tous les éléments présents dans le monde virtuel [7].

Ces éléments de structure sont appelés nœuds. L'interface Ligos V-Realm Builder répertorie les nœuds et leurs propriétés en fonction de leurs types de nœuds VRML respectifs. Pour chaque type de nœuds, il ya un outil spécifique pour la modification des paramètres pratique des nœuds. On peut accéder aux propriétés des nœuds de deux façons :

- Utilisation des boîtes de dialogues accessibles à partir de l'arbre de visualisation.
- Directement, en utilisant un dispositif de pointage.

Dans le visualiseur d'arbre, donner les nœuds des noms uniques est une caractéristique nécessaire pour travailler avec le produit Simulink Animation 3D.

### II.3.1 Interface V-Realm Builder:

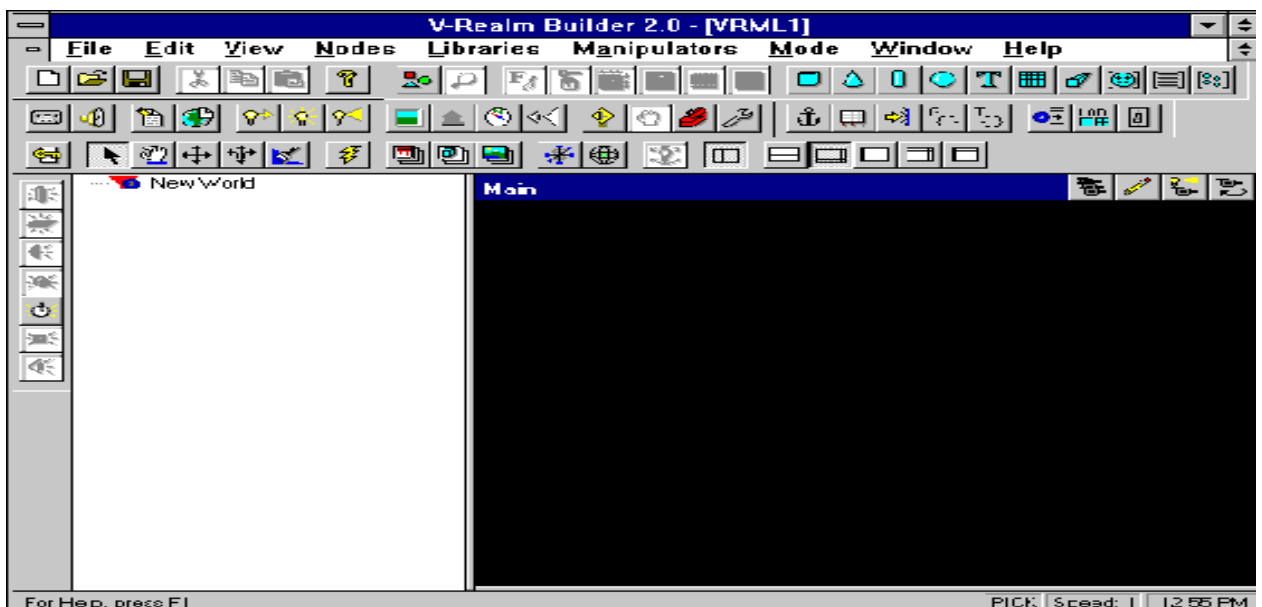


Figure II.1. Interface V-Realm Builder.

### II.3.2 Caractéristiques V-Realm Builder:

V-Realm Builder possède un certain nombre de caractéristiques importantes qui facilite la tâche de construire des objets et des mondes virtuels 3D efficaces. Il s'agit notamment de:

- **Une interface intuitive:** L'interface V-Realm Builder supprime la nécessité de la main-codage de VRML [hand-coding], sans lui ôter sa puissance. Sa facilité

d'utilisation vous permet de maîtriser rapidement son fonctionnement et de construire des mondes VRML.

- **Les standards ouverts:** V-Realm Builder génère des fichiers qui peuvent être lus par tous les navigateurs conformes à VRML 2.0 ... il n'y a pas d'extensions propriétaires qui limitent l'auditoire.
- **Étendu des contrôles de manipulation 3D:** V-Realm Builder comprend de puissants outils de manipulation 3D de forme, pour la transformation d'objets et d'éclairage.
- **Bibliothèques personnalisables:** V-Realm Builder fournit à VRML, des objets, textures et matériaux, grâce aux objets personnalisables, et les bibliothèques de matériaux. Un certain nombre de mondes virtuels, sont également inclus comme des exemples, avec presque toutes les fonctionnalités disponibles en VRML.
- **Un retour visuel instantané avec vues multiples:** une arborescence de nœuds et des vues multiples d'objets 3D peuvent être affichés simultanément, ce qui accroît l'interaction avec l'environnement de développement 3D en cours de construction. V-Realm Builder affiche jusqu'à quatre vues simultanées d'objets qui sont indépendamment réglables, pour une visualisation optimale.
- **Texture :** les objets peuvent être texturés avec GIF (y compris la transparence), JPEG et les fichiers de formats RVB. Les textures vidéo sont prises en charge avec les formats MPEG1, MPEG2, et les fichiers de format AVI.
- **Éditeurs spécialisés:** Extrusion, animation d'image, l'altitude des grilles, et les éditeurs de modélisation polygonale.
- **Les supports audio et vidéo:** V-Realm Builder permet aux utilisateurs d'intégrer un grand nombre de fichiers de formats audio et vidéo couramment utilisés, dans les mondes qu'ils construisent.
- **Points de vue définissables:** L'utilisateur a la possibilité d'enregistrer autant de positions dans un monde virtuel comme il le souhaite. Ces positions peuvent être utilisés comme points de repère à la navigation, ou comme une visite virtuelle.
- **Contrôle de la barre d'outils personnalisable:** Toutes les barres d'outils sont mobiles, et affichables. L'interface de travail permet à l'utilisateur de contrôler toutes les barres d'outils disponibles.
- **Arbre de nœud intelligent:** Lorsque vous modifiez un fichier VRML en ajoutant ou en insérant des nœuds, l'arbre de nœud intelligent [Smart node tree] va placer automatiquement l'objet nœud dans l'endroit le plus efficace pour le codage VRML.

Dans de nombreux cas, il agit comme un vérificateur de syntaxe afin d'assurer que les nœuds sont placés de façon appropriée.

- **Fichier de sortie simplifiée:** V-Realm Builder écrit en dehors des fichiers du monde virtuel compact, car il ne peut pas écrire sur toutes les valeurs qui sont "par défaut". En outre, le constructeur offre la possibilité de sauvegarder automatiquement un fichier dans le g-zipped, de format compressé binaire.

### II.3.3 Barres d'outils V-Realm Builder:

En discutant de la disposition de l'utilisateur des barres d'outils dans l'application V-Realm Builder, nous devons d'abord expliquer pourquoi les choses ont été faites de la façon dont ils étaient.

- Tout d'abord, chaque barre d'outils a été conçue pour donner à l'utilisateur toutes les fonctions relatives à une tâche spécifique.
- Deuxièmement, chaque barre d'outils a été conçue pour répondre automatiquement aux choix actuels de l'utilisateur dans l'arborescence de nœuds ou de fenêtres de visualisation.
- Troisièmement, l'utilisateur est chargé de positionner chaque barre d'outils, et de savoir si une barre d'outils sera affichée à tous, ou non.
- Et enfin, V-Realm Builder a été conçu pour donner à l'utilisateur, la capacité de traiter chaque nœud VRML comme « de près et personnels » [up-close-and-personal] que possible, tout en donnant la possibilité d'avoir beaucoup de choses faites automatiquement.

#### ❖ Barre d'outils Standard:



Figure II.2. La barre d'outils Standard.

#### ❖ Barre d'outils mode:



Figure II.3. Barre d'outils mode.

#### ❖ Barre d'outils commune:



Figure II.4. Barre d'outils commune.

❖ **Barre d'outils Groupe :**

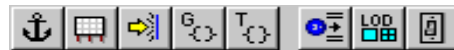


Figure II.5. Barre d'outils Groupe.

❖ **Barre d'outils Géométrie :**



Figure II.6. Barre d'outils Géométrie.

❖ **Barre d'outils des Capteurs :**



Figure II.7. Barre d'outils des capteurs.

❖ **Barre d'outils Fenêtre principale :**



Figure II.8. Barre d'outils Fenêtre principale.

❖ **Barre d'outils fenêtre Orthographique :**



Figure II.9. Barre d'outils Fenêtre orthographique.

**II.3.4 Fenêtres et menus de V-Realm Builder :**

Il est important de garder à l'esprit en lisant cette section du manuel, que nous allons utiliser les termes qui décrivent les actions sur les nœuds dans la spécification de VRML 2.0. Ce que nous tentons d'accomplir ici, c'est une simple description des différents éléments.

❖ **Menu principal :**

Le menu principal donne à l'utilisateur l'accès à toutes les commandes et options disponibles. Nous allons maintenant discuter de toutes ces commandes et options disponibles via ce menu. Pour chaque menu, nous allons explorer le sous-menu et ainsi de suite.

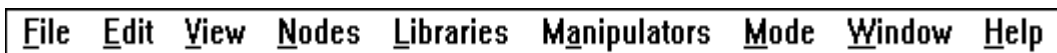


Figure II.10. Menu principal.

- **File**
- **Edit**
- **View** : affiche une liste de points à vérifier. Les articles cochés seront actif pendant la session de construction du monde.
- **Nodes**
- **Libraries** : Permet à l'utilisateur d'ajouter et de modifier des éléments d'une bibliothèque sélectionnée, et d'importer un élément d'une bibliothèque vers la scène.
- **Manipulators**
- **Mode**
- **Window**
- **Help**

#### **II.4 Conclusion:**

Dans ce chapitre, nous avons essayé de présenter le logiciel, par la définition de différents caractéristiques, menus, barres d'outils, et les principales fonctions du logiciel V-Realm Builder, et la norme du langage VRML.

Ce travail nous a permet de bien comprendre notre outil de conception, et cela pour mieux développer l'environnement virtuel de la table traçante afin de le valider, au moins du point de vue du comportement dynamique de notre système a modélisé.

## **Chapitre III**

**« Réalisation virtuel d'un système de positionnement à  
2D/3D »**

### **III.1 Introduction :**

Pour donner une idée dimensionnée d'un système de positionnement et pour expliquer les problèmes rencontrés. La réalisation virtuelle permet, de montrer une réalité virtuelle tendant à représenter le système de positionnement à réaliser ou à étudier le plus fidèlement possible. Elle rend plus facile les modifications éventuelles sans avoir recours à des frais de matériaux onéreux. La réalisation virtuelle tend à réduire les temps de conception en limitant les essais par l'étude virtuelle de différentes solutions et en analysant, si nécessaire selon objectifs, les différentes défaillances du système.

### **III.2 Démarche à suivre pour la réalisation virtuelle :**

Dans la grande majorité des systèmes de positionnement (dans notre cas la table traçante), la réalisation virtuelle du modèle passe par des étapes de représentation physique et dynamique.

- **Représentation physique :**

On parle d'un ensemble de composants souvent inertes, statiques. Ces composants sont donc décrits par les différentes formes géométriques (boîtes, triangles, cylindres, cônes, sphères, ...).

- **Représentation dynamique :**

Elle ne traite que les fonctionnalités du système (la translation, la rotation...). Elle est plus proche de la réalité finale ; elle est souvent dynamique et elle prend en charge les fonctionnalités et le comportement du produit. Cette représentation sera traitée dans le quatrième chapitre.

Ces étapes de représentation sont d'autant plus importantes et structurantes quand le produit est d'une grande complexité technique.

### **III.3 La réalisation virtuelle de la table traçante :**

Dans cette partie de notre travail, et en se basant sur l'analyse fonctionnelle technique de la table traçante IF2400 traité précédemment dans le **chapitre I (Figure I.11)**, on a abouté à un plan de réalisation virtuelle qu'on va détailler dans la suite de ce chapitre.



### III.3.1 La réalisation physique des composants :

#### III.3.1.1 Plan :

C'est l'élément principal sur lequel tous les autres composants sont créés comme étant des Fils [Children]. Il est réalisé à partir d'une forme géométrique (boite), en agissant sur ses dimensions, on obtient la forme montrée sur la figure suivante :

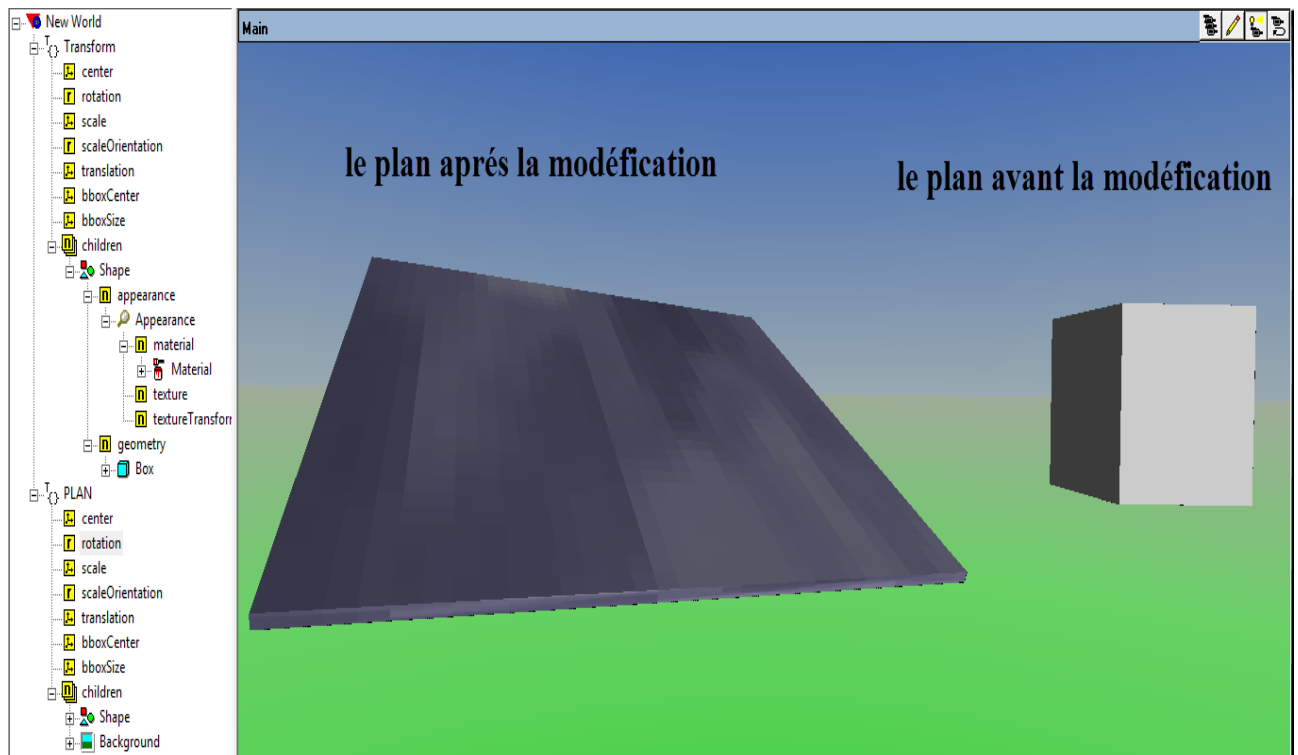


Figure III.1. La réalisation physique du plan.

Les composants fils du plan sont :

- Le système moteur et réducteur.
- Le système poulies et fil.
- Le système rails à guidage.
- Le support de la feuille.

#### A. Le système moteur et réducteur :

Il est composé d'un moteur à courant continu qui fournit une énergie mécanique rotative, et un réducteur de vitesse pour adapter la vitesse.

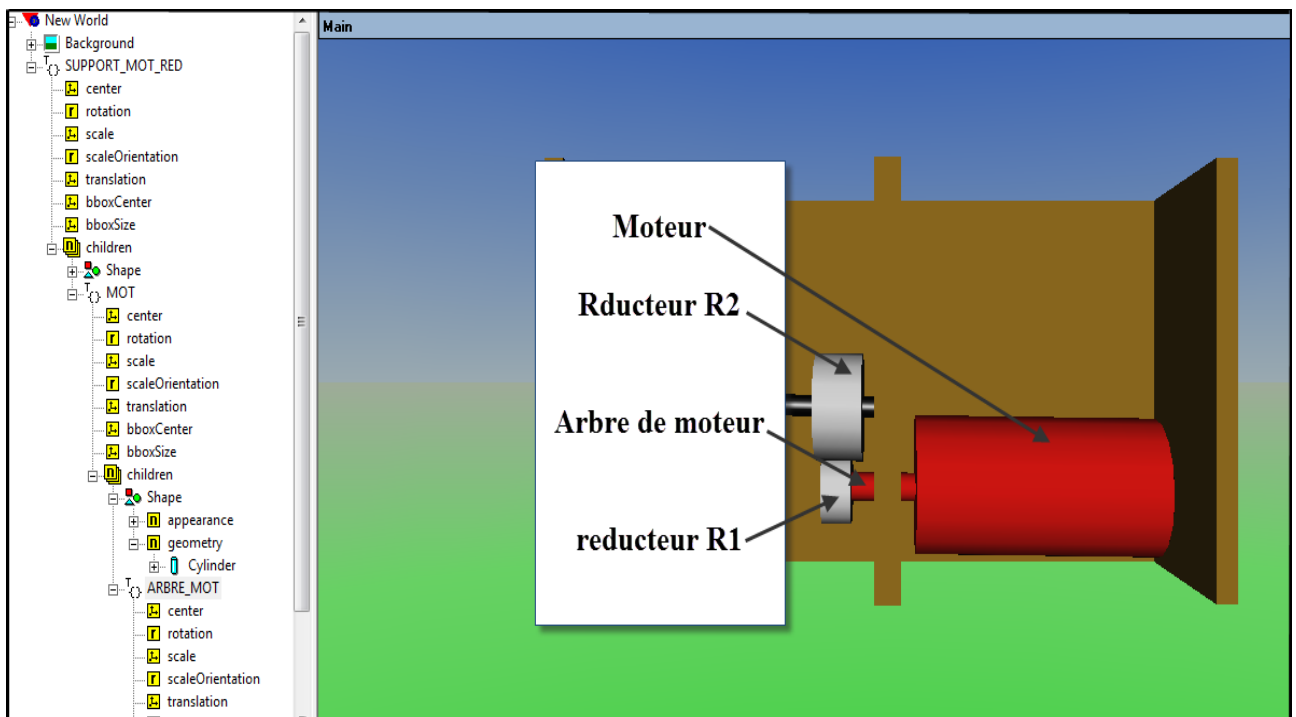
- **Le moteur :**

Il est réalisé a base d'une combinaison de deux cylindres, le premier représente l'enveloppe qui couvre les éléments électromagnétiques du moteur, sa di, et le deuxième son arbre de transmission.

