

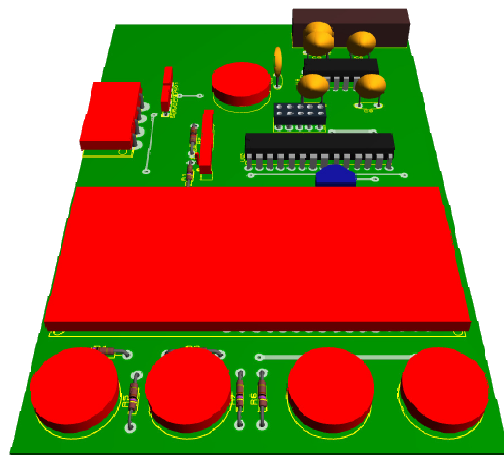
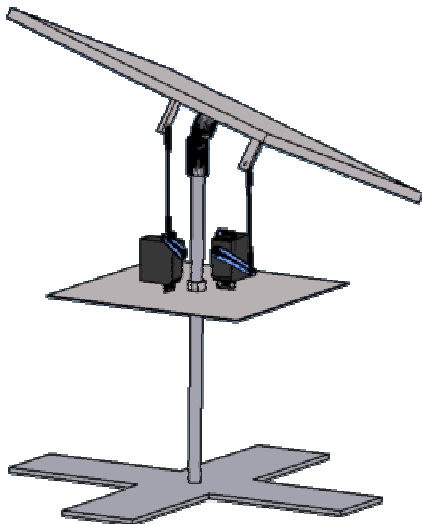
Projet Sigma

Plateforme animée

PPE 2011-2012

Thibaud Lemaire
Adrien Mancassola
Pascal Matteoli

Concevoir un système fiable et économique permettant la mise en position d'objets et la simulation de mouvements.



Nous tenons particulièrement à remercier nos professeurs de sciences de l'ingénieur, M. Riaux et M. Gassier, pour leur aide précieuse ; M. Lefèvre, notre professeur de mathématiques, pour son soutien ; M. Tribot, notre professeur de sciences physiques, pour sa contribution au projet ; M. Toussaint, technicien du lycée, pour sa participation et enfin M. Sombart notre professeur de philosophie, pour sa bienveillance.

Table des matières :

I.	Etude préliminaire	5
A.	Contexte	5
B.	Expression du besoin.....	5
1.	Présentation	5
2.	Actigramme	5
C.	Cahier des charges.....	6
1.	Limites du projet	6
2.	Contraintes	6
D.	Planning et répartition des tâches.....	7
E.	Outils d'analyse.....	7
II.	Etude mécanique	8
A.	Etude générale	8
1.	Choix de l'effecteur.....	8
2.	Mécanisme général.....	8
3.	Simplification	9
4.	Choix des actionneurs	9
B.	Etude de la transformation du mouvement	9
1.	Différentes solutions	10
2.	Schéma cinématique final	13
3.	Chaine d'énergie	13
4.	Etude du mouvement.....	14
C.	Choix des composants mécaniques	19
1.	Bielle et manivelle.....	19
2.	Calculs inertiels et couple nécessaire	19
3.	Choix du moteur.....	23
D.	Modélisation informatique	25
1.	Modélisation des pièces	25
2.	Assemblage	25
3.	Simulation dynamique et vérifications.....	26
III.	Etude électronique.....	27
A.	Architecture générale	27
B.	Etude théorique et choix des composants	28
1.	Microcontrôleur.....	28
2.	Liaison RS232	29
3.	Interface utilisateur.....	31
4.	Commande des servomoteurs.....	33
5.	Alimentation du système	34
C.	Mise en place et schéma électronique	34
1.	Schéma électronique	35
2.	Réalisation de la carte	35
IV.	Etude informatique	36
A.	Logiciel embarqué.....	36
1.	Présentation	36
2.	Comportement.....	36
3.	Architecture	37
4.	Protocole de communication.....	39
5.	Routines.....	39
B.	Logiciel déporté (serveur)	42

1. Présentation	43
2. Fonctionnement.....	43
V. Ressources documentaires.....	44
VI. Réalisation finale.....	45
VII. Conclusions	46
A. Synthèse générale.....	46
B. Conclusions personnelles	46
1. Synthèse de Pascal	46
2. Synthèse d’Adrien	47
3. Synthèse de Thibaud	47

I. Etude préliminaire

A. Contexte

La simulation est un vaste domaine qui permet d'étudier le comportement d'un système, d'un utilisateur ou tout autre objet, dans une situation précise sans réaliser l'expérience réelle. Elle est de plus en plus répandue et s'applique à nombre de disciplines. Parmi les simulations que l'homme est amené à effectuer, on retrouve celles de phénomènes météorologiques, de comportements financiers, de systèmes à risque (centrales nucléaires, arsenal militaire), ou encore d'aéronefs. Beaucoup de simulateurs, comme les simulateurs de pilotage, ne se concentrent que sur des perceptions visuelles et auditives. Pourtant, le corps humain est capable de ressentir ses mouvements grâce à sa perception des accélérations dans l'espace.

Les simulateurs évolués possèdent une plateforme mobile capable de simuler les accélérations. Mais ces dispositifs sont souvent très ciblés, onéreux et complexes. Nous nous proposons donc d'étudier et de concevoir une plateforme mobile, fiable, pratique, flexible et peu coûteuse, capable de s'adapter à plusieurs situations et aux besoins de plusieurs clients.

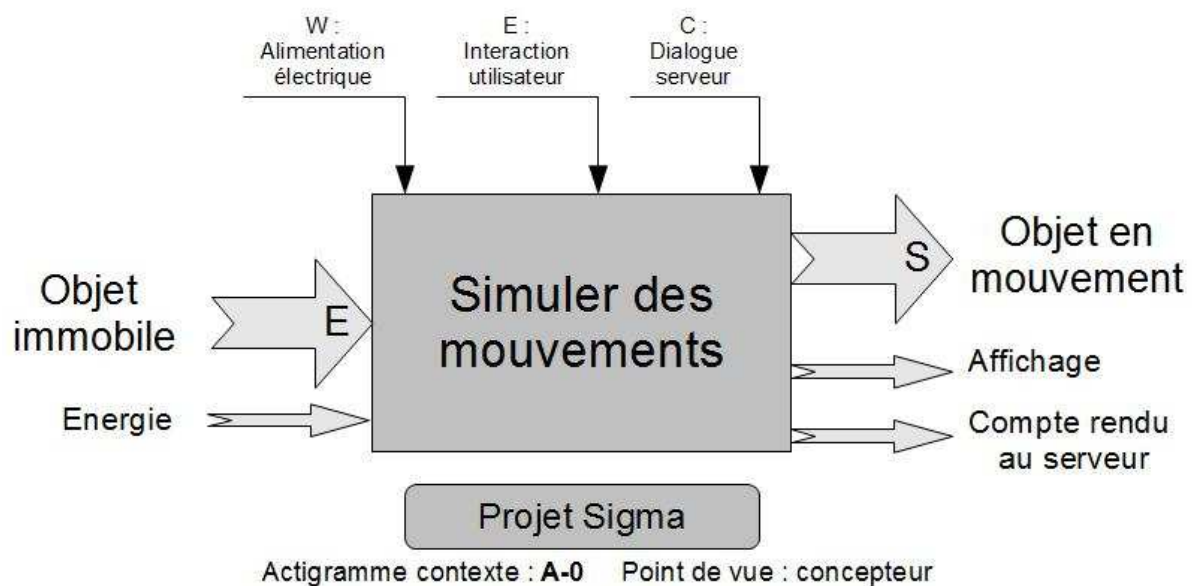
Afin de diminuer les coûts et la complexité du système, nous ne simulerons que deux accélérations angulaires : le tangage et le roulis.

B. Expression du besoin

1. Présentation

Nous souhaitons réaliser une plateforme mobile, articulée autour de deux axes perpendiculaires, et permettant de simuler une inclinaison dans l'espace. Elle pourra s'adapter aux besoins de divers utilisateurs dans des domaines variés comme les transports, l'industrie ou même le milieu médical. Pour cela, les paramètres mécaniques, vitesses, accélérations, doivent pouvoir être contrôlés par l'utilisateur final.

2. Actigramme

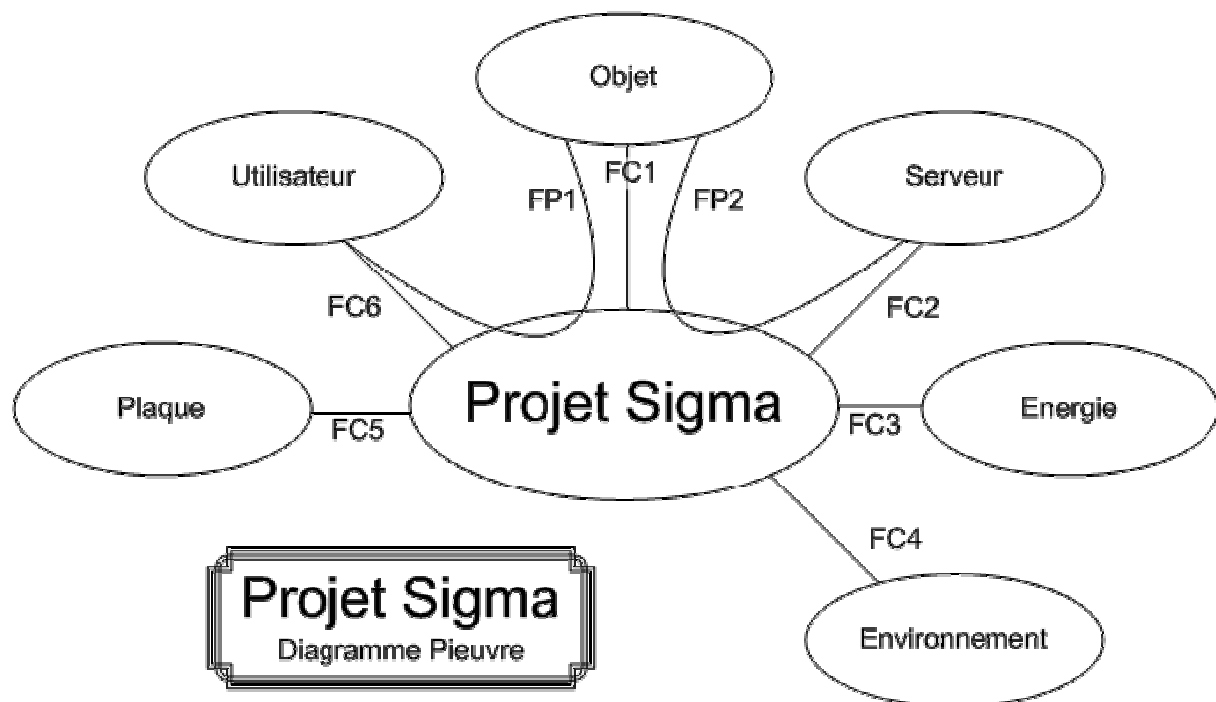


C. Cahier des charges

1. Limites du projet

Le présent projet constitue une étude de la faisabilité du système réel. Par conséquent, nous n'étudierons (de la conception à la réalisation) qu'un modèle réduit du système réel. Tous les calculs, toutes les solutions seront choisies en conséquence et il est possible que le système réel ne soit pas strictement similaire au projet actuel.

2. Contraintes



Fonction	Désignation	Valeur	Tolérance
FP1	Permettre un positionnement de l'objet par l'utilisateur		
FP2	Permettre un positionnement de l'objet par le serveur		
FC1	Pouvoir mettre en mouvement une masse en bout de plaque	100g	Minimum
FC2	Pouvoir communiquer avec le un serveur	RS232	Aucune
FC3	Etre alimenté en énergie par le réseau EDF standard	220V alternatif	+/- 10V
FC4	S'adapter à son environnement, prendre peu de place	Max 50x50x50cm	Moyenne
FC5	Pouvoir mettre en mouvement la plaque et l'objet rapidement et avec une amplitude définie	Amplitude : 50° Vitesse angulaire : 100°/s Accélération angulaire : 500°/s²	Minimum
FC6	Pouvoir dialoguer aisément avec l'utilisateur	Affichage alphanumérique et touches de commande	Aucune

D. Planning et répartition des tâches

Le groupe est composé de :

- Thibaud Lemaire
- Pascal Matteoli
- Adrien Mancassola

Nous avons tout d'abord dressé une liste de tâches à effectuer puis nous les sommes distribuées en fonction de nos domaines de prédilection.

Ainsi, Pascal et Adrien se sont principalement occupés de la partie mécanique tandis que Thibaud s'est majoritairement occupé de la partie électronique.

Une fois les tâches distribuées, nous avons estimé la durée à consacrer à chacune d'elles, puis nous avons dressé un planning prévisionnel des tâches à accomplir. Le résultat est présenté sous la forme d'un diagramme de GANTT.

Le diagramme de GANTT de répartition temporelle des tâches est disponible en annexe 1 de ce dossier.

E. Outils d'analyse

Afin de permettre une compréhension plus aisée des pages qui vont suivre, nous mettons à la disposition du lecteur la chaîne fonctionnelle du système qui met en relation les différents éléments constituant le système ainsi que le diagramme FAST qui renseigne sur les fonctions techniques remplies par ces éléments.

La chaîne fonctionnelle est disponible en annexe 7 du dossier.

Le diagramme FAST est disponible en annexe 8 du dossier

II. Etude mécanique

Cette section regroupe toute la démarche et les calculs que nous avons effectués afin de concevoir le système. De la mise en mouvement de la plaque à la conception du produit. Cette partie est très importante car elle est la base de la mise en mouvement de la plaque.

L'objectif est d'obtenir en fin de partie une relation entrée-sortie du mécanisme qui puisse être utilisé par la partie électronique afin de réaliser la mise en position de la plaque.

A. Etude générale

Dans cette partie, nous décrivons les choix généraux concernant la mise en mouvement de l'objet. Nous commençons par choisir l'effecteur puis le mécanisme de mise en mouvement. Enfin, nous calculons la relation entrée-sortie de notre chaîne d'énergie afin de pouvoir asservir l'objet mis en mouvement en position.

1. Choix de l'effecteur

Pour mettre en mouvement les objets, nous avons tout naturellement pensé à une plaque mobile sur laquelle seraient posés lesdits objets. Cette plaque, dont les dimensions minimales sont définies dans le cahier des charges, doit pouvoir être mise en actionnée à 50° par seconde, subir des accélérations importantes, et avoir un débattement de $+25^\circ$ à -25° par rapport à l'horizontale.