- **Le réducteur de vitesse :**

Il est constitué réellement avec un système d'engrenage (Engrenage utilisant des roues dentées cylindriques). Lorsqu'elles sont mises en contact, elles transmettent le mouvement rotatif de l'arbre du moteur à l'arbre de système poulie. À cause de sa complexité de réalisation on a simplifié leur représentation à deux cylindres, le première C1 de rayon R1 lié à l'arbre de moteur, et l'autre C2 de rayon R2 ( $R2 > R1$ ) lié à l'arbre de système poulie.

La figure suivante montre le système moteur et réducteur.



**Figure III.2.** Le système moteur et réducteur.

**Remarque :** le support du moteur et réducteur est réalisé à partir de l'outil extrusion.

L'extrusion consiste à surélever une ou plusieurs faces (adjacentes ou non) ou un profil 2D le long d'une trajectoire et de créer les faces venant combler le vide occasionné par le déplacement de l'élément de départ. Dans notre support, extruder une boîte donne une boîte ouverte sur les deux coté. La figure suivante montre l'extrusion du la boîte.

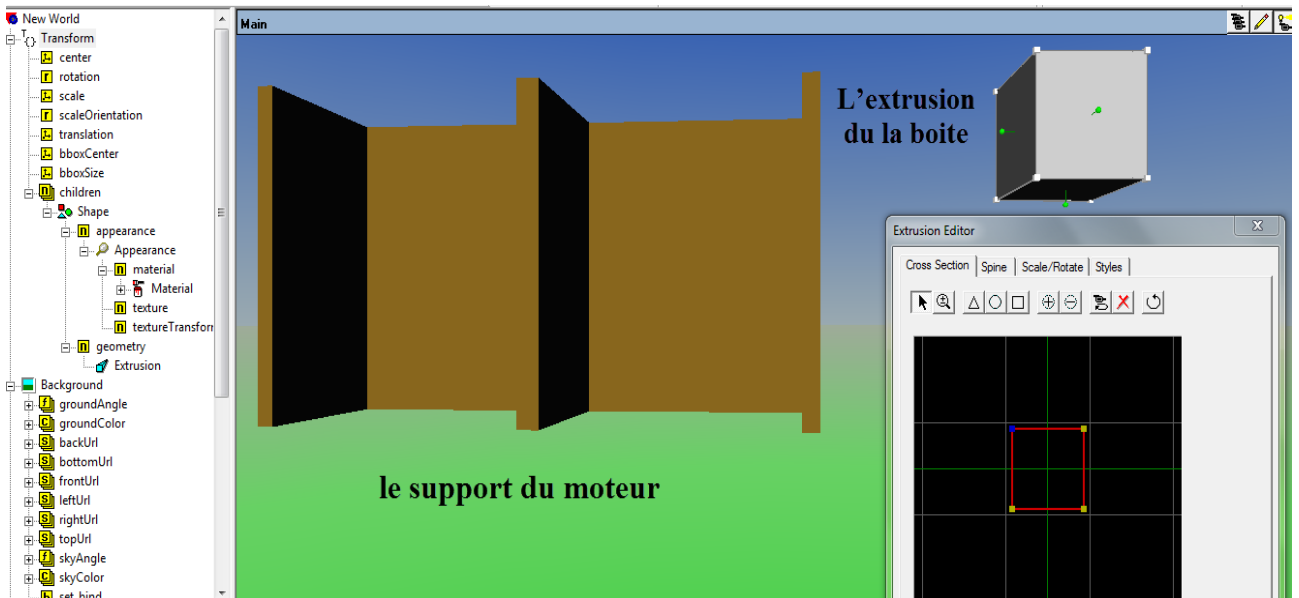


Figure III.3. L'extrusion du la boite.

### B. Le système poulies et fil :

Il a un rôle de transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation. Il se compose de cinq poulies situées sur les cotés du plans, liés par un fil avec le système de poulie sur l'arbre du réducteur. La figure suivante montre le système.

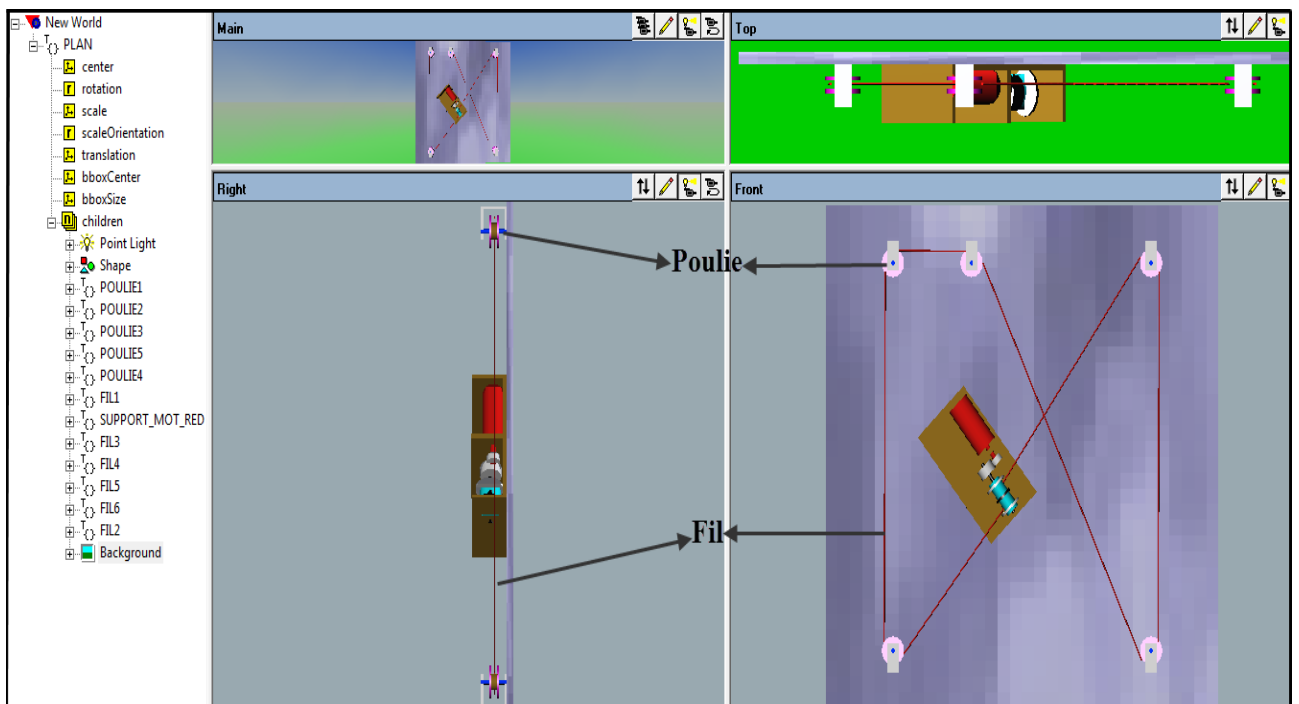


Figure III.4. Le système poulies et fil.

- **Poulie :**

Elle est réalisée de quatre cylindres C1, C2 et C3 (de rayon  $R1=R2>R3$ , et d'épaisseur  $h1=h2<h3$ ). Ces cylindres sont montés sur un axe de rotation C4 (rayon  $R4<R3$ , épaisseur  $h4>h3$ ). Ces derniers sont portés par un support (réaliser par une extrusion d'une boîte).

- **Fil :**

C'est un cylindre avec un rayon très petit.

La figure suivante montre système poulie et fil

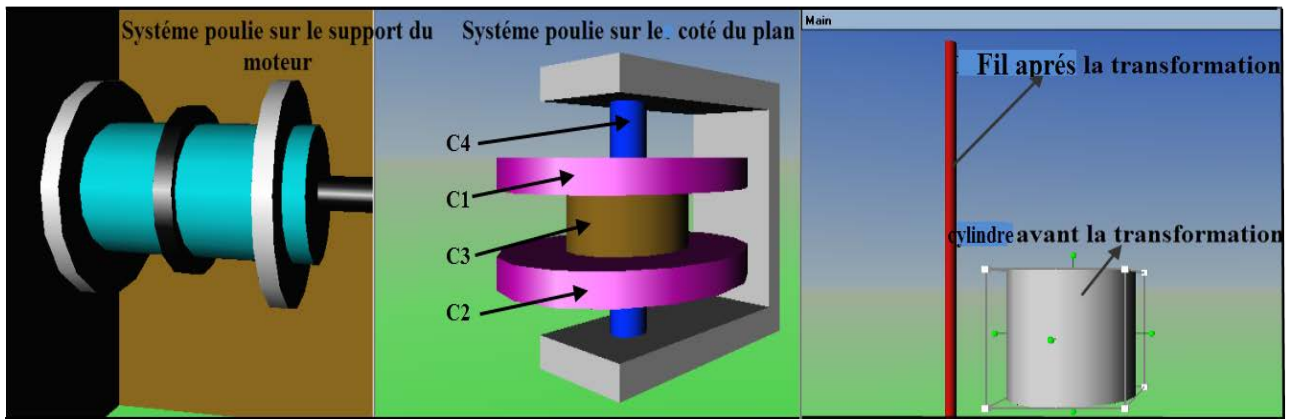


Figure III.5. Le système poulies fil.

**C. Le système rails à guidage :**

Son rôle est de guider l'outil de déplacement (le Chariot). Il est composé de deux cylindres identiques placés sur les deux cotés du plan par des piliers, la figure suivante montre le système.

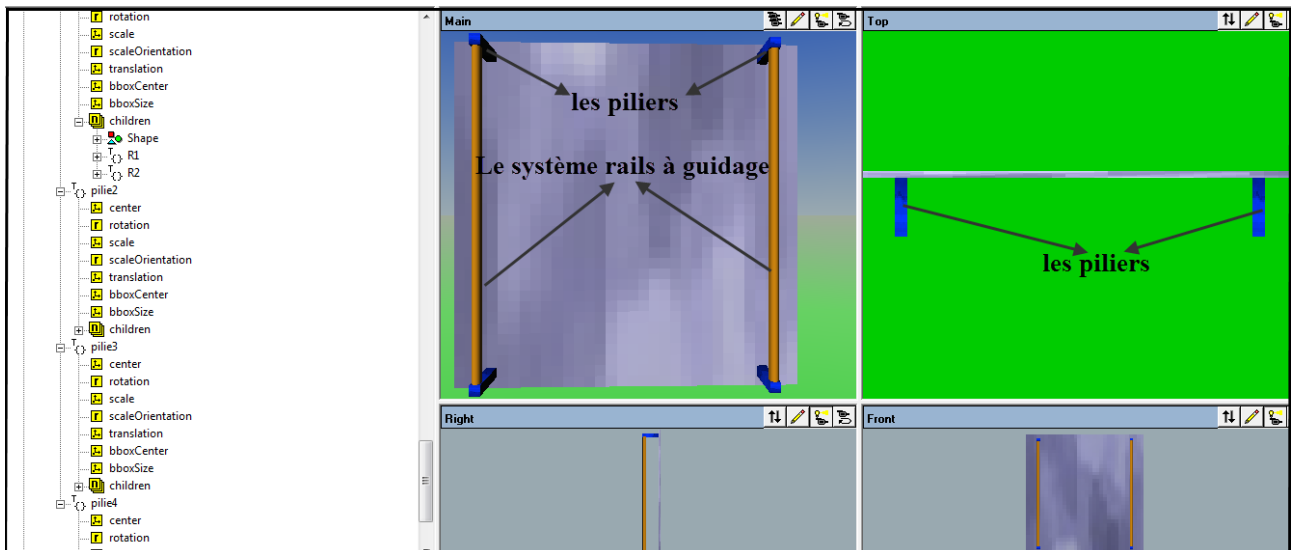


Figure III.6. Système rails a guidage.

#### D. Le support de la feuille :

C'est une surface rectangulaire destinée à placer la feuille qui va recevoir un tracé ou bien un graphe. Elle est réalisée par une forme géométrique (boite).

#### III.3.1.2 Le chariot :

C'est l'élément mobile de la table traçante, et il porte tous les autres composants mouvant comme étant des Fils [Children].

Il est réalisé sous forme de « L » à partir d'extrusion d'une forme géométrique (boite). On agissant sur ses dimensions on obtient la forme de la figure suivante.

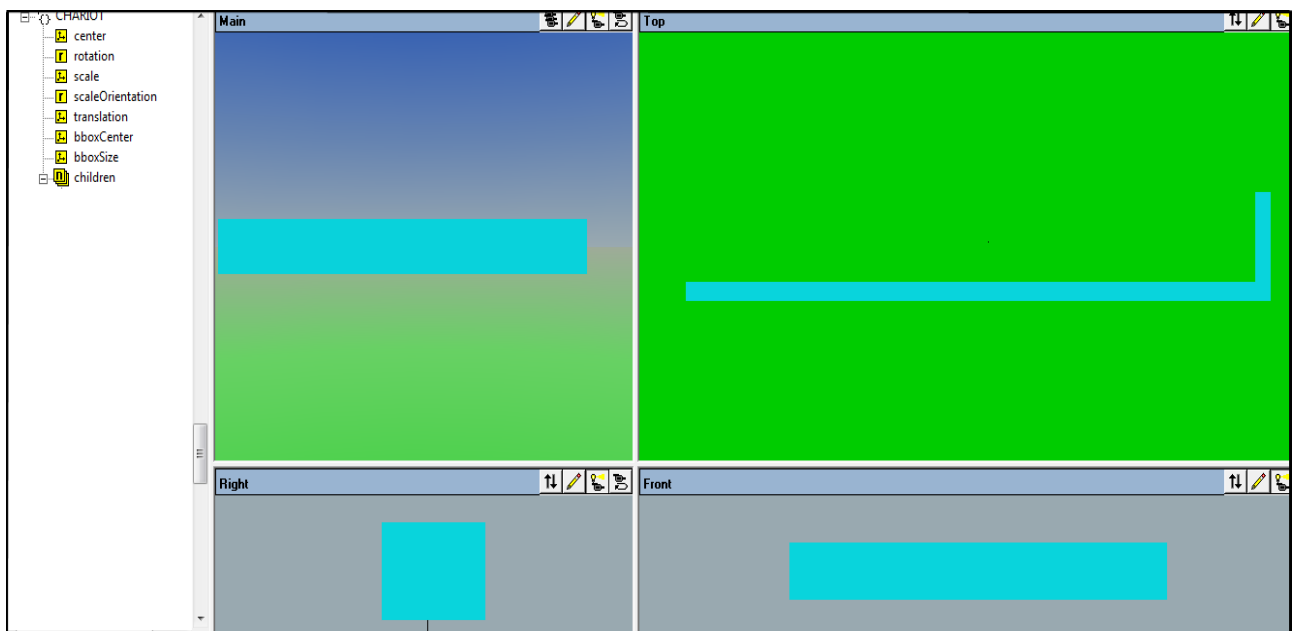


Figure III.7. Le chariot.

Les composants fils du chariot sont :

- Système bloc moteur.
- Le système poulies et fil.
- Le support de plume.

#### A. Système bloc moteur :

Il est réalisé de la même manière que le moteur précédent, sauf que celui ci est lié au chariot par l'intermédiaire d'un petit bloc attaché au chariot, comme le montre la figure suivante.

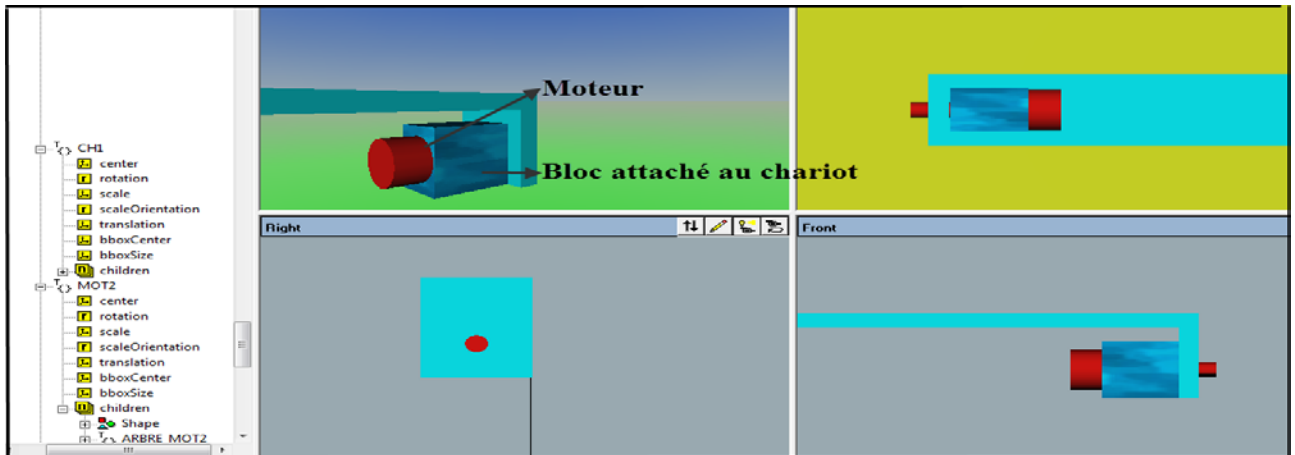


Figure III.8. Système bloc moteur.

### B. Le système poulies et fil :

Il a un rôle de transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation. Il se compose de quatre poulies : une poulie située sur l'arbre du moteur, et les autres sont placées au dessus du chariot, liées entre elles par un fil. Les poulies et le fil sont réalisés de la même façon que précédemment. La figure suivante montre le système.

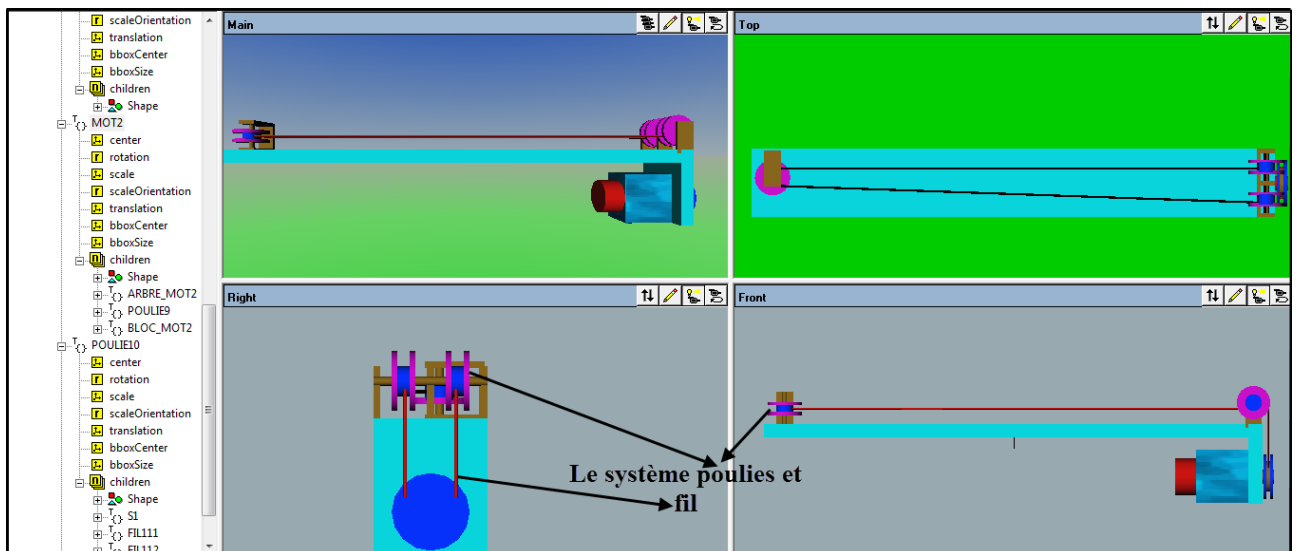


Figure III.9. Système poulies et fil

### C. Le support de plume :

C'est un élément mobile, il est porté sur le chariot, et il est réalisé avec une forme géométrique (boite). Il est constitué de porte plume comme étant composant Fils de support de plume [Children]. Ce dernier est réalisé par une extrusion d'un cylindre. Comme le montre la figure suivante.

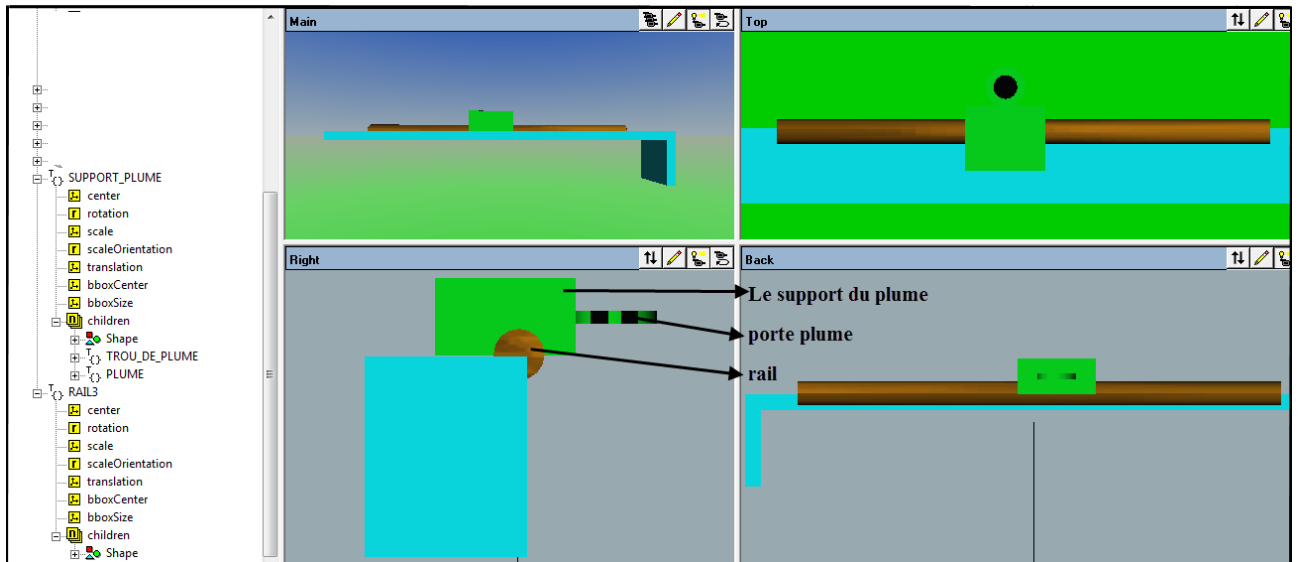


Figure III.10. Le support de plume et rail a guidage.

**Remarque :** Le support de plume est guidé par un rail, réalisé comme les rails précédents.

### III.3.1.3 Le produit final :

La combinaison des deux éléments principaux (plan, chariot et la feuille), nous donne le produit final qui est la table traçante virtuelle qu'on a étudié précédemment. La figure suivante nous montre la table traçante IF2400 qu'on a réalisée virtuellement.

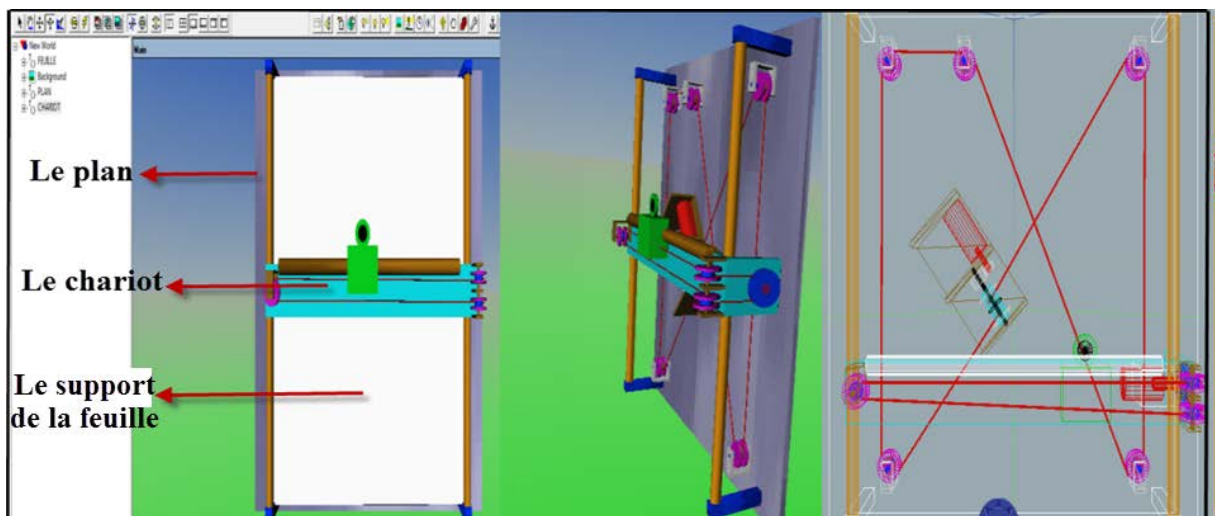


Figure III .11. Le produit final de la table traçante IF2400.

### III.4 Dimension des composants :

Le tableau suivant donne les différents objets utilisés avec leurs dimensions :

Les dimensions [Cm]			Longueur	Largeur	Hauteur	h	r
Les éléments			X	Y	Z		
<b>Plan</b>			35	0.5	35	–	–
Le système moteur et réducteur	Moteur	L'enveloppe de moteur	–	–	–	3.4	1.1
		Arbre de moteur	–	–	–	3.1	0.4
	Réducteur de vitesse	RED(1)	–	–	–	0.5	0.5
		RED(2)	–	–	–	0.5	1
Le système poulies et fil	Poulie lie au moteur	C1=C2	–	–	–	0.2	1.3
		C3	–	–	–	0.2	1
		Axe de rotation	–	–	–	3.5	0.2
		Arbre de transmission	–	–	–	2	0.8
	Poulie lie au plan (1, 2, 3, 4, 5)	C1=C2	–	–	–	0.2	1
		C3	–	–	–	0.6	0.5
		Axe de rotation	–	–	–	1.2	0.5
	Fil		–	–	–		0.06
Système rails à guidage	rails (R1=R2)		–	–	–	31.5	0.5
	Piliers (B1, B2, B3, B4)		1	5	1	–	–
Support de la feuille			28	31.5	0.4	–	–
<b>Le chariot</b>			28	0.8	3.8	–	–
Le système		L'enveloppe de moteur	–	–	–	3.4	1.1



bloc	Moteur	Arbre de moteur	–	–	–	3.1	0.4
moteur	Bloc		3.1	3	2.3	–	–
Le système poulies et fil	Les Poulies lie au chariot (6, 7, 8)	C1=C2	–	–	–	0.2	1
		C3	–	–	–	0.6	0.5
		Axe de rotation pour la poulie (6, 7)	–	–	–	2	0.15
		Axe de rotation pour la poulie 8	–	–	–	1.2	0.15
	La Poulie lie au moteur (9)	C1=C2	–	–	–	0.2	1.3
		C3	–	–	–	0.2	0.9
	Fil		–	–	–		0.06
Système support de plume	Bloc de support		4	1.8	3.3	–	–
	La Plume		–	–	–	0.3	0.6
	Rail à guidage		–	–	–	24.7	0.6

**Tab III.1.** Composants utilisés et leurs dimensions

### III.5 Conclusion :

Dans ce troisième chapitre, nous avons réalisé une table traçante virtuelle à l'aide du logiciel V-Realm Builder en se basant sur la représentation physique du système.

Pour obtenir le produit final, on a divisé notre conception en deux éléments principaux : le plan et le chariot, sur lesquels on a réalisé les éléments secondaires tel que les poulies, les moteurs, le fil... la combinaison de ses éléments nous donne la vue générale de la table traçante.

## **Chapitre IV**

**« Table traçante : Model dynamique et régulation RST »**

#### IV.1 Introduction :

La modélisation des systèmes de positionnement s'avère nécessaire et primordiale pour l'étude théorique en vue de simulation ou de commande.

La modélisation est la description mathématique d'un processus technique, cette description mathématique se fait normalement par des équations différentielles ou des fonctions de transferts et donne les relations entre les grandeurs d'entrée et les grandeurs de sortie d'un système [9].

Le but de ce chapitre est la modélisation de la table traçante que nous utiliserons comme modèle de commande dans le chapitre suivant afin de concevoir des architectures de contrôle.

#### IV.2 Architecture globale du système de positionnement (table traçante IF2400) :

La table traçante IF2400 est constituée de trois axes orthogonaux X, Y et Z. Pour les deux axes X (le chariot) et Y (support de plume), la motorisation est réalisée par des moteurs à courant continu. L'entraînement se fait directement par un réducteur de vitesse. La transformation du mouvement rotatif en mouvement de translation est assurée par un système du type poulie-fil. Les capteurs de position utilisés sont de type résistives (potentiomètres linéaires). Le mouvement selon l'axe Z (le port de plume) est assuré par un électro-aimant (donc deux position : haut et bas).

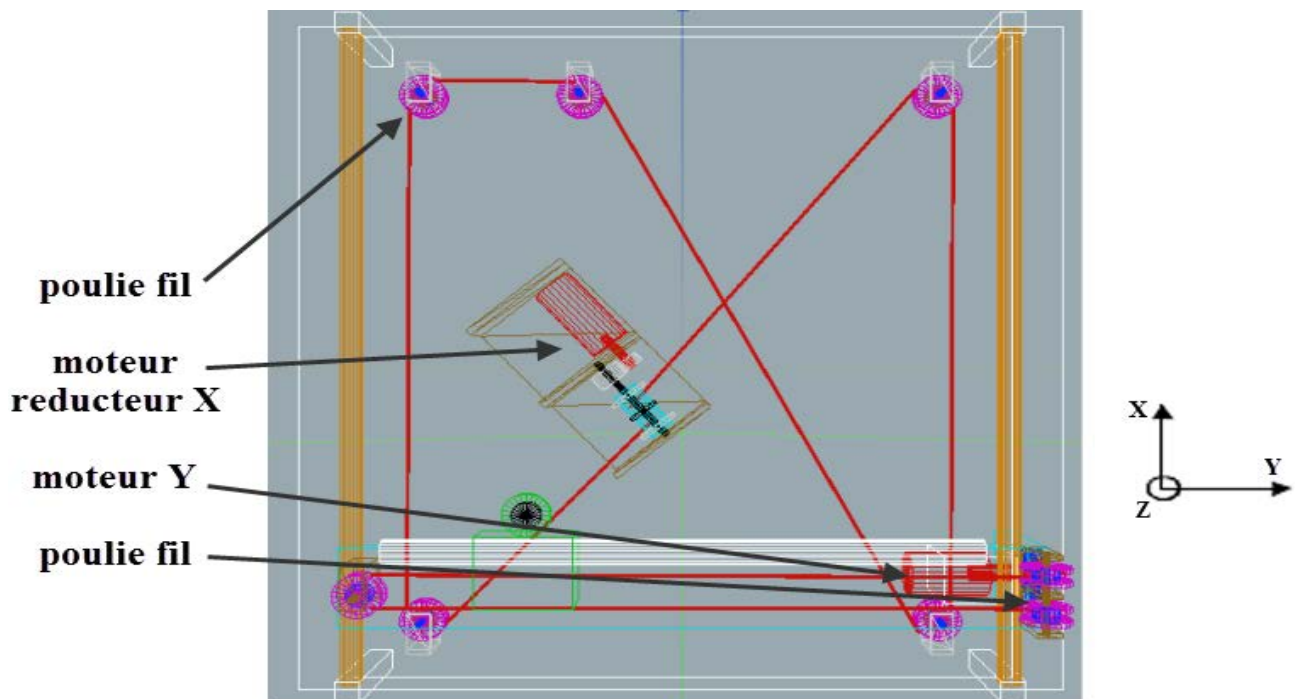


Figure IV.1. Architecture globale de la table traçante IF2400.

### **IV.3 Modélisation du système de positionnement :**

Pour concevoir, simuler ou commander un système de positionnement, il est nécessaire de disposer d'un modèle du mécanisme. Plusieurs niveaux de modélisation sont utilisés.

#### **IV.3.1 Modélisation géométrique :**

Dans la modélisation géométrique, on s'intéresse à la configuration géométrique du système sans tenir compte des forces qui le provoque. La géométrie du système est donnée par ses paramètres géométriques : positions et orientations de ses composants.

La modélisation des systèmes de positionnement de façon systématique exige une méthode adéquate pour la description de leurs structures. Plusieurs méthodes et notations ont été proposées tel que : la convention de Denavit-Hartenberg (D-H) et celle de Khalil-Kleinfinger (K-K). Ces méthodes sont les plus utilisées en système de positionnement pour la définition de l'orientation et de la position des différents éléments d'un système mécanique articulé [10].

#### **IV.3.2 Modélisation cinématique :**

Le modèle cinématique est, littéralement, un modèle des vitesses. Il exprime les relations entre les vitesses articulaires de chaque articulation et les vitesses cartésiennes d'un point de la chaîne cinématique. Ce modèle est donc un modèle par accroissement élémentaires : chaque variation élémentaire de la grandeur d'une articulation implique une variation de position de l'organe terminale et inversement [11].

Lorsque ces variations infinitésimales sont exprimés par rapport au temps on peut les considérés comme des vitesses.

Le modèle cinématique permet donc non seulement de compléter éventuellement le modèle géométrique en tenant compte des vitesses, mais aussi de remplacer le modèle géométrique. En agissant par accroissements successifs, on peut se déplacer d'un point donné à un autre.

#### **IV.3.3 Modèle dynamique :**

Afin de pouvoir commander ou simuler les systèmes de positionnement, il est nécessaire d'établir le modèle dynamique du système, c'est-à-dire les équations liant les couples et les forces exercées par les actionneurs et ceux dues aux interactions avec

l'environnement aux déplacements des axes. On obtient ainsi un système d'équations différentielles non linaires [11].

L'ensemble des équations dynamiques peuvent être déterminées à partir des lois de la mécanique classique newtonienne ou lagrangienne. Les approches d'Euler-Lagrange et de Newton-Euler permettent d'aboutir aux équations du mouvement du système de positionnement.

#### IV.4 Modèle dynamique de la table traçante :

La table traçante qu'on a étudié précédemment est un système de positionnement à trois degrés de liberté avec trois articulations prismatique effectuant uniquement des mouvements de translation. La figure suivante montre la configuration de ce système.