La plaque est articulée en son centre selon deux rotations perpendiculaires entre elles et par rapport au support. Le centre de rotation se situe exactement au centre de la plaque.

2. Mécanisme général

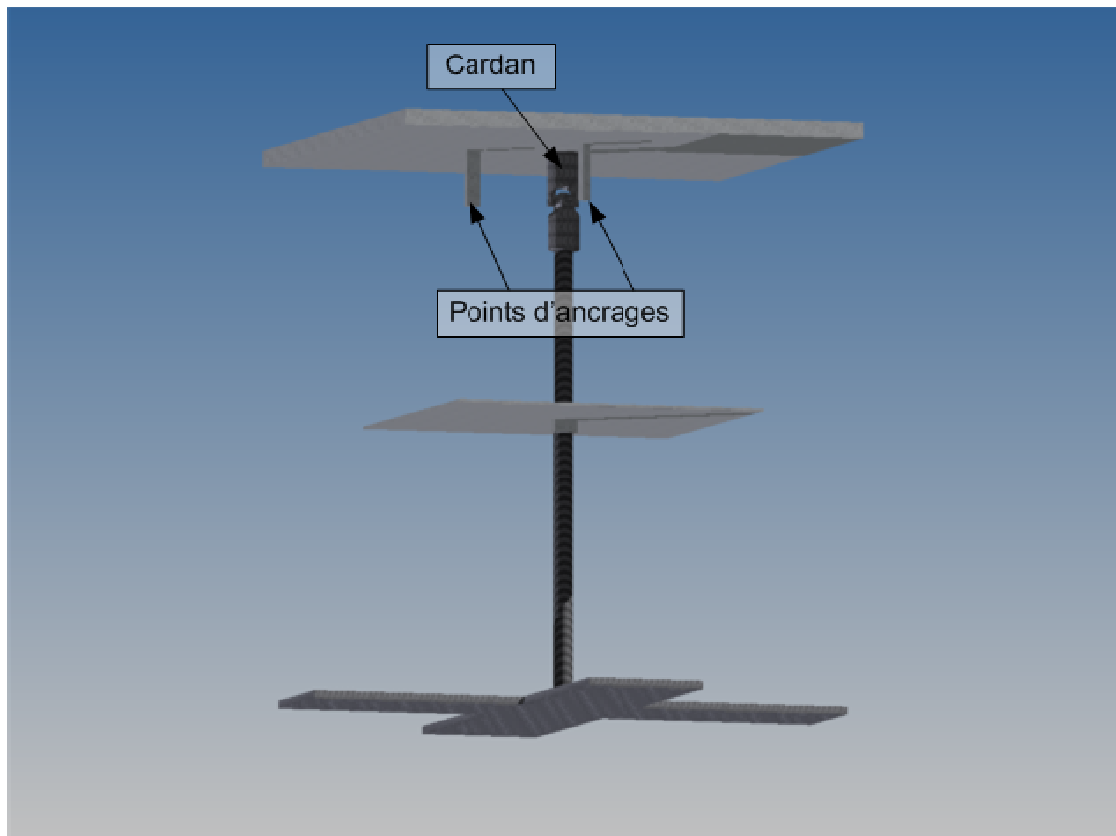
La plaque est articulée à l'aide d'un cardan fixé au bâti. Ce cardan autorise les deux rotations dont nous avons besoin. D'un point de vue cinématique, il s'apparente à une liaison « rotule à doigt » qui supprime la rotation autour de la normale à la plaque.

Afin de générer les deux rotations autour des deux axes orthogonaux, nous disposons des points d'ancrage sous celle-ci. A ces points d'ancrages seront fixés des dispositifs translatant de haut en bas, entraînant la rotation de la plaque. Ainsi, la vitesse de rotation est directement liée à la vitesse linéaire de ces points d'ancrages. Par contre, il convient de faire une étude scrupuleuse de ces mouvements car le point d'ancrage décrit une trajectoire circulaire.

La difficulté de cette étude mécanique réside justement dans les rotations. Celles-ci entraînent des problèmes de linéarité dans la relation entrée sortie de la chaîne d'énergie. En effet, quand un point décrit un cercle, sa vitesse linéaire projetée sur un axe n'est pas constante, ce qui peut être gênant dans notre cas.

Nous serons donc amené à réfléchir sur les dimensions de nos différentes pièces mécaniques afin d'obtenir un résultat optimal.





Mécanisme général

3. Simplification

Afin d'alléger le raisonnement, nous n'allons étudier qu'une seule rotation de la plaque. En effet, les deux rotations sont générées par deux systèmes strictement identiques disposés orthogonalement, c'est-à-dire n'interférant pas l'un avec l'autre.

De ce fait, tous les raisonnements qui vont suivre, les schémas, les calculs, ne tiennent compte que d'une rotation dans le plan et il convient de les transposer au deuxième plan, perpendiculaire au premier.

4. Choix des actionneurs

Afin de respecter le cahier des charges, notre système doit être pratique et peu onéreux. Pour mettre en mouvement la plaque, c'est-à-dire, faire translater les points d'ancrages, plusieurs solutions s'offrent à nous. Tout d'abord les vérins pneumatiques ou hydrauliques. Ils semblent être la solution idéale car ils génèrent directement une translation. Cependant, leur mise en œuvre se révèle complexe par la nécessité d'utilisation d'un compresseur ou d'une pompe à huile et nous ne possédons que l'énergie électrique du secteur pour mettre en mouvement la plaque. De plus, cette solution se révélerait particulièrement onéreuse.

En revanche, les moteurs électriques sont très courants et peu chers. De plus, ils ont l'avantage d'être facile à contrôler. Par contre, il ne produise pas un mouvement de translation mais de rotation. Pour être utilisés dans notre système, nous devons donc les coupler à un mécanisme de transformation du mouvement.

B. Etude de la transformation du mouvement

Dans cette partie, nous allons étudier les différentes solutions à notre disposition pour transformer la rotation des moteurs en translation afin de mettre en mouvement le point

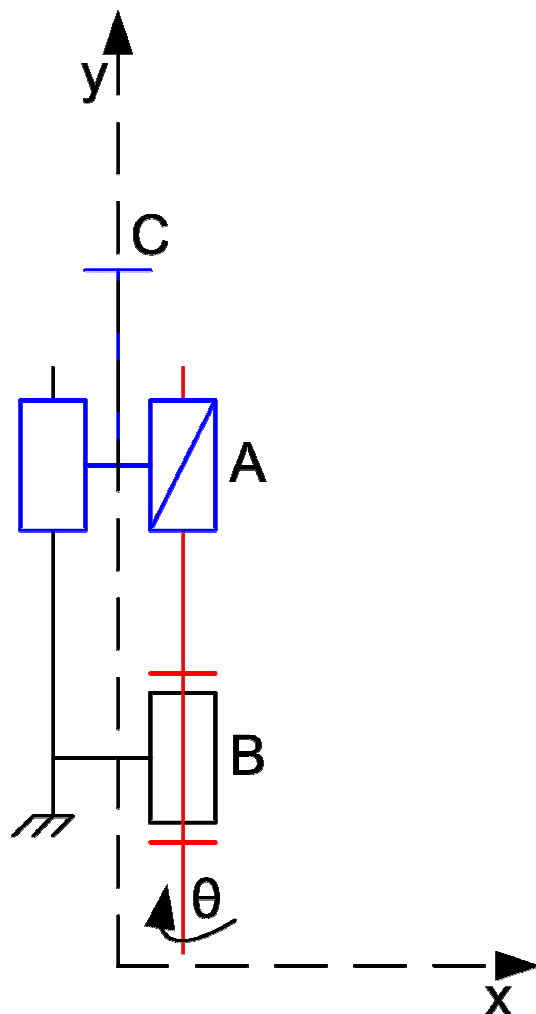
d'ancrage de la plaque. Ensuite, nous analyserons la relation entrée sortie de ce mécanisme puis nous établirons une relation générale entre la vitesse angulaire du moteur et celle de la plaque.