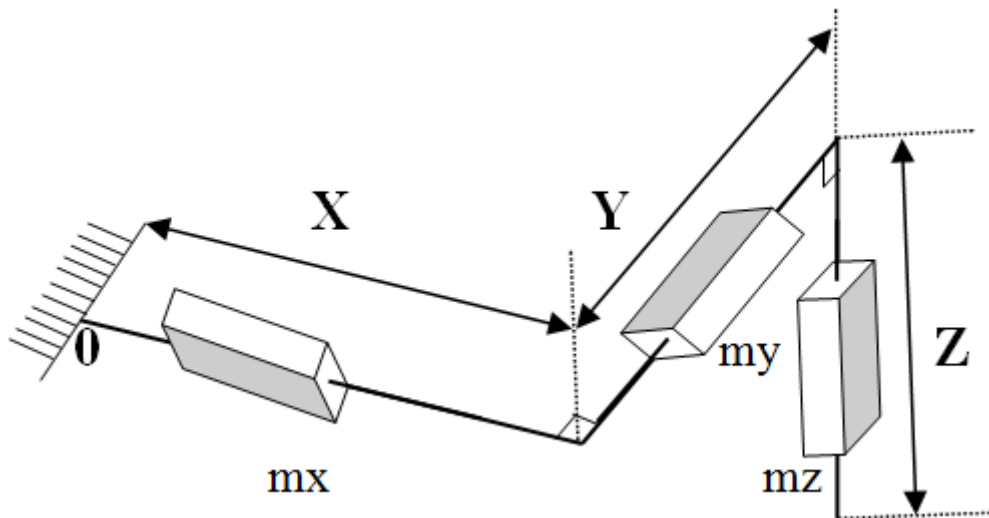


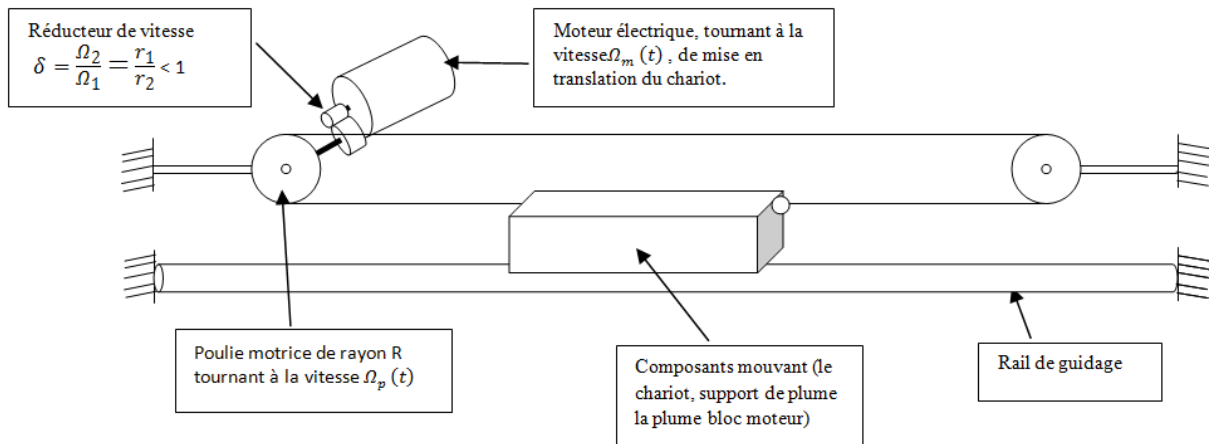
Figure IV.2. Système de positionnement à trois degré liberté.

Les corps de la table traçante sont parfaitement rigides et les articulations sont sans jeux, sans élasticité.

Donc pour la modélisation dynamique on peut considérer que cette table comporte trois sous-système indépendants l'un de l'autre.

##### IV.4.1 Le premier sous-système (selon la l'axe X):

Il est composé d'un moteur à courant continu Mx qui fournit une énergie mécanique rotative, un réducteur de vitesse pour adapter la vitesse, et un système poulies fil qui a pour rôle de transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation. Ainsi le chariot a un mouvement de translation suivant l'axe X.



**Figure IV.3.** Schéma symbolique du premier sous système.

- Le modèle du moteur à courant continu à alimentation séparée est donné par les équations suivantes :

$$V(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t) \quad (\text{IV.1})$$

$$\Gamma_m(t) = Ki(t) \quad (\text{IV.2})$$

$$\Gamma_m(t) = J \frac{d\Omega_m(t)}{dt} + \Gamma_r(t) + f_m \Omega_m(t) \quad (\text{IV.3})$$

$$e(t) = K\Omega_m(t) \quad (\text{IV.4})$$

Avec :

$V(t)$  : La tension d'alimentation (entrée) (en volts).

$\Omega_m(t)$  : La vitesse de rotation du moteur (en rd/s).

$\Gamma_m(t)$  : Le couple électromagnétique développé par le moteur (en Nm).

$e(t)$  : La force électromotrice (en volts).

$\Gamma_r(t)$  : Le couple résistant appliqué sur l'arbre du moteur.

$R, L$  : La résistance (en  $\Omega$ ) et l'inductance (en H) de l'induit du moteur.

$K$  : Constante du moteur.

$J$  : Le moment d'inertie du moteur.

$f_m$  : Le coefficient de frottement du moteur.

- Le réducteur de vitesse a les paramètres suivants :

$r_1$  : Rayon coté primaire (coté moteur).

$r_2$  : Rayon coté secondaire (coté chariot).

- La relation entre la vitesse  $\Omega_1$  (coté primaire) et  $\Omega_2$  (coté secondaire) est donnée par

$$\frac{\Omega_2}{\Omega_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad , \quad \text{ou} \quad (\Omega_1 r_1 = \Omega_2 r_2) \quad \text{(IV.5)}$$

C'est-à-dire l'égalité des vitesses linéaires et secondaires (pas de glissement). De plus, le réducteur considéré parfait, ne dissipe pas d'énergie, donc la puissance du coté primaire égale la puissance du coté secondaire ( $P_1 = P_2$ ), et puisque.

$$P_i = \Gamma_i \Omega_i \quad , \quad i=1, 2 \quad \text{(IV.6)}$$

On tire:

$$\Gamma_1 \Omega_1 = \Gamma_2 \Omega_2 \quad \text{(IV.7)}$$

$$\Gamma_1 = \frac{\Omega_2}{\Omega_1} \Gamma_2 = \frac{r_1}{r_2} \Gamma_2 \quad \text{(IV.8)}$$

Et pour  $\Gamma_1 = \Gamma_r$  ,  $\Omega_1 = \Omega_m$  on aura :

$$\Gamma_r = \frac{r_1}{r_2} \Gamma_2 \quad \text{(IV.9)}$$

$$\Omega_2 = \frac{r_1}{r_2} \Omega_m \quad \text{(IV.10)}$$

$\Gamma_2$  est le couple résistant du coté secondaire, il est donnée par

$$\Gamma_2 = F r_2 \quad \text{(IV.11)}$$

Ou F est la force appliquée sur le chariot.

- L'application de la relation fondamentale de la dynamique au chariot, nous donne :

$$F = m_x \frac{d^2x(t)}{dt^2} + f \frac{dx(t)}{dt} \quad \text{(IV.12)}$$

Avec :

$F$  : La force appliquée au chariot.

$x(t)$  : Le déplacement selon l'axe X.

$m_x$  : La masse totale du chariot selon l'axe X.

$f$  : Le coefficient de frottement du chariot (à cause du système de guidage).

Ici, il n'y a pas l'effet de la pesanteur (la gravité), car l'axe X est horizontal.

- La vitesse de déplacement selon X est donnée par

$$\frac{dx}{dt} = r_2 \Omega_2 \quad (\text{IV.13})$$

- Les poulies sont considérées parfaites et leurs inerties faibles et négligeables.
- A partir des équations (IV.9), (IV.10), (IV.11), (IV.12) et (IV.13), on tire :

$$\Gamma_r(t) = r_1^2 f \Omega_m(t) + m_x r_1^2 \frac{d\Omega_m(t)}{dt} \quad (\text{IV.14})$$

En remplaçant (IV.14) dans (IV.13), on trouve :

$$\Gamma_m(t) = J \frac{d\Omega_m(t)}{dt} + r_1^2 f \Omega_m(t) + m_x r_1^2 \frac{d\Omega_m(t)}{dt} + f_m \Omega_m(t)$$

$$\Gamma_m(t) = (J + m_x r_1^2) \frac{d\Omega_m(t)}{dt} + (r_1^2 f + f_m) \Omega_m(t)$$

On pose :

$$J_{tot} = J + m_x r_1^2, \quad f_{tot} = r_1^2 f + f_m$$

On aura finalement :

$$\Gamma_m(t) = J_{tot} \frac{d\Omega_m(t)}{dt} + f_{tot} \Omega_m(t) \quad (\text{IV.15})$$

On aura le système d'équation :



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{L}(-Ri(t) - K\Omega_m(t) + V(t)) \\ \frac{d\Omega_m(t)}{dt} = \frac{1}{J_{tot}}(-f_{tot}\Omega_m(t) + Ki(t)) \\ \frac{dX(t)}{dt} = r_1 \Omega_m(t) \end{array} \right. \quad (IV.16)$$

X est la sortie du système.

Sous forme matricielle, on a :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i(t) \\ \Omega_m(t) \\ x(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K}{L} & 0 \\ \frac{K}{J_{tot}} & -\frac{f_{tot}}{J_{tot}} & 0 \\ 0 & r_1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i(t) \\ \Omega_m(t) \\ x(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} V(t) \\ X(t) = [0 \quad 0 \quad 1] \begin{bmatrix} i(t) \\ \Omega_m(t) \\ x(t) \end{bmatrix} \end{array} \right. \quad (IV.17)$$

On pose :

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K}{L} & 0 \\ \frac{K}{J_{tot}} & -\frac{f_{tot}}{J_{tot}} & 0 \\ 0 & r_1 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{et} \quad C = [0 \quad 0 \quad 1]$$

La fonction de transfert du système est donnée par :

$$H_x(P) = C(PI - A)^{-1}B \quad (IV.18)$$

$$H_x(P) = [0 \quad 0 \quad 1] \begin{bmatrix} P + \frac{R}{L} & \frac{K}{L} & 0 \\ -\frac{K}{J_{tot}} & P + \frac{f_{tot}}{J_{tot}} & 0 \\ 0 & -r_1 & P \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (IV.19)$$

On a :

$$\begin{bmatrix} P + \frac{R}{L} & \frac{K}{L} & 0 \\ -\frac{K}{J_{tot}} & P + \frac{f_{tot}}{J_{tot}} & 0 \\ 0 & -r_1 & P \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{P \begin{bmatrix} P + \frac{R}{L} & \frac{K}{L} \\ -\frac{K}{J_{tot}} & P + \frac{f_{tot}}{J_{tot}} \end{bmatrix}} \begin{bmatrix} P(P + \frac{f_{tot}}{J_{tot}}) & P(\frac{K}{J_{tot}}) & \frac{r_1 K}{J_{tot}} \\ P \frac{K}{L} & -P(P + \frac{R}{L}) & r_1(P + \frac{R}{L}) \\ 0 & 0 & (P + \frac{R}{L})(P + \frac{f_{tot}}{J_{tot}}) + \frac{K^2}{LJ_{tot}} \end{bmatrix}^T \quad (IV.20)$$

On remplace (IV.20) dans (IV.19), on trouve

$$H_x(P) = \frac{1}{P \left[ (P + \frac{R}{L})(P + \frac{f_{tot}}{J_{tot}}) + \frac{K^2}{LJ_{tot}} \right]} \begin{bmatrix} P(P + \frac{f_{tot}}{J_{tot}}) & P(\frac{K}{J_{tot}}) & \frac{r_1 K}{J_{tot}} \\ P \frac{K}{L} & -P(P + \frac{R}{L}) & r_1(P + \frac{R}{L}) \\ 0 & 0 & (P + \frac{R}{L})(P + \frac{f_{tot}}{J_{tot}}) + \frac{K^2}{LJ_{tot}} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1}{L} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

On obtient à la fin la fonction du système selon l'axe X

$$H_x(P) = \frac{\frac{r_1 K}{L J_{tot}}}{P \left[ (P + \frac{R}{L})(P + \frac{f_{tot}}{J_{tot}}) + \frac{K^2}{LJ_{tot}} \right]} = \frac{K r_1}{P [(LP + R)(J_{tot}P + f_{tot}) + K^2]} \quad (IV.21)$$

$$H_x(P) = \frac{\frac{r_1 k}{R f_{tot} + k^2}}{P \left[ \frac{L J_{tot}}{R f_{tot} + k^2} P^2 + \frac{J_{tot} (R + L \frac{f_{tot}}{J_{tot}})}{R f_{tot} + k^2} P + 1 \right]} \quad (IV.22)$$

On pose :

$$\tau_m = \frac{J_{tot} \left( R + L \frac{f_{tot}}{J_{tot}} \right)}{R f_{tot} + k^2}, \tau_e = \frac{L}{R + L \frac{f_{tot}}{J_{tot}}}$$

$$k_v = \frac{r_1 k}{R f_{tot} + k^2}$$

Sachant que :

$\tau_m$  : représente la constante de temps mécanique.

$\tau_e$  : représente la constante de temps électrique.

On obtient :

$$H_x(P) = \frac{k_v}{P[\tau_m \tau_e P^2 + \tau_m P + 1]} \quad (IV.23)$$

Sachant que :  $\tau_e$  est plus faible que  $\tau_m$

Donc la fonction de transfert du système selon X est:

$$H_x(P) = \frac{k_v}{P(\tau_m P + 1)} \quad (IV.24)$$

Ainsi le diagramme fonctionnel du premier sous système est :

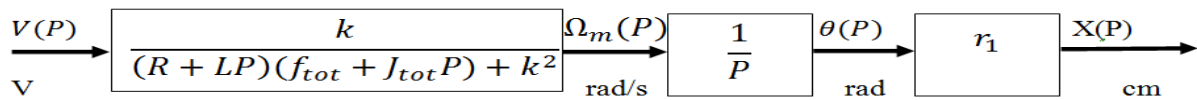


Figure IV.4. Le diagramme fonctionnel du premier sous-système.

**Application :**

Notre système possède les caractéristiques suivantes :

$$K_v = 10 \text{ cm/s/V, et } \tau_m = 15 \text{ ms}$$

La fonction de transfert pour l'articulation selon X est :

$$H_x(P) = \frac{10}{0.015P^2 + P} \quad (IV.25)$$

**IV.4.2 Le deuxième sous-système (selon la l'axe Y):**

Il est composé d'un moteur à courant continu (My) qui fournit une énergie mécanique rotative, et un système poulies-fil, a un rôle de transformer le mouvement de rotation en mouvement de translation. Ainsi le support de plume a un mouvement de translation suivant l'axe de Y.

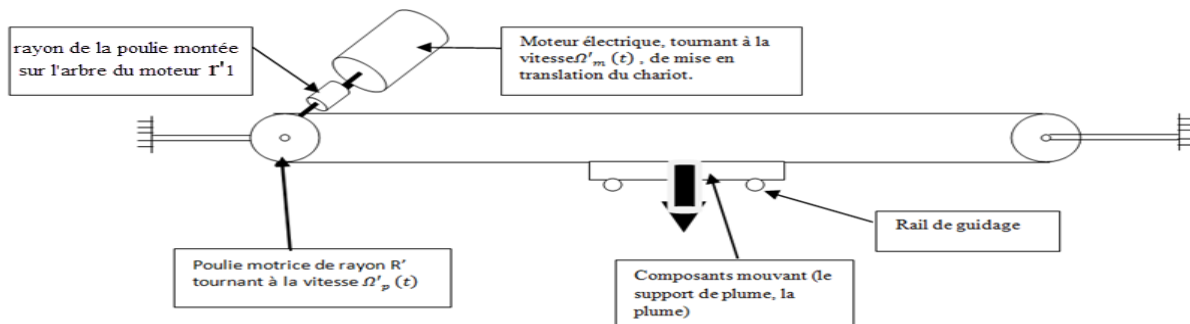
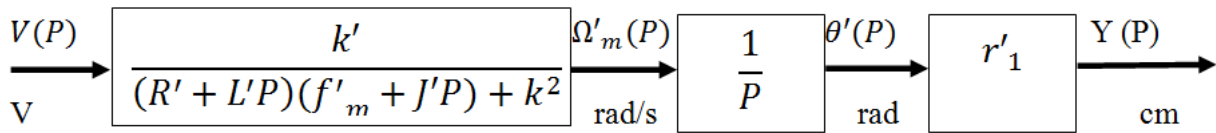


Figure IV.5. Schéma symbolique du deuxième sous système.

Pour calculer la fonction de transfert du deuxième sous système, on procède de la même manière que le premier sous système, sauf pour ce système la masse  $m_Y$  est négligeable. Ainsi on obtient la fonction de transfert du deuxième sous système suivante :

$$H_y(P) = \frac{k'_v}{P(\tau'_m P + 1)} \quad (\text{IV.26})$$

Ainsi le diagramme fonctionnel :



**Figure IV.6.** Le diagramme fonctionnel du deuxième sous-système.

**Application :**

Le deuxième sous système possède les caractéristiques suivantes :

- On prend  $K'_v = 7 \text{ cm/s/V}$ , et  $\tau'_m = 7 \text{ ms}$

La fonction de transfert pour l'articulation selon Y est :

$$H_Y(P) = \frac{7}{0.007P^2 + P} \quad (\text{IV.27})$$

**IV.4.3 Le troisième sous-système (selon l'axe Z):**

Le troisième sous-système est commandé par un électro-aimant. Le porte plume peut prendre seulement deux positions (haute et basse)

**IV.5 Synthèse du régulateur RST numérique :**

Un régulateur est le composant d'une chaîne de régulation ou d'asservissement dont la grandeur d'entrée et la différence algébrique, appelé écart, entre une grandeur contrôlée  $y(t)$  et une grandeur de consigne  $x(t)$ .

On a :  $e(t) = x(t) - y(t)$

**IV.5.1 Définition :**

Le régulateur RST est un algorithme plus sophistiqué tirant profit des ressources numériques à disposition. Sa synthèse est purement algébrique, elle peut directement être formalisée en un algorithme [12].

L'intérêt de cette structure particulière est de séparer (découpler) les comportements dynamique vis-à-vis de la consigne et des perturbations éventuelles.

Le calcul de ce régulateur peut se faire directement avec Matlab.

#### IV.5.2 Démarche à suivre :

La loi de commande est issue de la structure de l'asservissement :

$$R(z) U(z) = T(z) Y_c(z) - S(z) Y(z) \quad (\text{IV.28})$$

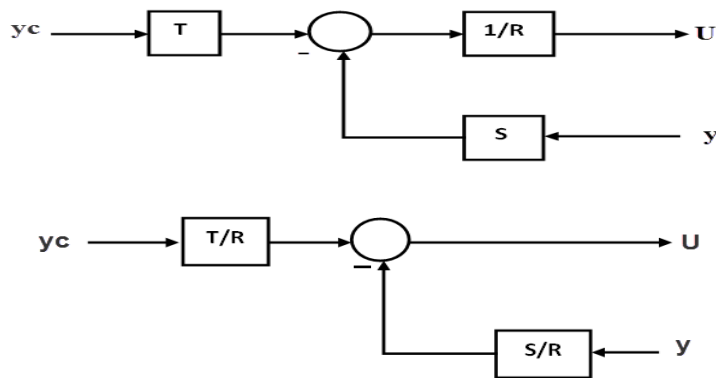


Figure IV.7. Schéma de la loi de commande.

Le modèle en boucle fermée qu'on se propose d'atteindre :

$$H_m(z) = \frac{B_m(z)}{A_m(z)} \quad (\text{IV.29})$$

La fonction de transfert en boucle fermée est donnée par :

$$H(z) = \frac{Y(z)}{Y_c(z)} = \frac{T(z)B(z)}{A(z)R(z) + B(z)S(z)} \quad (\text{IV.30})$$

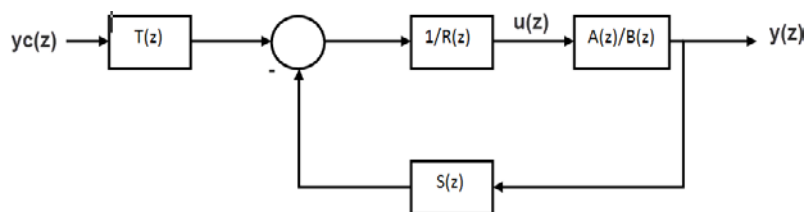


Figure IV.8. Fonction de transfert en boucle fermée.

On cherche à calculer les polynômes  $R(z)$ ,  $T(z)$  et  $S(z)$  pour que  $H(z)$  soit conforme au modèle imposé  $H_m(z)$ .

Le dimensionnement est résumé dans le tableau suivant :

<p><b>Données</b></p> <p><math>A(z)</math> et <math>B(z)</math></p>
<p><b>Spécifications</b></p> <p><math>A_m(z)</math>, <math>B_m(z)</math> et <math>A_0(z)</math></p>
<p><b>Condition</b></p> <p><math>A(z)</math> et <math>B(z)</math> n'ont aucun facteur commun</p> <p>Les zéros de <math>B^-(z)</math> appartiennent à la région stable</p> $B_m(z) = B^-(z)B'_m(z)$ $\delta A_m - \delta B_m \geq \delta A - \delta B$ $\delta A_0 \geq 2\delta A - \delta A_m + \ell - 1$ $\delta R = \delta A_m + \delta A_0 - \delta A - \ell$ $\delta S = \delta A + \ell - 1$
<p><b>Étape 1</b></p> <p>Effectue la factorisation <math>B(z) = B^+(z)B^-(z)</math></p>
<p><b>Étape 2</b></p> <p>Résoudre <math>A(z)R(z) + B(z)S(z) = A_m(z)A_0(z)</math></p>
<p><b>Étape 3</b></p> <p>Calculer <math>R(z) = (z - 1)^\ell R_1(z)</math> et <math>T(z) = B'_m(z)A_0(z)</math></p>

**Tableau IV.1.** Synthèse du régulateur RST sans intégrateur dans le cas où il n'y a pas simplification de zéro du processus à régler.

**IV.5.3 Dimensionnement des régulateurs RST sans intégrateurs et sans simplification des zéros :**

La synthèse du régulateur RST consiste à déterminer les polynômes  $S(z)$ ,  $R(z)$ , et  $T(z)$ .

**A. Premier sous-système (selon l'axe X) :**

On a la fonction de transfert du premier sous-système mouvant selon l'axe X :

$$H_X(P) = \frac{10}{0.015P^2+P} \quad (IV.31)$$

Après la discrétisation de la fonction  $H_X(P)$  avec une période d'échantillonnage  $T_e=0.01s$  on obtient :

$$H_X(z) = \frac{0.02701 z + 0.02165}{z^2 - 1.513z + 0.513} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (IV.32)$$

$H_X(z)$  Représente la fonction de transfert échantillonnée du processus à réglé.

Le modèle à poursuivre est :

$$H_m(z) = \frac{B_m(z)}{A_m(z)} \quad (IV.33)$$

On pose :

$$\begin{cases} B(z) = 0.02701 z + 0.02165 = B(z)^- B(z)^+ \\ B(z)^+ = 1 \\ B(z)^- = 0.02701 z + 0.02165 \end{cases} \quad (IV.34)$$

Et  $H_m(z)$  est prise comme suite :

$$H_m(z) = \frac{B^-(z) \frac{P(1)}{B^-(1)}}{z^d P(z)} \quad (IV.35)$$

$$A_m(z) = z^d P(z) \quad (IV.36)$$

$$B'_m(z) = \frac{P(1)}{B^-(1)} = \frac{0.55}{0.04866} = 11.3 \quad (IV.37)$$

$$B_m(z) = B^-(z) B'_m(z) = 0.3z + 0.2446 \quad (IV.38)$$

$$P(z) = z + c \quad (IV.39)$$

$$A(z) = (z^2 - 1.513z + 0.513), \delta B_m = 1 \quad A_0(z) = z^d, l = 0 \text{ (nombre d'intégrateurs)}$$

$c = -0.45$  (Le pole à imposé)

$P(1) = 0.55, \delta B = 1 ; \delta A = 2.$

$$\delta A_m \geq \delta A - \delta B - \delta B_m \quad (\text{IV.40})$$

$$\delta A_m = \delta A = 2$$

$$\delta A_0 \geq 2\delta A - \delta A_m + l - 1 \quad (\text{IV.41})$$

$$\delta A_0 = 1$$

$d = 1$  Car  $\delta A_m = 2$

$$P(z) = z - 0.45 ; A_0(z) = z$$

$$A_m(z) = A_0(z)P(z) = z(z - 0.45) \quad (\text{IV.42})$$

$$\delta S \geq \delta A + l - 1 = 1$$

$$\delta R = \delta A_m + \delta A_0 - \delta A - \ell = 1$$

Donc on obtient :

$$\begin{cases} S(z) = s_1 z + s_0 \\ R_1(z) = z + r_0 \end{cases} \quad (\text{IV.43})$$

Le modèle :

$$Hm(z) = \frac{Bm(z)}{Am(z)} = \frac{0.3z + 0.2446}{z(z - 0.45)} \quad (\text{IV.44})$$

Équation de Diophante :

$$A(z)R(z) + B(z)S(z) = A_m(z)A_0(z) \quad (\text{IV.45})$$

$$(z^2 - 1.513z + 0.513)(z + r_0) + (0.02701 z + 0.02165)(s_1 z + s_0) = z(z - 0.45) \quad (\text{IV.46})$$

En résolvant l'équation de Diophante, on aura les paramètres suivants :

$$s_1 = 22.2504 \text{ et } s_0 = -10.9475$$

Donc 
$$S(z) = 22.2504z - 10.9475 \quad (\text{IV.47})$$

De plus  $r_0 = 0.462$ ,  $R_1(z) = z + r_0$ , conduit à :

$$R(z) = (z - 1)^l R_1(z) = z + 0.462 \quad (\text{IV.48})$$



De même pour  $T(z)$ , on trouve

$$T(z) = B'_m(z)A_0(z) = \frac{P(1)}{B^-(1)}z \quad (IV.49)$$

$$T(z) = 11.3z \quad (IV.50)$$

La loi de commande est donnée par :

$$U_X(z) = \frac{T(z)}{R(z)}Yc - \frac{S(z)}{R(z)}Y = \frac{11.3z}{z+0.462}Yc - \frac{22.2504z-10.9475}{z+0.462}Y \quad (IV.51)$$

$$U_X[n] = 11.3Y_C[n] - 22.2504Y[n] + 10.9475Y[n - 1] - 0.462U[n - 1] \quad (IV.52)$$

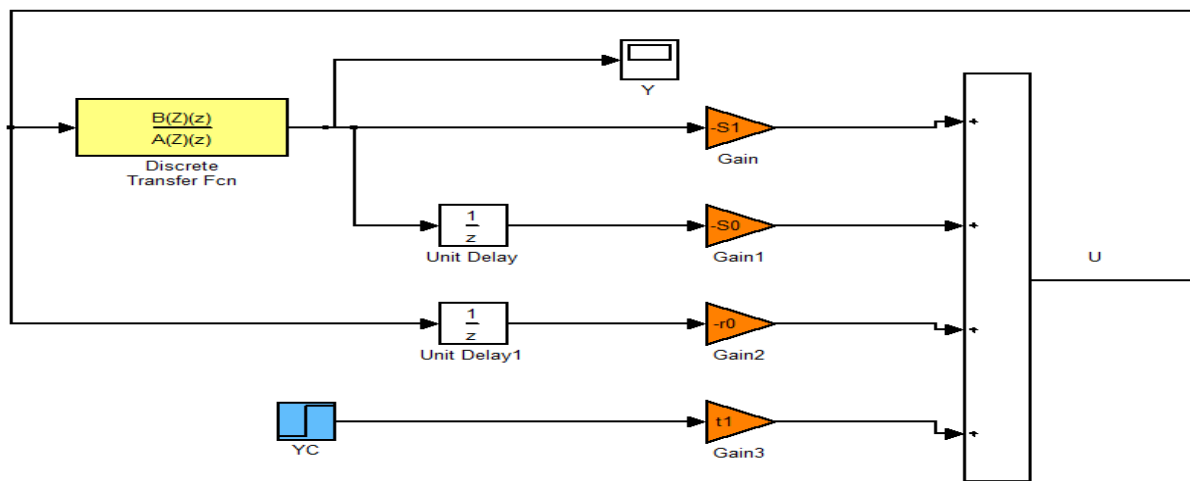


Figure IV.9. Schéma bloc du régulateur RST selon l'axe X

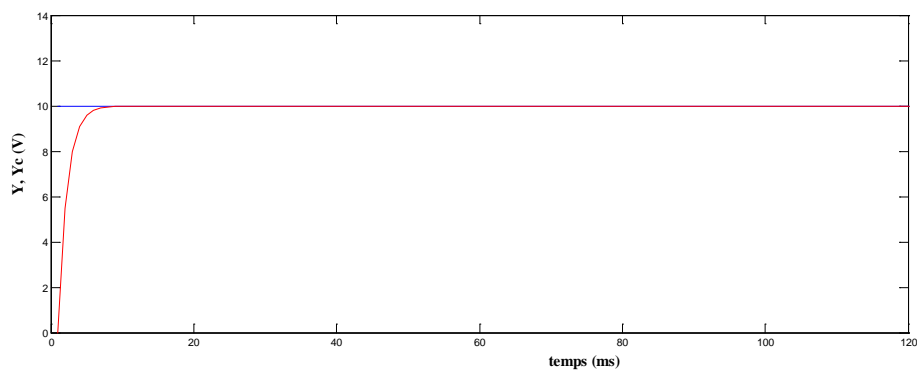


Figure IV.10. Simulation du régulateur RST selon l'axe X

### B. Deuxième sous-système (selon l'axe Y) :

On a la fonction de transfert du sous système mouvant selon l'axe Y

$$H_Y(P) = \frac{7}{0.007P^2+P} \quad (IV.53)$$

Après la discrétisation de la fonction  $H_Y(P)$  avec une période d'échantillonnage  $T_e=0.01s$  on obtient :

$$H_Y(z) = \frac{0.03274 z + 0.02048}{z^2 - 1.24z + 0.24} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (IV.54)$$

$H_X(z)$  Représente la fonction de transfert échantillonnée du processus à réglé.

Le modèle à poursuivre est :

$$H_m(z) = \frac{B_m(z)}{A_m(z)} \quad (IV.55)$$

On pose :

$$\left\{ \begin{array}{l} B(z) = 0.03274 z + 0.02048 = B(z)^- B(z)^+ \\ B(z)^+ = 1 \\ B(z)^- = 0.03274 z + 0.02048 \end{array} \right. \quad (IV.56)$$

Et  $H_m(z)$  est prise comme suite :

$$H_m(z) = \frac{B^-(z) \frac{P(1)}{B^-(1)}}{z^d P(z)} \quad (IV.57)$$

$$A_m(z) = z^d P(z) \quad (IV.58)$$

$$B'_m(z) = \frac{P(1)}{B^-(1)} = \frac{0.55}{0.053} = 10.33 \quad (IV.59)$$

$$B_m(z) = B^-(z) B'_m(z) = 0.338z + 0.211 \quad (IV.60)$$

$$P(z) = z + c \quad (IV.61)$$

$$A(z) = (z^2 - 1.24z + 0.24), \delta B_m = 1, A_0(z) = z^d, \quad l = 0 \text{ (nombre d'intégrateurs)}$$

$$c = -0.45 \text{ (Le pole à imposé)}$$

$$P(1) = 0.55, \delta B = 1; \delta A = 2.$$

$$\delta A_m \geq \delta A - \delta B - \delta B_m \quad (IV.62)$$

$$\delta A_m = \delta A = 2$$

$$\delta A_0 \geq 2\delta A - \delta A_m + l - 1 \quad (IV.63)$$

$$\delta A_0 = 1$$

$$d = 1 \text{ Car } \delta A_m = 2$$

$$P(z) = z - 0.45 ; A_0(z) = z$$

$$A_m(z) = A_0(z)P(z) = z(z - 0.45) \quad (\text{IV.64})$$

$$\delta S \geq \delta A + l - 1 = 1$$

$$\delta R = \delta A_m + \delta A_0 - \delta A - \ell = 1$$

$$\text{Donc on obtient : } \begin{cases} S(z) = s_1 z + s_0 \\ R_1(z) = z + r_0 \end{cases} \quad (\text{IV.65})$$

Le modèle :

$$Hm(z) = \frac{Bm(z)}{Am(z)} = \frac{0.338z + 0.211}{z(z - 0.45)} \quad (\text{IV.66})$$

Équation de Diophante :

$$A(z)R(z) + B(z)S(z) = A_m(z)A_0(z) \quad (\text{IV.67})$$

$$(z^2 - 1.24z + 0.24)(z + r_0) + (0.03274z + 0.02048)(s_1 z + s_0) = z(z - 0.45) \quad (\text{IV.68})$$

En résolvant l'équation de Diophante, on aura les paramètres suivants :

$$s_1 = 14.1596 \text{ et } s_0 = -3.8252$$

$$\text{Donc} \quad S(z) = 14.1596z - 3.8252 \quad (\text{IV.69})$$

De plus  $r_0 = 0.3264$ ,  $R_1(z) = z + r_0$ , conduit à :

$$R(z) = (z - 1)^l R_1(z) = z + 0.3264 \quad (\text{IV.70})$$

De même pour  $T(z)$ , on trouve

$$T(z) = B'_m(z)A_0(z) = \frac{P(1)}{B^-(1)} z \quad (\text{IV.71})$$

$$T(z) = 10.33z \quad (\text{IV.72})$$

La loi de commande est donnée par :

$$U_Y(z) = \frac{T(z)}{R(z)} Y_C - \frac{S(z)}{R(z)} Y = \frac{10.33z}{(z+0.3264)} Y_C - \frac{14.1596z-3.8252}{(z+0.3264)} Y \quad (IV.73)$$

$$U_Y[n] = 10.33Y_C[n] - 14.1596Y[n] + 3.8252Y[n-1] - 0.3264U[n-1] \quad (IV.74)$$

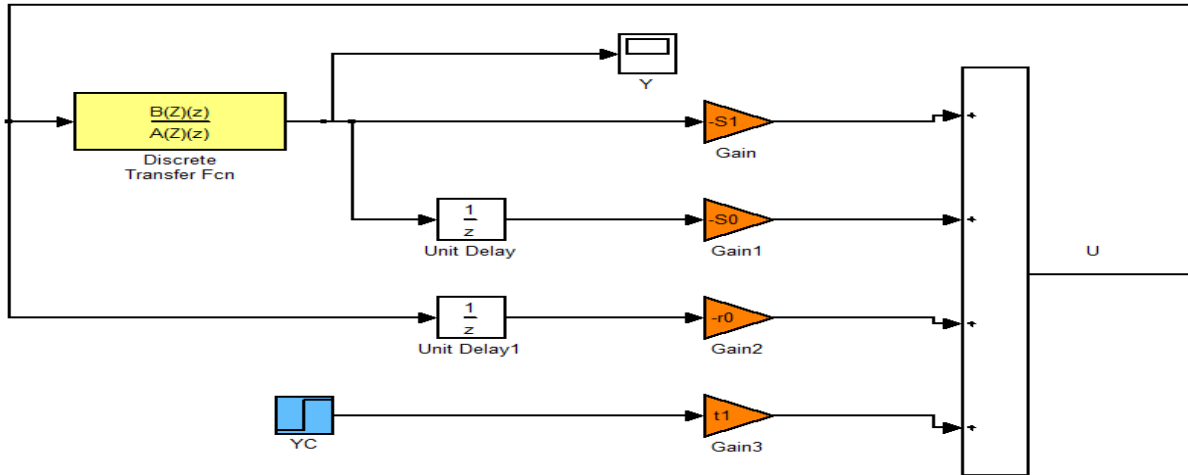


Figure IV.11. Schéma bloc du régulateur RST selon l'axe Y

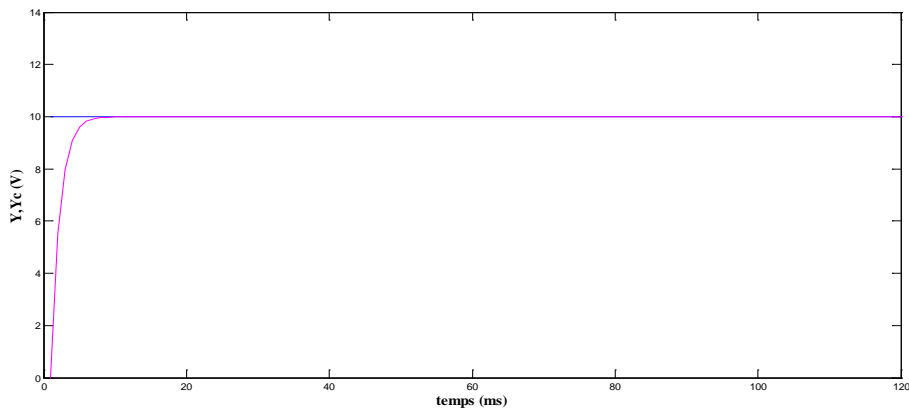


Figure IV.12. Simulation du régulateur RST selon l'axe Y.