1. Différentes solutions

Plusieurs solutions étaient envisageables. Nous en avons étudié trois avec différents avantages et inconvénients. Au terme de ce comparatif, nous choisissons une des trois solutions qui semble convenir au mieux à notre système.

a) Système vis-écrou

Le principe de cette solution est de relier directement l'axe du moteur (motoréducteur) à une tige filetée verticale. Sur cette tige filetée, on fixe un écrou, la rotation de la tige filetée permet à l'écrou d'adopter une translation verticale car l'écrou voit sa rotation bloquée par une liaison glissière formée par une tige sortant de l'écrou reliée à la plaque.



On a la relation définissant la transmission d'un système vis-écrou telle que :

$$V_{\text{linéaire}} = \frac{p \times \omega}{2\pi} \Leftrightarrow \omega = \frac{2\pi \times V_{\text{linéaire}}}{p}$$

avec

- $V_{\text{linéaire}}$ la vitesse linéaire de l'écrou en $m.s^{-1}$
- p le pas du filetage en m
- ω la vitesse angulaire du moteur en $rad.s^{-1}$

La mise en place d'un système vis-écrou implique les contraintes mécaniques suivantes :

- Mise en place d'une armature afin de faire en sorte que la tige filetée soit « verticale »
- Articulation de la tige filetée pour suivre la trajectoire circulaire de leur point d'ancrage.

De plus, la réalisation pratique d'une liaison vis-écrou se révèle fastidieuse...

Voici donc, aux vues des différents points énoncés ci-dessus, le bilan de cette solution dans notre cas:

Points positifs :

- Cette solution est très peu onéreuse
- Du fait de son faible rendement, elle n'est pas réversible. Pratique pour verrouiller en position la plaque.
- Sa relation de transmission est linéaire.

Points négatifs :

- Son rendement est médiocre (0,3 à 0,5). On perd donc de l'énergie et les actionneurs (un moteur en l'occurrence) doivent être surdimensionnés.
- Sa mise en place est complexe.
- Son encombrement latent, la tige immobile, la rend peu pratique pour notre système.

b) Système pignon crémaillère

Le principe de cette solution est d'utiliser un pignon en sortie de moteur, de relier une crémaillère à la plaque et de faire en sorte que le pignon entraîne la crémaillère permettant ainsi d'actionner la plaque. En bout de crémaillère, une rotule (non représentée sur le schéma) permet l'articulation et la rotation dans le sens perpendiculaire.

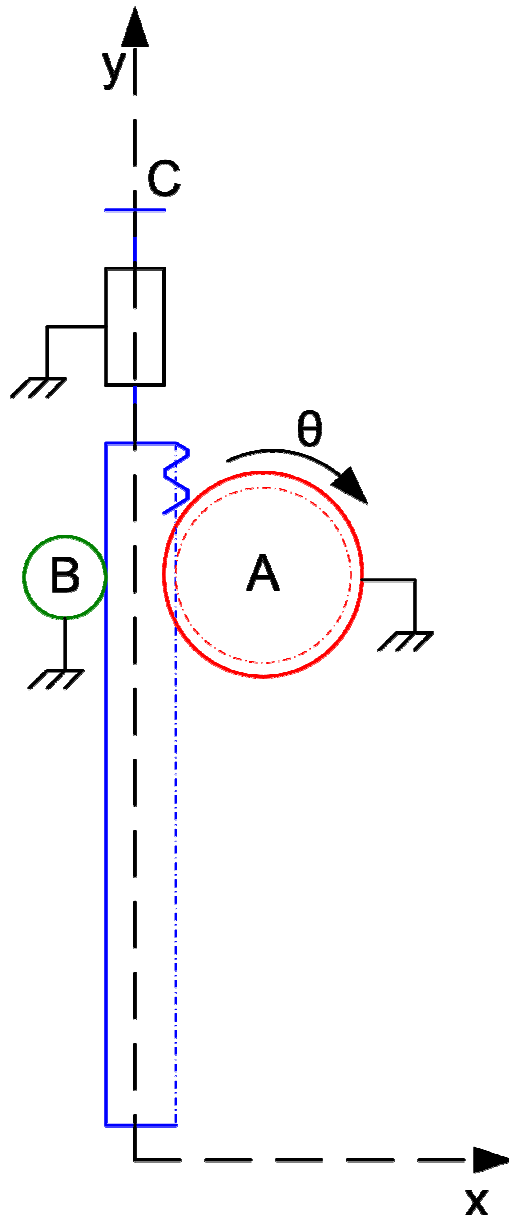
L'entraînement de la crémaillère est assuré par le pignon qui est maintenu contre celle-ci par un galet. Celui-ci, en B sur le schéma, appuie sur la crémaillère pour assurer son positionnement contre le pignon, limiter les frottements et garantir la longévité du système.

La relation de transmission dépend des grandeurs choisies pour le pignon et la crémaillère. Dans l'absolu, on peut envisager une forte réduction entre la vitesse de rotation du moteur et celle de la plaque.

Cette relation est donnée par la formule suivante :

$$V_{\text{linéaire}} = \frac{d_{\text{primitif}} \cdot \omega}{2} \Leftrightarrow \omega = \frac{2 \cdot V_{\text{linéaire}}}{d_{\text{primitif}}}$$

avec $\begin{cases} V_{\text{linéaire}} & \text{la vitesse linéaire de l'écrou en } m.s^{-1} \\ d_{\text{primitif}} & \text{le diamètre primitif du pignon en } m \\ \omega & \text{la vitesse angulaire du moteur en } rad.s^{-1} \end{cases}$



Après cette étude de la solution Pignon-Crémaillère, voici notre bilan :

Points positifs :

- Cette solution possède une bonne résistance à l'usure grâce à son bon rendement ($\approx 0,9$)
- Son coût est faible
- Son étude est simple car la relation liant ses grandeurs d'entrée et de sortie est linéaire.

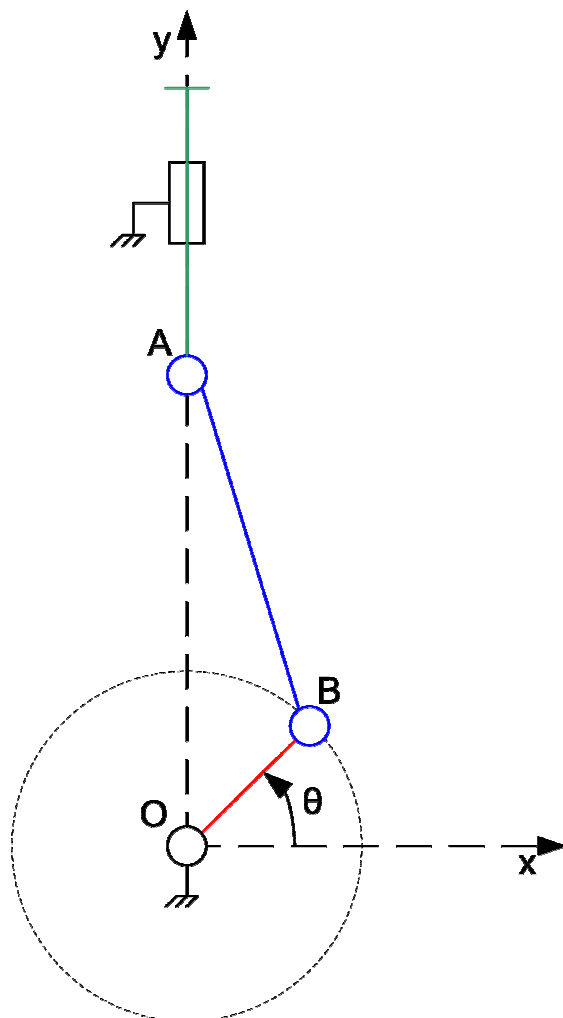
Points négatifs :

- Cette solution étant réversible, elle nécessite un moyen pour bloquer le mouvement. Par exemple un réducteur important impliquant un moteur plus rapide.
- La mise en place d'un galet afin de maintenir le pignon et la crémaillère en position rend la mise en œuvre assez complexe.
- Cette solution nécessite elle aussi la conception d'un dispositif pour articuler le système « Pignon-crémaillère-galet » afin de suivre la trajectoire circulaire du point d'ancrage sur la plaque.

c) Système bielle-manivelle

Cette solution consiste à utiliser la rotation de l'axe de sortie de moteur ainsi que le couple engendré à travers une manivelle reliée à une bielle fixée à la plaque. Cette association

de bielle-manivelle, prenant une forme de coude, est notamment utilisée dans les moteurs à explosion. Cela permet de donner au piston un mouvement de translation. Cependant, dans notre cas, le point d'ancrage ne subira pas exactement une translation mais une rotation avec un diamètre assez grand, ce qui nous donne comme trajectoire un arc de cercle.



achevé.

- Le mouvement n'est pas linéaire.

L'inconvénient de ces renvois d'angles est qu'ils entraînent une relation entrée sortie complexe. Les trajectoires angulaires induisent des accélérations non voulues dans certaines phases de fonctionnement du mécanisme.

La relation liant les différentes grandeurs de cette liaison est la suivante :

$$OA = OB \cdot \sin(\theta) + BA \cdot \cos\left(\arcsin\left(\frac{OB \cdot \cos(\theta)}{BA}\right)\right)$$

On peut immédiatement constater que cette relation est complexe. Cela implique un calcul important de correspondance entre les grandeurs d'entrée et de sortie, à moins que l'on puisse, en définissant judicieusement les grandeurs mécaniques, simplifier le mouvement.

Voici un compte rendu des avantages et inconvénients de ce mécanisme :

Points positifs :

- Cette solution possède un rendement quasiment égal à 1.
- Son coût est faible.
- Elle est peu encombrante.

Points négatifs :

- Cette solution est réversible ; elle nécessite un moyen pour bloquer le mouvement une fois la mise en position

d) Choix définitif

Après études de nos trois solutions, nous pouvons mettre en place le tableau suivant pour les principaux avantages et inconvénient ayant orientés notre choix:

Vis écrou		Bielle manivelle		Pignon crémaillère	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
Non réversibilité	Rendement médiocre	Rendement excellent	Non linéarité du mouvement	Bon rendement	Fabrication contraignante
	Fabrication contraignante	Construction aisée			

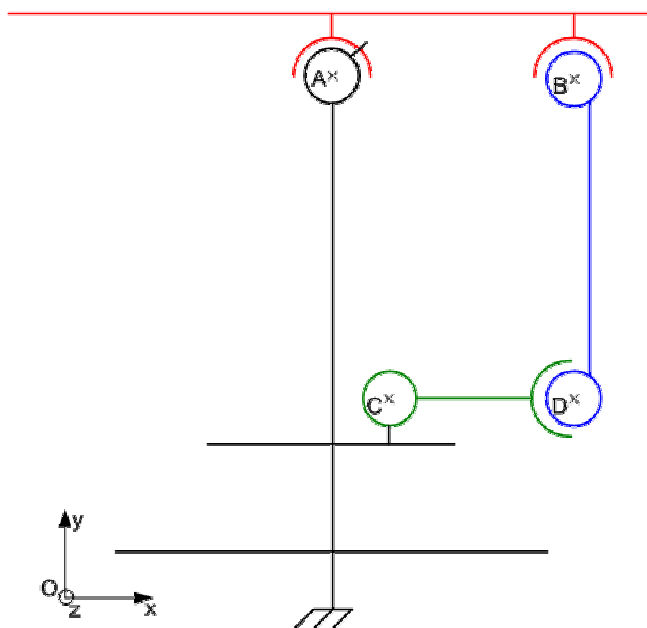
Après cette étude comparative, notre choix se porte donc sur le système bielle-manivelle pour sa construction aisée et son rendement proche de 1. De plus son coût n'est pas excessif, c'est donc la solution optimale pour notre projet. Nous allons donc l'étudier en détail afin de parer à son principal défaut : la non linéarité du mouvement.

Les mécanismes pignon-crémaillère et vis-écrou sont trop compliqués à mettre en place. De plus, ils sont encombrants et dans le cas du système vis-écrou, le rendement est bien trop faible pour rendre le système rentable. Ce système pourrait être utilisé si nous recherchions plus une précision qu'une vitesse, solution qui n'est pas acceptable dans notre cas car nous privilégions l'accélération (et donc la vitesse).

2. Schéma cinématique final

Le schéma cinématique ci-dessous reprend nos choix en matière de mécanisme. On constate la présence de la rotule à doigt pour l'articulation de la plaque. Cette rotule à doigt symbolisant le cardan. On remarque également le système bielle manivelle, avec une bielle articulée par des rotules, ce qui entraîne des degrés de liberté supplémentaire et non nécessaire mais qui ne gêne en rien le fonctionnement du système.

Enfin, on remarquera que ce schéma cinématique n'est en fait qu'un demi-schéma. On ne représente en effet que la moitié du mécanisme, l'autre étant strictement identique et disposé orthogonalement.