#### IV.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté quelque généralité sur le système de positionnement et les différents types de modalisation (modèle géométrique, modèle cinématique et modèle dynamique).

Une application du modèle dynamique sur la table traçante a trois ddl nous a permis de modéliser chaque sous-système mouvant par une fonction de transfert.

Ensuite nous avons défini et synthétisé les algorithmes du régulateur RST avec intégrateur, après on a dimensionné ses différents polynômes ( $R(z)$ ,  $S(z)$ ,  $T(z)$ ) pour élaborer les lois de commande.

A la fin, nous avons effectué des tests pour vérifier l'efficacité du régulateur RST.

# **Chapitre V**

**« Génération de trajectoire »**

### **V.1 Introduction :**

La génération de trajectoire est une étape très importante pour les systèmes de positionnement. Elle consiste à donner les consignes de référence en position, en vitesse, et en accélération qui décrivent le mouvement désiré.

Cependant la trajectoire est l'évolution de la position, et ses dérivées temporelles en fonction du temps pour chacune des articulations.

Le mouvement le plus simple est d'aller d'un point initial à un point final, ce type de mouvement convient aux tâches de transfert d'objets quand l'espace de travail ne comporte aucun obstacle. Pour certaines raisons telle qu'éviter les obstacles, le chemin à suivre par l'élément terminal peut être contraint par l'addition de points intermédiaires aux configurations initiale et finale [13].

### **V.2 Génération de la trajectoire dans l'espace articulaire :**

La génération de mouvements dans l'espace articulaire applique à chaque articulation du système de positionnement une loi de mouvement dont les contraintes sont définies dans l'espace articulaire.

Dans le cas le plus fréquent où la durée du mouvement n'est pas imposée, chaque articulation a une durée propre de mouvement déduite de la satisfaction des contraintes cinématique ou dynamique. Il est alors nécessaire, dans une seconde étape, de synchroniser l'ensemble des articulations sur l'articulation maîtresse. À l'issue de leur synchronisation, les mouvements recalculés sont directement les consignes de commande [11].

### **V.3 Mouvement point à point et mouvement à trajectoire continue :**

De façon générale, la génération de mouvement construit la trajectoire de l'outil du robot à partir de la donnée de contraintes spatiales sous la forme de points intermédiaires qui sont soit de véritables points de passage, soit des points précisant les directions successives du mouvement grâce à la notion de polygone directeur. La génération de mouvement est alors envisagée selon deux modes [11]:

- Un mode "point à point" qui impose l'arrêt du robot à chaque point intermédiaire. Il est souvent associé à une génération de mouvement dans l'espace articulaire.
- Un mode "trajectoire continue" qui impose une continuité de la vitesse, il est souvent associé à une génération de mouvement dans l'espace opérationnel.

### V.3.1 Méthodes de bases :

Ces méthodes de base définissent le mouvement d'un point de départ  $x^d$  à un point d'arrivée  $x^a$  à l'aide d'une spline unique ou d'une composition de splines élémentaires qui définit soit un profil de vitesse spécifique, soit un profil d'accélération spécifique. Sachant que la vitesse est nulle aux points de départ et d'arrivée, la spline de plus faible degré assurant la continuité de la vitesse lors du mouvement est la spline cubique d'équation.

$$X(t) = at^3 + bt^2 + ct + d, 0 \leq t \leq T \quad (\text{V.1})$$

La variable T désigne la durée du mouvement, les quatre coefficients a, b, c, d sont déterminés à partir des quatre contraintes de définition de mouvement :

- Les contraintes initiales :

$$x(0) = x^d \quad (\text{V.2})$$

$$\dot{x}(0) = 0 \quad (\text{V.3})$$

- Les contraintes finales :

$$x(T) = x^a \quad (\text{V.4})$$

$$\dot{x}(T) = 0 \quad (\text{V.5})$$

En combinant les équations (V.2), (V.3), (V.4) et (V.5) on aura :

$$a = -2(x^a - x^d)/T^3 \quad (\text{V.6})$$

$$c=0 \quad (\text{V.7})$$

$$b = 3(x^a - x^d)/T^2 \quad (\text{V.8})$$

$$d = x^d \quad (\text{V.9})$$

Il résulte de ce calcul que la spline cubique a un maximum de vitesse et un maximum d'accélération en valeur absolue donnés par :

$$\dot{x}(t)_{max} = 3 |x^a - x^d| / 2T \quad (\text{V.10})$$

$$\ddot{x}(t)_{max} = 6 |x^a - x^d| / T^2 \quad (\text{V.11})$$



### V.3.2 Mouvement point à point à profil de vitesse trapézoïdal :

Si l'on souhaite disposer d'une phase de vitesse constante, on considère le profil trapézoïdale de vitesse qui modifie le profil d'accélération nulle en lui intégrant une phase d'accélération nulle. La loi de mouvement est composée de trois splines successive d'ordre 2, 1 et 2, dont on détermine les huit coefficients à partir des huit contraintes de position et de vitesse initiales. Le générateur de mouvement à profil trapézoïdal de vitesse est donné par le système suivant :

$$x(t) = \frac{x^a - x^d}{2\tau(T-\tau)} t^2 + x^d, \quad 0 \leq t \leq \tau \quad (V.12)$$

$$x(t) = \frac{x^a - x^d}{T-\tau} \left(t - \frac{\tau}{2}\right) + x^d, \quad \tau \leq t \leq T - \tau \quad (V.13)$$

$$x(t) = \frac{x^a - x^d}{2\tau(T-\tau)} (t - T)^2 + x^d, \quad T - \tau \leq t \leq T \quad (V.14)$$

La variable T désigne la durée totale du mouvement et  $\tau$  celle des phases d'accélération initiale et de freinage final.

Les expressions de vitesse et accélération maximales sont :

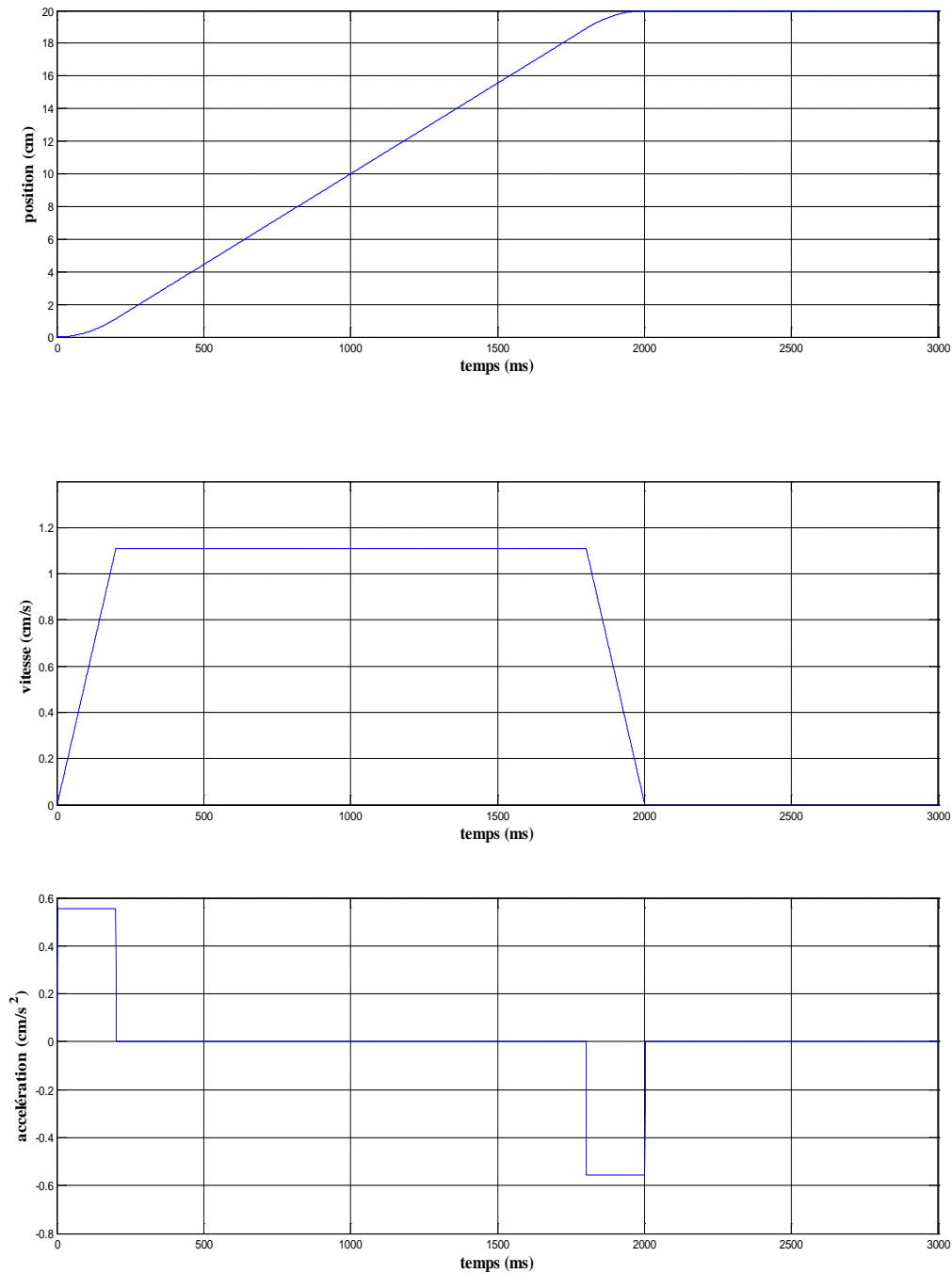
$$\dot{x}_{max} = \frac{|x^a - x^d|}{(T-\tau)} \quad (V.15)$$

$$\ddot{x}_{max} = \frac{|x^a - x^d|}{\tau(T-\tau)} \quad (V.16)$$

On détermine la durée optimale T réalisant la satisfaction des contraintes de vitesse  $\dot{x}_{max}$  et d'accélération  $\ddot{x}_{max}$  en considérant  $\tau$  et T comme deux variables indépendantes, qui permette d'assurer à la fois l'accélération  $\ddot{x}_{max}$  et la vitesse de croisière  $\dot{x}_{max}$  par les relations :

$$\tau = \frac{\dot{x}_{max}}{\ddot{x}_{max}} \quad (V.17)$$

$$T = \frac{(|x^a - x^d|)}{\dot{x}_{max}} + \tau \quad (V.18)$$



**Figure V.1.** Mouvement point à point à profil de vitesse trapézoïdal.

#### V.4 La génération des différentes trajectoires :

On utilise deux types de trajectoire de référence. Les trajectoires générées sont données dans le plan (X, Y). La translation selon l'articulation prismatique Z ne sera pas abordée puisque c'est juste une descente ou une montée de la plume. La table traçante a pour but de faire le balayage d'une feuille millimétrée de format **A4**.

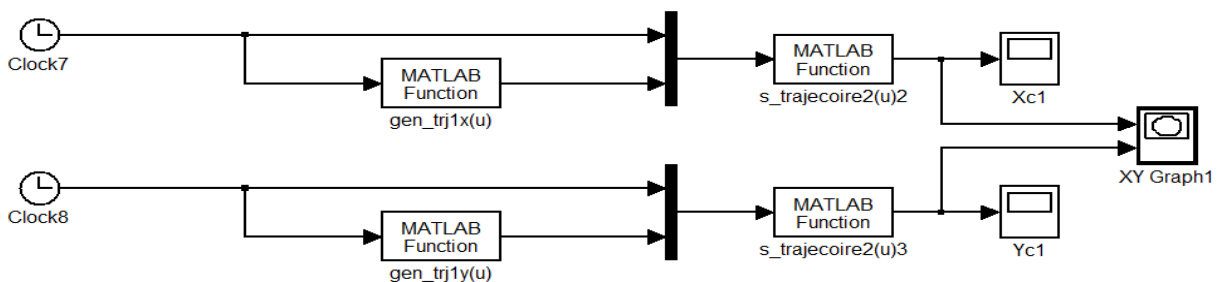
**V.4.1 Présentation des différentes trajectoires :**

**V.4.1.1 Schéma de la première trajectoire :**

La figure (V.3) montre le schéma de simulation de la première trajectoire de référence. Ainsi on choisit pour le balayage, les positions minimales et maximales suivantes :

- Pour l'articulation prismatique selon l'axe X :  $X_{min}= 0 \text{ cm}$  ;  $X_{max}= 10 \text{ cm}$ .
- Pour l'articulation prismatique selon l'axe Y :  $Y_{min}= 0 \text{ cm}$  ;  $Y_{max}= 10\text{cm}$ .

Le balayage se fait comme suite : d'abord, la plume est à la position initiale (0cm, -0cm), ensuite elle commence à tracer des rectangles, et à chaque fois elle diminue les dimensions du rectangle de 1mm à chaque extrémité pour en fin arriver à la position (5cm, 5cm).

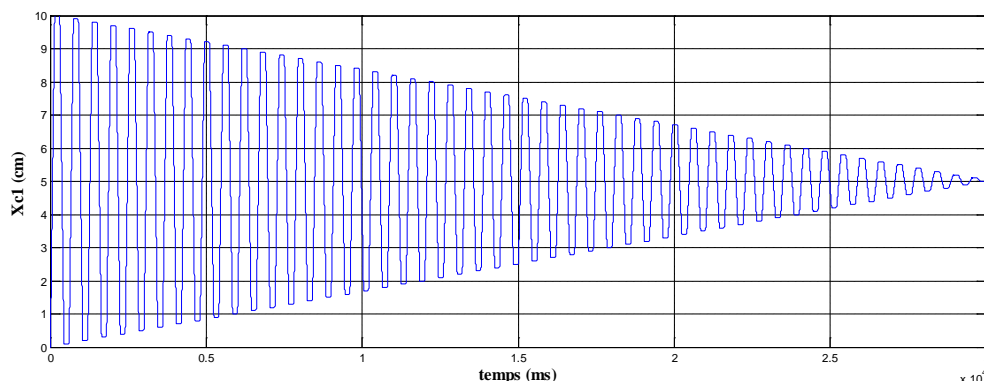


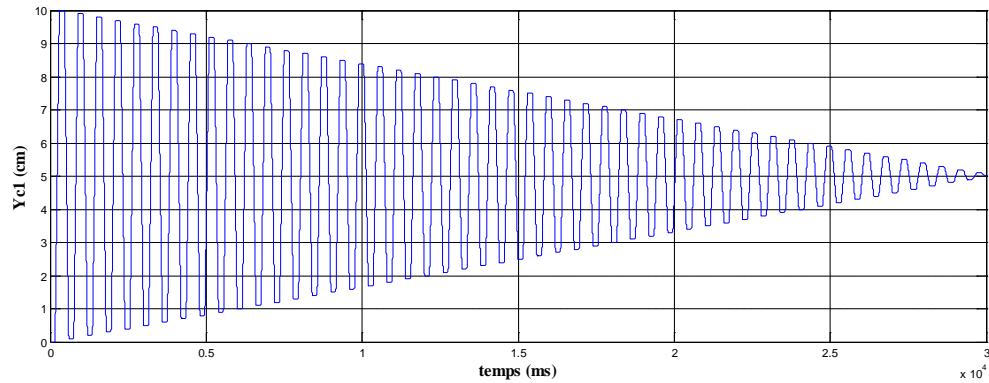
**Figure V.2.** Schéma de simulation de la première trajectoire.

• **Simulation de la première trajectoire :**

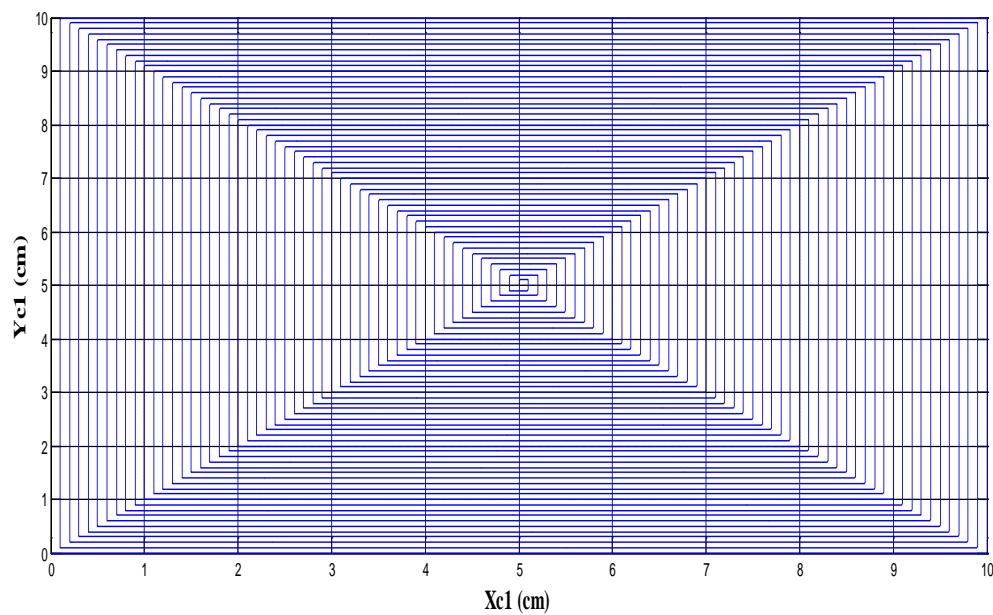
On réalise quatre fonctions MATLAB permettant d'obtenir la trajectoire.

Après simulation on obtient les signaux suivants : le signal de consigne (Xc1) selon l'articulation prismatique X, le signal de consigne (Yc1) selon l'articulation prismatique Y et la trajectoire désirée (Xc1, Yc1). Les figures (V.4) et (V.5) montrent les différents signaux obtenus.





**Figure V.3.** Signaux de consigne ( $X_{c1}$ ) et ( $Y_{c1}$ ).



**Figure V.4.** Première trajectoire de consigne ( $X_{c1}$ ,  $Y_{c1}$ ) dans le plans (X, Y).

#### V.4.1.2 Schéma de la deuxième trajectoire :

Pour cette trajectoire nous avons réalisé quatre fonctions MATLAB. La figure (V.6) montre le schéma de simulation.

On choisit les positions minimales et maximales suivantes :

- Pour l'articulation prismatique selon l'axe X :  $X_{min}=0$  cm ;  $X_{max}=10$  cm.
- Pour l'articulation prismatique selon l'axe Y :  $Y_{min}=0$  cm ;  $Y_{max}=10$  cm.

Dans ce cas, le balayage se fait en va et vient à partir de la position initiale (0cm, 0cm) pour enfin arriver à la position (10cm, 0cm).

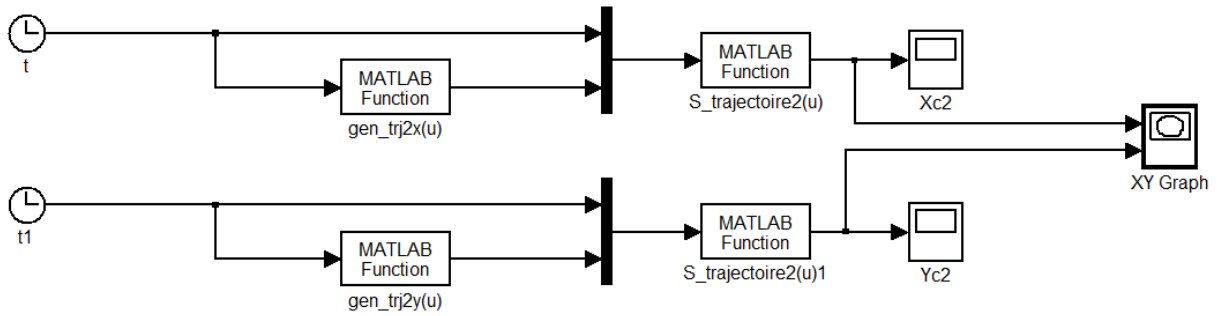


Figure V.5. Schéma de simulation de la deuxième trajectoire.

- **Simulation de la deuxième trajectoire désirée :**

On a obtenu les signaux suivants : le signal de consigne ( $Xc2$ ) selon l'articulation prismatique X, le signal de consigne ( $Yc2$ ) selon l'articulation prismatique Y et la trajectoire désirée ( $Xc2$ ,  $Yc2$ ). Les figures (V.7), (V.8) montrent les signaux obtenus lors de la simulation.

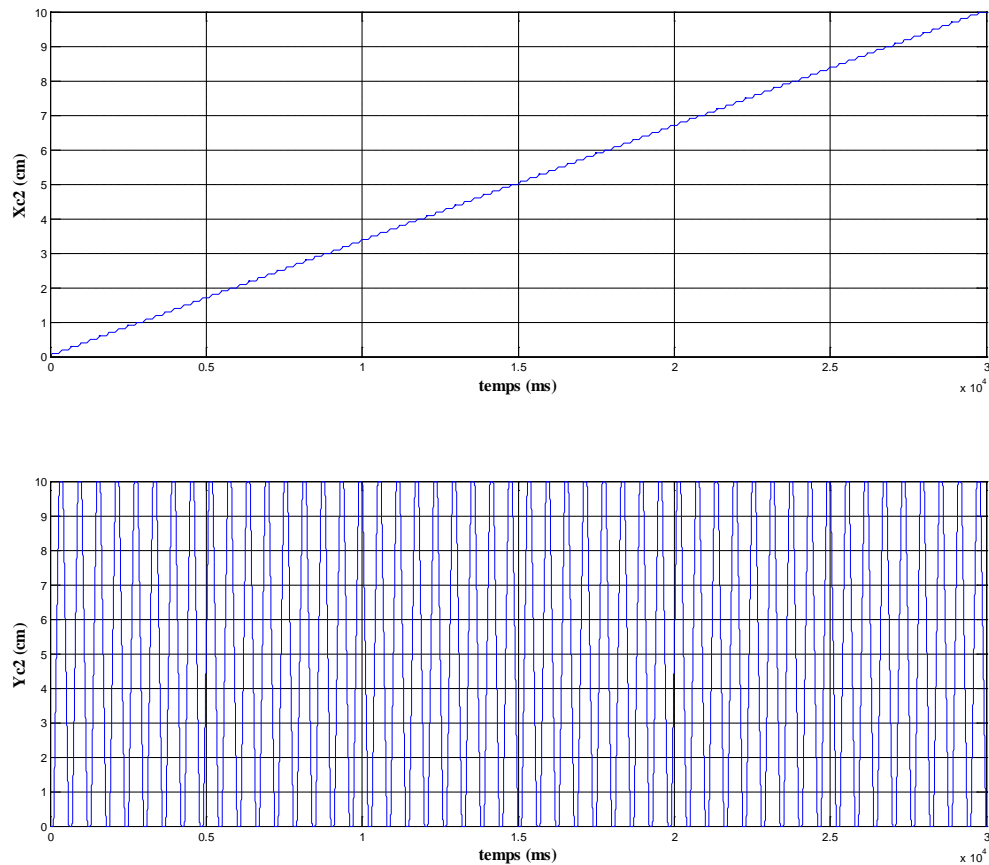


Figure V.6. Signaux de consignes ( $Xc2$ ) et ( $Yc2$ ).

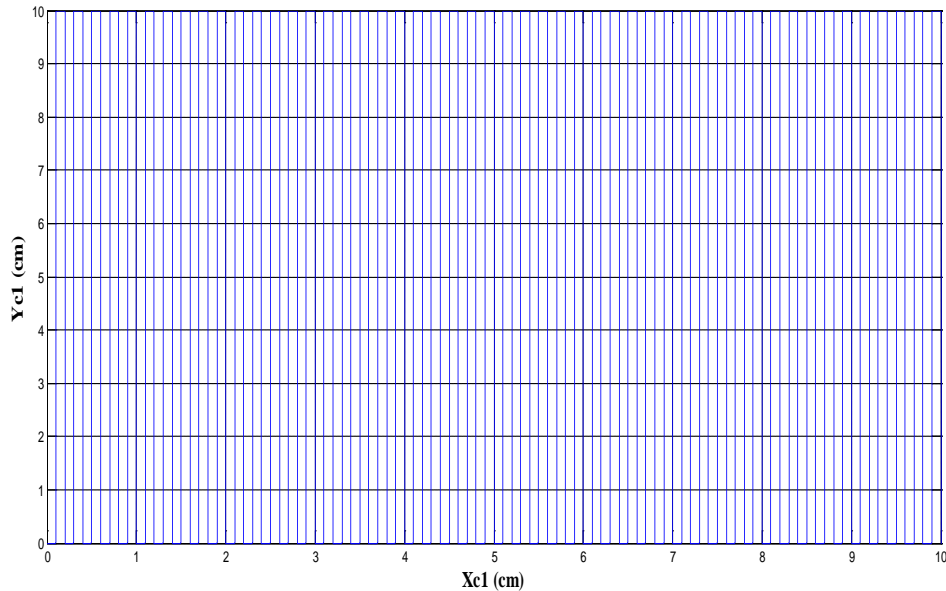


Figure V.7. Deuxième trajectoire de consigne ( $X_{c2}$ ,  $Y_{c2}$ ) dans le plan (X, Y).

#### V.4.2 Application de la commande numérique sur la table traçante :

La simulation consiste en l'implémentation de la commande numérique RST, et la visualisation des résultats pour voir la réponse de la table traçante à la poursuite d'une trajectoire désirée.

##### V.4.2.1 Simulation 1 : (première trajectoire)

La figure (V.9) montre le schéma de simulation pour le régulateur RST pour les articulations (X et Y).

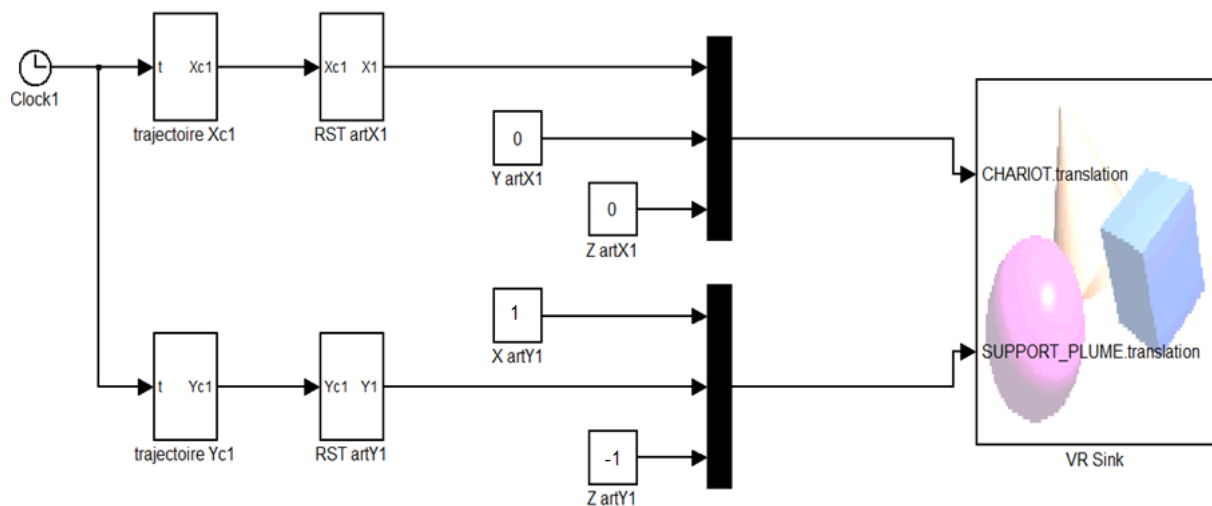


Figure V.8. Schéma de simulation de régulateur RST de la première trajectoire.

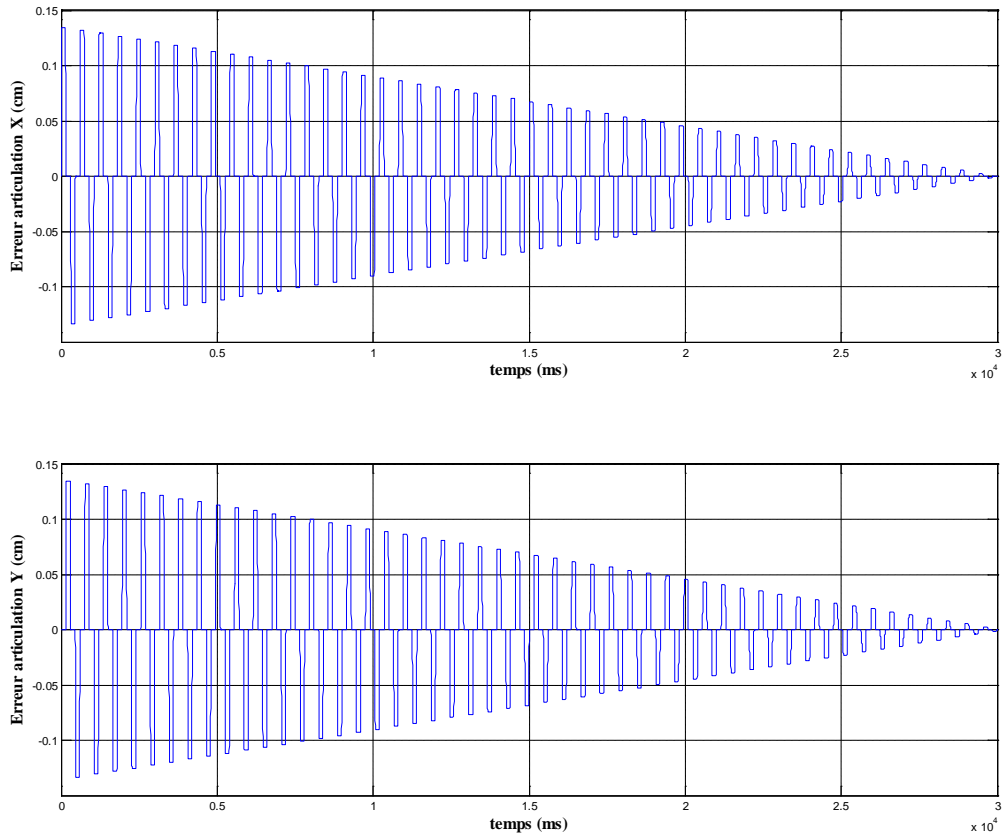


Figure V.9. Les signaux d'erreurs de la première trajectoire.

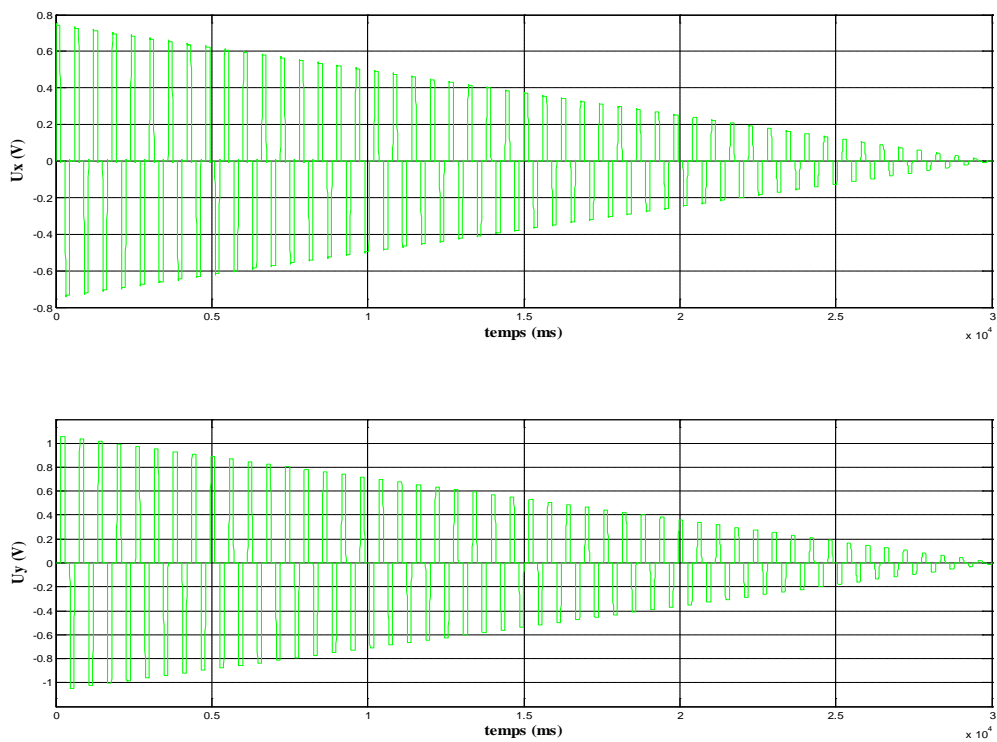


Figure V.10. Signaux de commande de la première trajectoire.

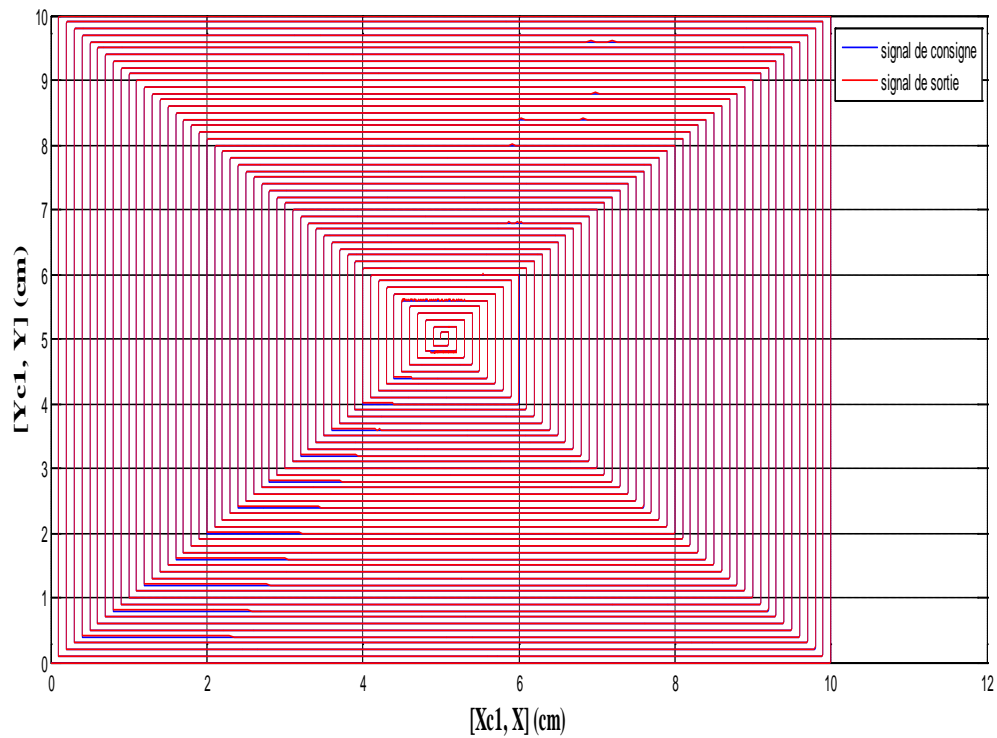


Figure V.11. Première trajectoire ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) et ( $X$ ,  $Y$ ) dans le plan ( $X$ ,  $Y$ ).

#### V.4.2.2 Simulation 2 : (deuxième trajectoire)

La figure ci-dessous montre le schéma de simulation pour le régulateur RST pour les articulations ( $X$  et  $Y$ ).