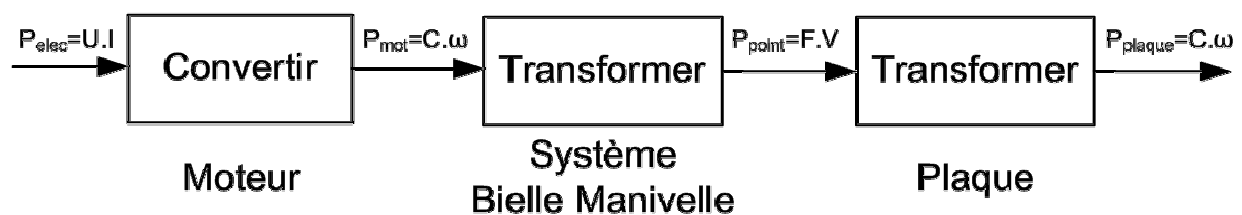


Avec :

- En A, une liaison rotule à doigt de rotation bloqué y
- En B, une rotule
- En C, un pivot d'axe z
- Et en D, une rotule

3. Chaîne d'énergie

Le mécanisme de notre système s'apparente donc à cette chaîne de transmission de puissance :



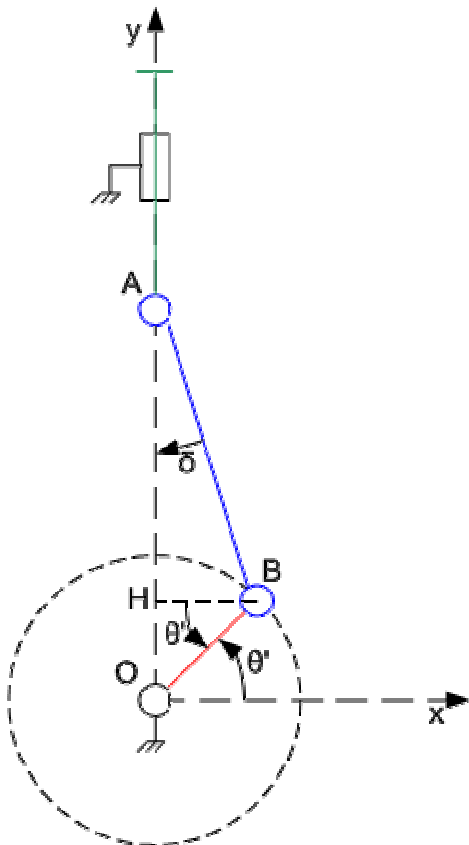
Dans la partie qui va suivre, nous allons tenter d'établir une relation entre les grandeurs de sortie du moteur et les grandeurs de la plaque.

4. Etude du mouvement

Cette sous-partie a pour but d'établir la relation liant le mouvement du moteur avec celui de la plaque. Nous étudierons tout d'abord la transformation du mouvement due au système bielle manivelle, puis nous considérerons l'ensemble « Bielle manivelle-Plaque » comme un seul et unique mécanisme de transformation pour aboutir à une relation linéaire entre les vitesses de rotation de la plaque et du moteur.

a) Relation entrée-sortie du système bielle-manivelle

Afin de déterminer la relation entrée-sortie d'un mécanisme bielle-manivelle, considérons le schéma ci-dessous :



On pose :

$$OA = OH + HA$$

Or OH se trouve facilement par trigonométrie :

$$OH = OB \cdot \sin(\theta)$$

Pour déterminer HA, on utilise également des relations trigonométriques mais en ajoutant un angle inconnu :

$$HA = BA \cdot \cos(\delta)$$

On détermine δ tel que :

$$\sin(\delta) = \frac{BH}{BA} \Leftrightarrow \delta = \arcsin\left(\frac{BH}{BA}\right)$$

Il ne nous reste plus qu'à trouver la longueur BH :

$$BH = OB \cdot \cos(\theta)$$

Enfin, on injecte successivement les résultats trouvés pour obtenir la relation finale :

$$\delta = \arcsin\left(\frac{OB \cdot \cos(\theta)}{BA}\right)$$

$$HA = BA \cdot \cos\left(\arcsin\left(\frac{OB \cdot \cos(\theta)}{BA}\right)\right)$$

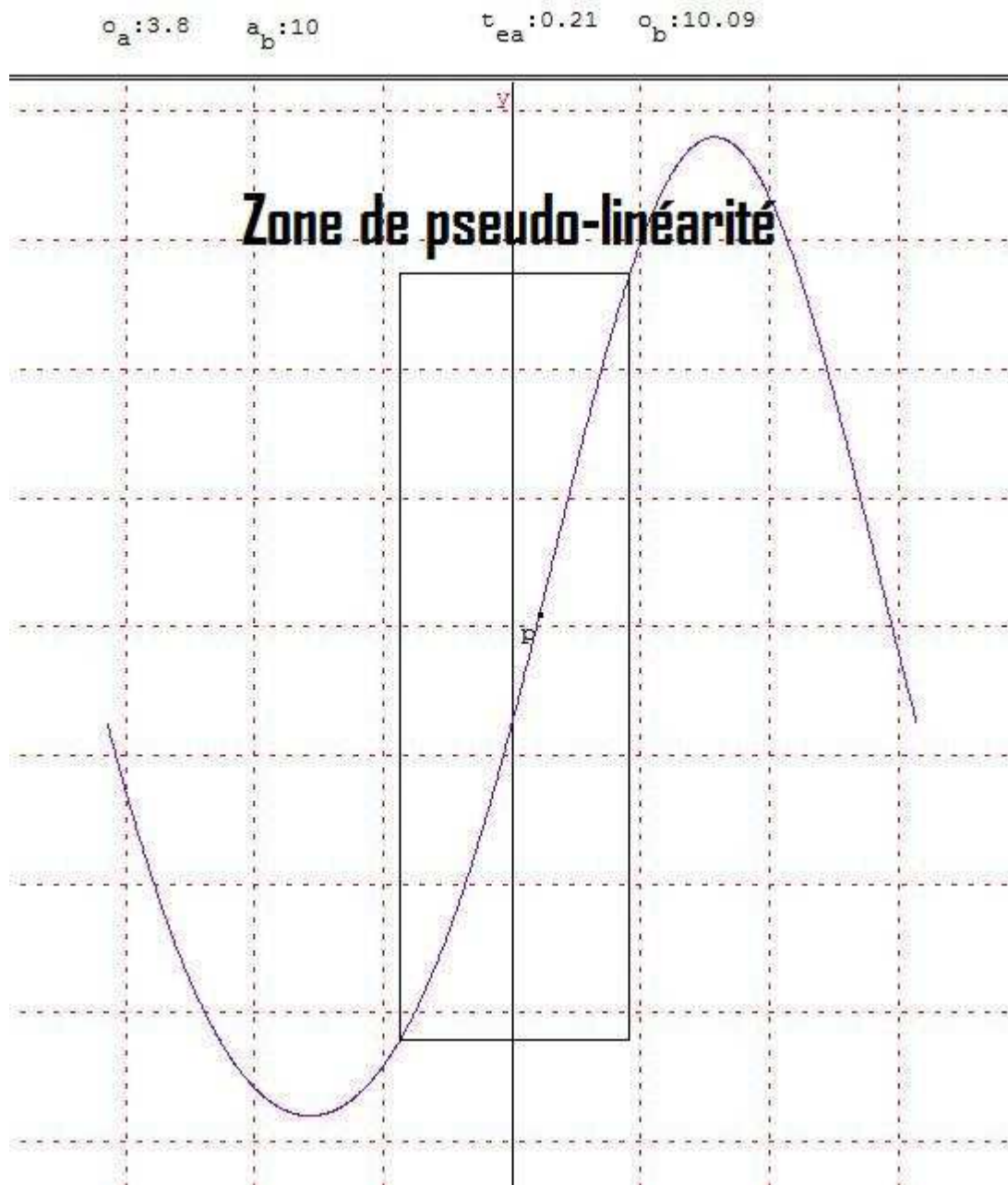
$$OA = OB \cdot \sin(\theta) + BA \cdot \cos\left(\arcsin\left(\frac{OB \cdot \cos(\theta)}{BA}\right)\right)$$

On constate donc que la formule liant l'angle θ avec la distance OA n'est pas une relation de proportionnalité. Or, afin d'obtenir un comportement de la plaque le plus proche possible des mouvements à simuler, nous devons avoir un mouvement qui soit le plus linéaire possible. En effet, si la relation entrée-sortie de notre mécanisme n'est pas linéaire, nous obtiendrons sur certaines plages d'utilisation des accélérations inopinées qui viendraient gêner le fonctionnement global. Par exemple, l'accélération ressentie ne serait pas celle voulue par l'utilisateur.

b) Simulation informatique

Afin de parer à ces problèmes de linéarité, nous avons tout d'abord effectué une simulation informatique du système bielle manivelle. Grâce à cet outil, nous avons put définir la plage d'utilisation de ce mécanisme dans laquelle le mouvement était acceptable ainsi que les dimensions des pièces constituante permettant d'obtenir la relation la plus linéaire possible.

Tout d'abord, nous avons entré la formule régissant le mécanisme bielle-manivelle dans le logiciel de graphiques mathématiques Geoplan. Grâce à lui, nous avons pu observer la distance OA (c'est-à-dire la course du mécanisme) en fonction de l'angle θ d'entrée. Nous avons également put faire varier les dimensions de la bielle et de la manivelle afin de choisir les valeurs les plus acceptables.

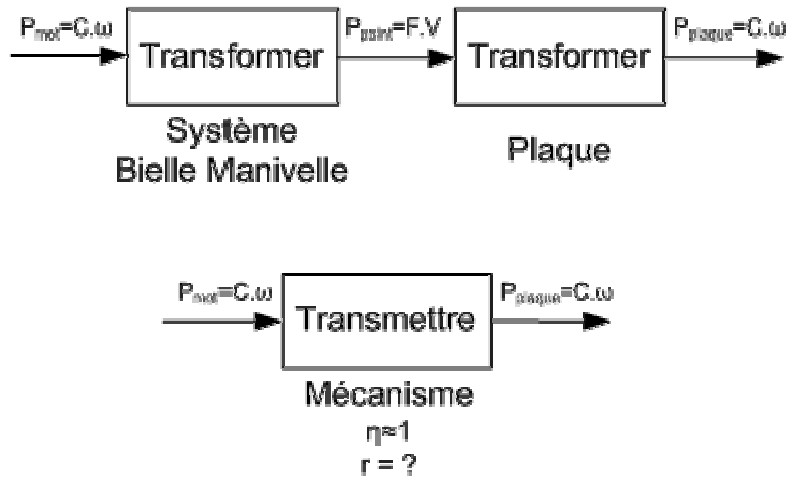


Il est ressortie de cette simulation que nous ne devons travailler avec un angle θ se situant dans la plage $-\pi/4 ; \pi/4$ par rapport à la perpendiculaire à la course ainsi qu'avec une valeur de manivelle la plus importante possible.

c) Relation entrée-sortie du mécanisme de transformation

i) Chaîne d'énergie

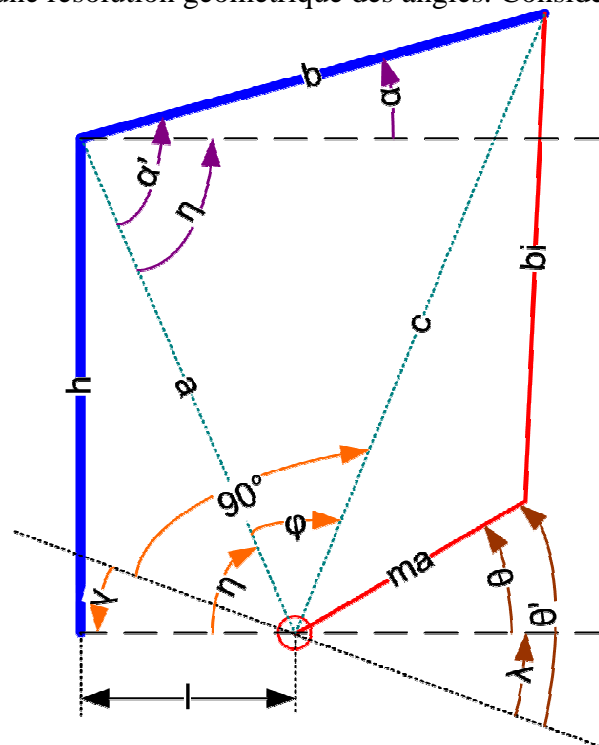
Nous allons maintenant chercher une relation linéaire entre l'angle du moteur et l'angle de la plaque. Pour cela, nous simplifions la chaîne d'énergie comme suit en regroupant les effets du système bielle manivelle et de la plaque comme un seul est même mécanisme de transmission du mouvement :



ii) Considérations géométrique

Nous cherchons donc à déterminer r . Pour cela, après plusieurs essais, nous sommes parvenus à la conclusion qu'en position repos, c'est-à-dire au neutre, quand l'angle de la plaque par rapport à l'horizontale est égal à zéro, la manivelle doit également former un angle de zéro degrés par rapport à l'horizontale. Nous posons donc cela comme condition initiale.

Ensuite, nous allons, à partir de la relation « bielle-manivelle » que nous venons de montrer, entreprendre une résolution géométrique des angles. Considérons le schéma suivant :



iii) Calculs

On peut tout d'abord appliquer directement la formule de transformation « bielle manivelle » liant c et θ' . Cette formule a été établie en partie b). On a donc :

$$c = ma \cdot \sin(\theta') + bi \cdot \cos(\arcsin(\frac{ma \cdot \cos(\theta')}{bi}))$$

Il nous faut désormais exprimer θ' en fonction de θ . Pour cela, on utilise des considérations géométriques simples :

$$\theta' = \lambda + \theta$$

$$\lambda = \eta - ((\frac{\pi}{2}) - \varphi)$$

$$\eta = \arcsin(\frac{h}{l})$$

Pour déterminer φ , on utilise les relations d'angle dans un triangle quelconque. En appliquant le théorème d'Al Kashi, on obtient :

$$\varphi = \arccos(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c})$$

Avec a déterminé grâce au théorème de Pythagore :

$$a = \sqrt{h^2 + l^2}$$

Il se pose alors un problème. On souhaite déterminer θ' en fonction de θ . Or, nous souhaitons connaître θ' afin de déterminer c ... Il y donc un problème de variables. Nous ne pouvons pas utiliser c pour calculer φ car nous ne connaissons pas, à ce stade du raisonnement, c .

Nous allons donc utiliser une astuce mathématique pour résoudre ce problème, en définissant une relation de récurrence dans la détermination de φ . En effet, on peut considérer que la longueur c ne varie que très peu entre deux angles successifs de θ . C'est à dire :

$$\lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} c - c_{-1} = 0$$

On obtient donc la définition de φ par récurrence telle que :

$$\varphi = \arccos(\frac{a^2 + c_{-1}^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c_{-1}})$$

Nous ne pourrions donc calculer les correspondances α - θ que de proche en proche c'est à dire à l'aide d'un tableur.