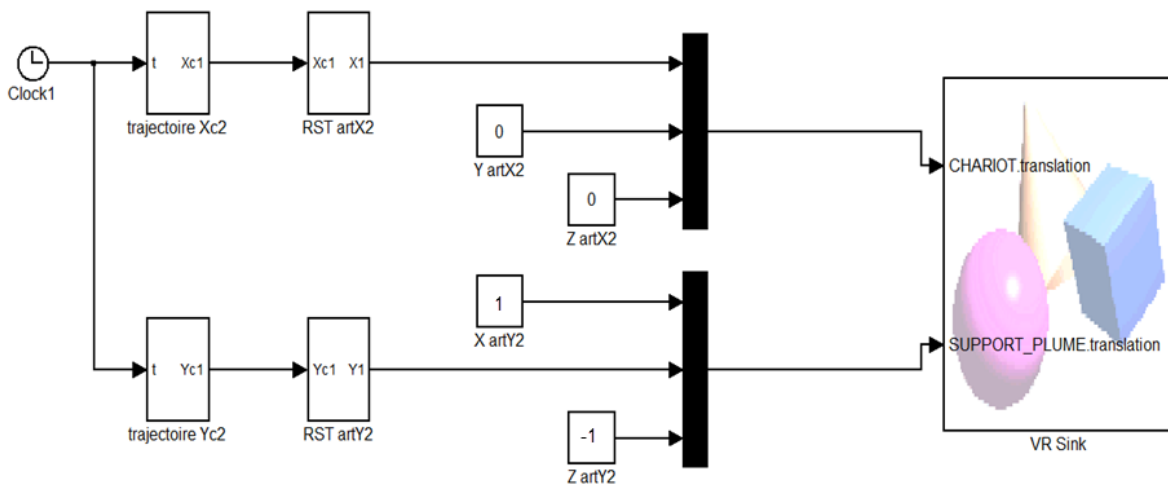


Figure V.12. Schéma de simulation de régulateur RST de la deuxième trajectoire.



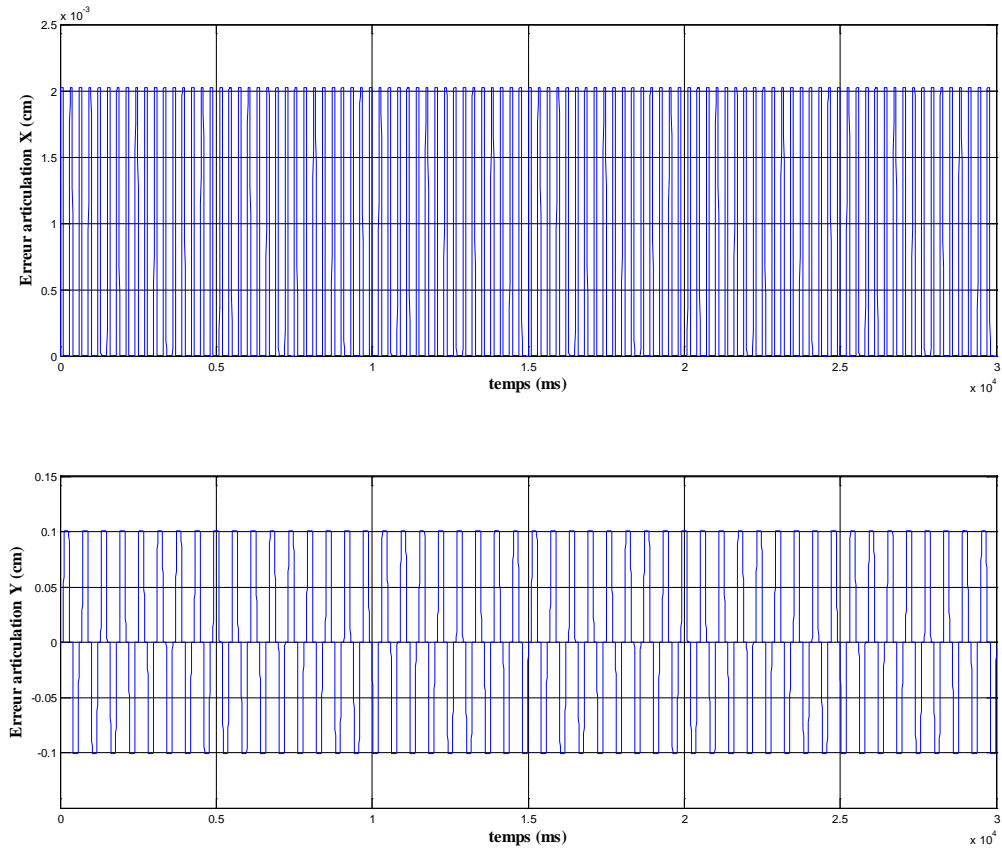


Figure V.13. Les signaux d'erreurs de la deuxième trajectoire.

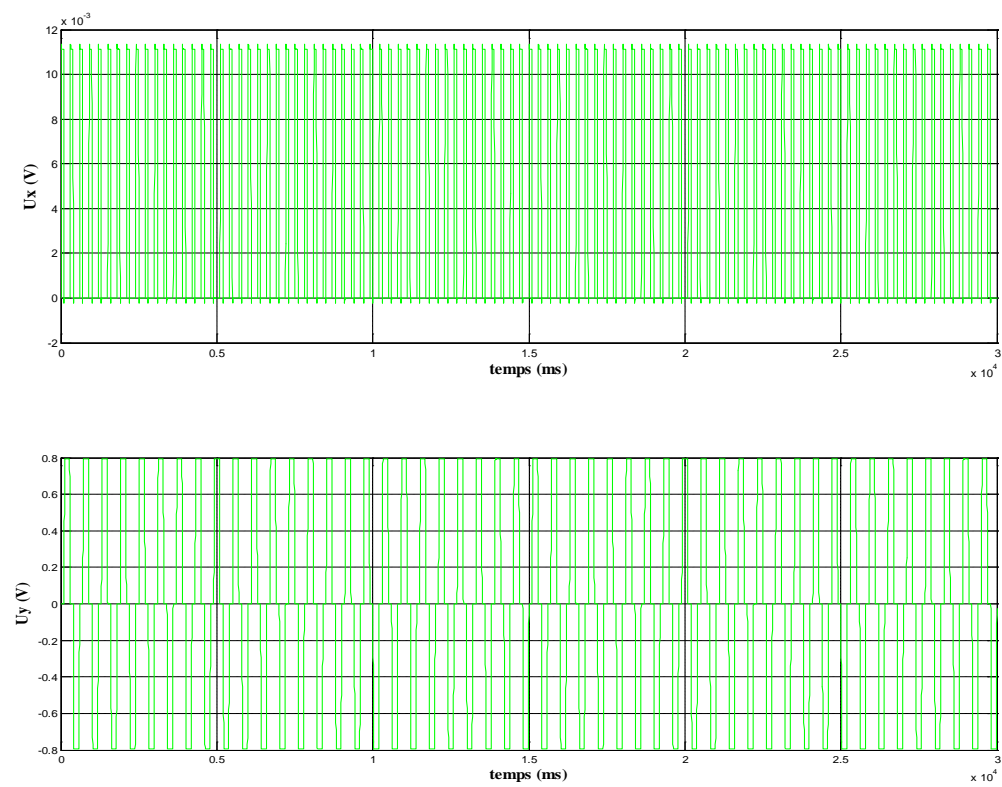


Figure V.14. Signaux de commande de la deuxième trajectoire.

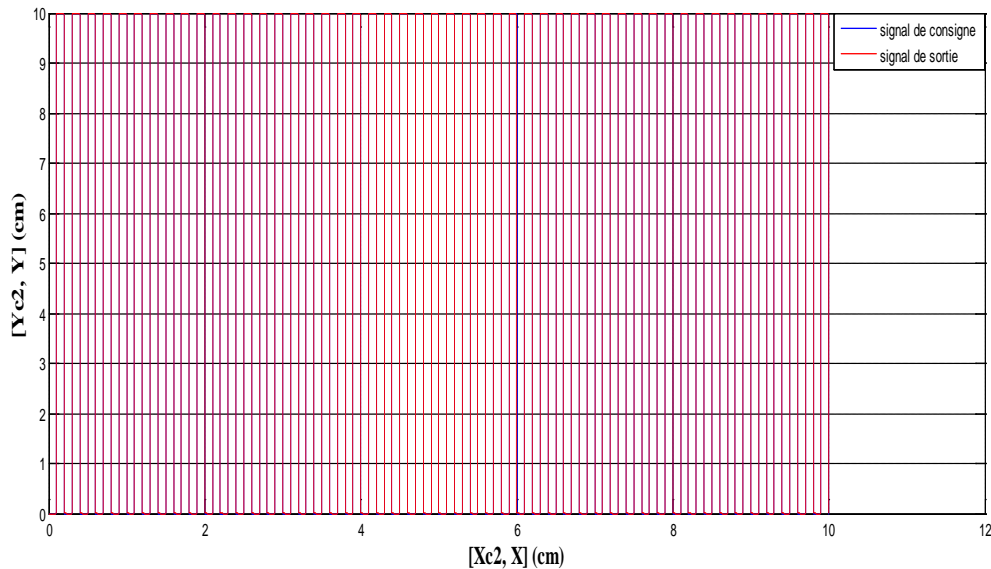


Figure V.15. Deuxième trajectoire ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) et ( $X$ ,  $Y$ ) dans le plan ( $X$ ,  $Y$ ).

#### V.4.3 Interprétation des résultats :

- La simulation de la première trajectoire nous montre que la table traçante réalise le balayage désiré. Les signaux d'erreur diminuent symétriquement dans l'intervalle (0.13cm, -0.13cm) selon l'axe X et (0.13cm, -0.13cm) selon l'axe Y avec la distance parcourue (point à point).

Ceci est donné à la durée du déplacement qui est constante pour chaque déplacement, car les parcours deviennent petits dans la même durée (diminution des vitesses ce qui implique la diminution de l'effort).

- Pour la deuxième trajectoire, on voit que la table traçante effectue le balayage désiré. Les signaux d'erreurs et les signaux de commande sont relativement à la trajectoire parcourue. Pour une distance de balayage 10cm selon l'axe X, on a l'erreur de 0.002cm et le signal de commande de l'ordre 11 mV. Pour une même distance de balayage selon l'axe Y, on a l'erreur de 0.1cm et le signal de commande de l'ordre 0.8V.

#### V.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons effectuée des simulations pour la génération des différentes trajectoires de référence. Ensuite l'application de la commande numérique (régulateur de type RST) sur la table traçante a prouvé son efficacité dans la poursuite de la trajectoire.

**« Conclusion générale »**

## Conclusion générale

Au cours de ce travail, nous avons présenté et rappelé les différentes notions nécessaires pour l'étude des systèmes de positionnements (la table traçante), pour faire ensuite une analyse fonctionnelle technique, ce qui nous a permis de comprendre d'avantage son fonctionnement.

La présentation et la définition de certaines caractéristiques du logiciel de conception virtuel le V-Realm Builder, nous ont amenées à maîtriser ce dernier.

En se basant sur l'analyse fonctionnelle technique de la table traçante et à l'aide du logiciel V-Realm Builder, nous avons réalisé la table traçante virtuelle (présentation physique des éléments).

Ensuite, on a appliqué le modèle dynamique sur la table traçante, pour enfin obtenir la modélisation de chaque sous-système mouvant (selon l'axe X et l'axe Y) par une fonction de transfert. Pour le troisième sous-système (selon l'axe Z), elle n'est pas abordée.

Après, nous avons synthétisé les algorithmes du régulateur numérique RST, pour obtenir les lois de commande des deux sous-systèmes.

La génération de trajectoire permet d'avoir les consignes que le système de positionnement doit poursuivre. Ces trajectoires se présentent sous forme de positions successives (en fonction du temps) de l'effecteur du système de positionnement.

Dans notre travail, on s'est intéressé à la génération de deux types de trajectoires qui ont pour objectifs de faire balayer d'une page de format A4.

Après la synthèse du régulateur numérique et la génération de trajectoire, des tests de simulation ont été effectués pour chaque trajectoire avec le régulateur RST. Les résultats de simulation valident le travail effectué.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- [1] **Ignacio Herrera Aguilar** ; « Commande des bras manipulateurs et retour visuel pour des applications à la robotique de service », Thèse présentée en vue de l'obtention du Doctorat de l'Université Toulouse III, 2007.
- [2] **Paul ALEXANDRE** ; « Le Contrôle Hiérarchisé d'un Robot « Marcheur Hexapode » », thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en Sciences Appliquées, 1996/1997
- [3] **guillaume sabatier, francois ragusa et hubert antz** ; « Manuel de technologie mécanique », Edition dunod 2006
- [4] Un article de Wikipédia, l'encyclopédie libre, conception assistée par ordinateur, web Wikipédia, 12/03/2012.
- [5] Manuel des tables traçantes IF2400 et IF3400
- [6] Cours CSA, « analyse fonctionnelle technique des systèmes ». 2011-2012
- [7] **Realm™ Builder** ; « Guide de l'utilisateur et de référence », Ligos Corporation, 1996-1997
- [8] **Help MATLAB** ; VRML Eiting tools Virtual worlds virtual reality toolbox.
- [9] **Abrous Ahmed** ; « Modélisation, commande et réalisation d'un convertisseur matriciel », Mémoire de magister en automatique, ENP 2008.
- [10] **W.Khalil, Etienne Dombre** ; « Modélisation, identification et commande des robots », 2eme édition hermes, 1999.
- [11] **Remila & Bouchebah** ; « Commande numérique d'un robot cartésien », Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention d'un diplôme master en automatisme industriel, 2010-2011
- [12] **Roland. Longchamp** ; « Commande numérique des systèmes dynamique », 2005.
- [13] **Boufkhed & Hamouche** ; « Commande Neuro-floue d'un robot SCARA » Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention d'un diplôme master en automatisme industriel. 2010-2011

« *Annexe* »

## Annexe

### Programmation :

Chaque programme correspond au nom de la fonction Matlab dans les schémas de la simulation.

### Génération de trajectoires :

#### 1. Première trajectoire désirée :

##### ✓ Articulation prismatique selon l'axe X :

```
Function y=gen_trj2x(u)
p=6;
t=mod(u,p);
r=fix (u/p)*p;
n=r/p;
xmin=0;
xmax=10;
kx=0.1;
x0=xmin+n*kx;
x1=xmax-n*kx;
y1=[r 1*p/4 x0 x1]*(t<p/2);
y2=[r+p/2 1*p/4 x1 x0+kx]*(t>=p/2);
y=y1+y2;
return
```

##### ✓ Articulation prismatique selon l'axe Y :

```
function y=gen_trj2y(u)
p=6;
t=mod(u,p);
r=fix(u/p)*p;
n=r/p;
ymin=0;
ymax=10;
ky=0.1;
y0=ymin+n*ky;
y1=ymax-n*ky;
yy1=[r+1*p/4 1*p/4 y0 y1]*(t<p/2);
```



```

yy2=[r+1*p/4+p/2 1*p/4 y1 y0+ky]*(t>=p/2);
y=yy1+yy2;
return

```

## 2. Deuxième trajectoire désirée :

### ✓ Articulation prismatique selon l'axe X :

```

function y=gen_trj1x(u)

p=6;
t=mod(u,p);
r=fix(u/p)*p;
l=2*(r/p);
k=0.1;% résolution
y1=[r 1*p/6 k*1 k*(1+1)]*(t<p/2);
y2=[r+p/2 1*p/6 k*(1+1) k*(1+2)]*(t>=p/2);
y=y1+y2;
return

```

### ✓ Articulation prismatique selon l'axe Y :

```

function y=gen_trj1y(u)

p=6;
t=mod(u,p);
r=fix(u/p)*p;
y1=[r+1*p/6 1*p/3 0 10]*(t<p/2);
y2=[r+1*p/6+p/2 1*p/3 10 0]*(t>=p/2);
y=y1+y2;
return

```

## 3. Les trajectoires 1 et 2 contiennent aussi le programme suivant :

```

function y=S_trajectoire2(u)

t=u(1);
ti=u(2);
d=u(3);
yi=u(4);
yf=u(5);

% t temps
% ti instant initial
% d durée

```

```

%yi position initiale
%yf position finale
t=t-ti;
a=0.1*d;
b=d-a;
acc=(yf-yi)/0.09/d^2;
v=acc*a;
y20=0.5*acc*a^2;
y30=y20+0.8*d*v;
y40=y30+0.5*acc*a^2;
y1=(t>=0)*(t<a)*0.5*acc*t^2;
y2=(t>=a)*(t<b)*(v*(t-a)+y20);
y3=(t>=b)*(t<d)*(-0.5*acc*(t-b)^2+v*(t-b)+y30);
y4=(t>=d)*(y40);
y=y1+y2+y3+y4+yi;
return

```

## Résumé

Au cours de ce travail, nous avons présenté et rappelé les différentes notions nécessaires pour l'étude des systèmes de positionnement, on a choisis comme modèle d'un système de positionnement, la table traçante de type IF2400 à trois degrés de liberté ayant trois articulations prismatiques. En se basant sur l'analyse fonctionnelle technique de la table traçante et à l'aide du logiciel V-Realm Builder, nous avons réalisé la table traçante virtuelle (présentation physique des éléments). Ensuite, on a appliqué le modèle dynamique sur la table traçante, pour enfin obtenir la modélisation de chaque sous-système mouvant. Nous avons synthétisé les algorithmes du régulateur numérique RST, pour obtenir les lois de commande des deux sous-systèmes. La génération de trajectoire permet d'avoir les consignes que le système de positionnement doit poursuivre. Ces trajectoires se présentent sous forme de positions successives (en fonction du temps) de l'effecteur du système de positionnement, on s'est intéressé à la génération de deux types de trajectoires qui ont pour objectifs de faire balayer d'une page de format A4. Après la synthèse du régulateur numérique et la génération de trajectoire, des tests de simulation ont été effectués pour chaque trajectoire avec le régulateur RST.

**Mots clés :** systèmes de positionnement, la table traçante de type IF2400, logiciel V-Realm Builder, régulateur numérique RST, la génération de trajectoires, simulation par MATLAB, FAST