On conclut donc par la formule de θ' :

$$\theta' = \arcsin(\frac{h}{l}) - (\frac{\pi}{2}) + \arccos(\frac{a^2 + c_{-1}^2 - b^2}{2 \cdot a \cdot c_{-1}})$$

Penchons nous maintenant sur l'angle α de la plaque par rapport à l'horizontale. On établit géométriquement :

$$\alpha' = \eta + \alpha \Leftrightarrow \alpha = \alpha' - \eta$$

On a vu que η était tel que :

$$\eta = \arcsin\left(\frac{h}{l}\right)$$

Et α' se trouve aisément grâce, encore une fois, au théorème d'Al Kashi :

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2.a.b}\right)$$

Donc finalement :

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2.a.b}\right) - \arcsin\left(\frac{h}{l}\right)$$

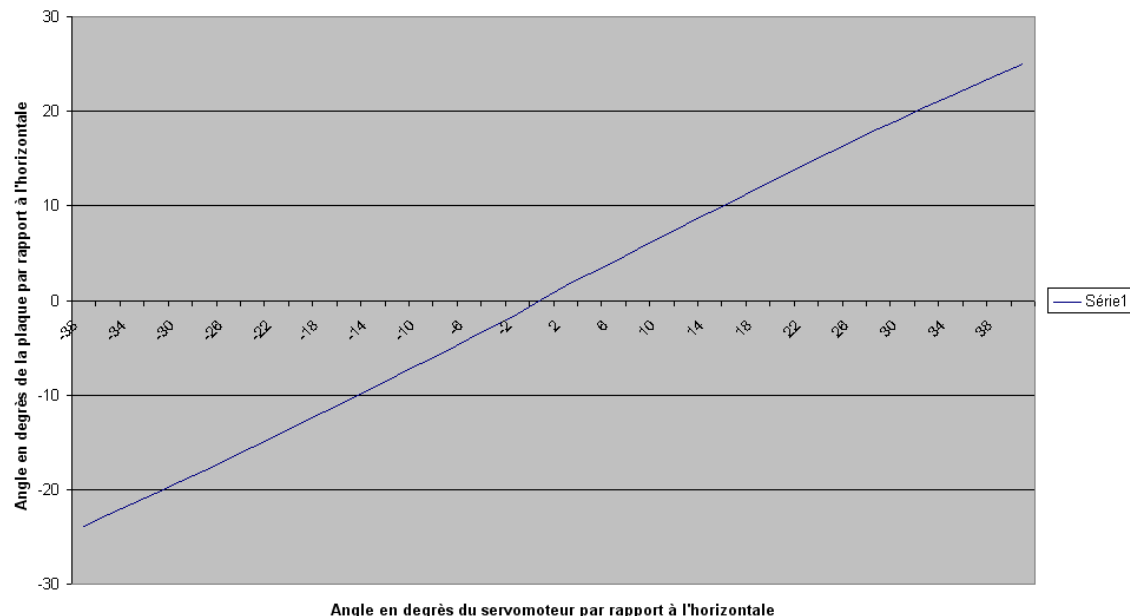
On en déduit la relation finale entre θ et α qui est très complexe. Comme annoncé, nous devons effectuer ces calculs grâce à un tableur à cause de la relation de récurrence. De plus, nous laisserons la formule scindée de façon à calculer étape par étapes, dans un tableau, les différentes valeurs des angles α en fonction de θ .

iv) Détermination du rapport de transformation

Avec les formules établies précédemment, nous avons créé une feuille de calcul Excel qui met en relation α en fonction de θ . Dans ce fichier, il est possible de modifier les valeurs des constantes (longueurs de bielle, manivelle, distance du point d'ancrage au centre de rotation, etc...) Après avoir déterminé grossièrement des valeurs de constantes (graphiquement) nous avons généré un graphique représentant la relation de transformation du mouvement. Ce graphique est linéaire, son coefficient directeur est le rapport de transmission du système.

La feuille de calculs Excel avec le tableau de correspondance des angles est disponible en annexe 2

Equivalence d'angle entre le servomoteur et la plaque



Les étapes du calcul sont décrites dans le schéma ci-dessous avec en titre la valeur calculée, en gras les variables et en italique les constantes :

	θ	\rightarrow	θ'	\rightarrow	C	\rightarrow	α'	\rightarrow	α
Variable d'entrée	θ		θ'		C		α'		α
	$C-1$		ma		a		a		
	a		bi		b		b		
	b								

Après avoir tracé une courbe de tendance linéaire de ce graphique, nous en avons déterminé le coefficient directeur. Le rapport de transmission est donc 0,64 pour les dimensions mécanique déterminée ci-après.

C. Choix des composants mécaniques

Une fois toutes les solutions technologiques choisies, nous devons déterminer leurs caractéristiques. C'est ce qui est décrit dans cette partie. Comment déterminer les longueurs des pièces mécaniques, comment dimensionner le moteur, quel type de moteur choisir, etc...

1. Bielle et manivelle

Pour déterminer les dimensions du système bielle manivelle, nous avons tout d'abord procédé à une résolution graphique :

Nous souhaitons un mouvement linéaire. Nous avons pris pour condition initiale que la plaque en position zéro, c'est-à-dire à l'horizontale, serait maintenu par une bielle également en position zéro. De plus, nous avons établis que toujours en position zéro, la bielle et la manivelle devaient former un angle droit. Cette hypothèse est une des conditions à la linéarité du mouvement. Ainsi, en reprenant le schéma précédant, on pose $h=bi$ et $b=l+ma$.

La longueur de la bielle importe peu, par contre, celle de la manivelle est cruciale. Nous avons en effet pour contrainte un débattement de 50° de la plaque. De plus, la manivelle ne peut, pour des raisons géométriques établies dans l'étude informatique (Géoplan) de la liaison bielle-manivelle, osciller qu'entre -55° et $+55^\circ$ par rapport à la course. Cela équivaut à un angle de la manivelle par rapport à l'horizontale de maximum 40° , la valeur critique minimum n'étant jamais atteinte. En conséquence, nous souhaitons obtenir, pour un débattement de la plaque de 50° , un débattement du moteur de 80° soit environ un rapport de $2/3$. Nous avons donc choisis une bielle dans le catalogue Conrad la plus grande possible, et avons décidé de la fixer à $3/2$ de sa longueur du point de rotation de la plaque.

Soit des valeurs telles que :

- Manivelle : 3,8cm
- Bielle : 10cm ($h=10$ cm)
- Et un point d'ancrage sur la plaque à 5,8cm du point de rotation ($b=5,8$ cm et $l=2$ cm)

Une fois ces grandeurs choisies, nous avons déterminé la relation entrée-sortie finale entre θ et α grâce au tableur Excel, en entrant nos constantes mécanique dans la feuille de calcul définie en b. Soit un rapport de transmission de 0,64.

2. Calculs inertiels et couple nécessaire

Maintenant que le problème d'angle est réglé, reste à déterminer les caractéristiques minimales du moteur à utiliser. Récapitulons les différentes contraintes que nous nous sommes imposées :

La plaque doit passer de la position basse à la position haute en une demi-seconde minimum, soit une vitesse angulaire de 100° par seconde. De plus, elle doit pouvoir atteindre

cette vitesse en 0,2 secondes seulement, soit une accélération angulaire de $500^\circ/\text{s}^2$ minimum. Enfin, elle doit pouvoir supporter et mettre en mouvement une masse d'environ 100g à son extrémité.

Pour déterminer le couple moteur nécessaire, nous allons tout d'abord calculer le couple minimum au niveau de la plaque pour respecter notre cahier des charges.

Pour cela, on se propose de décomposer le problème. Nous calculerons en premier lieu le couple statique nécessaire à maintenir l'équilibre d'une masse de 100 g en bout de plaque, puis le couple dynamique pour mettre en mouvement la plaque et la masse.

On pose :

$$C_{total} = C_{statique} + C_{dynamique}$$

a) Calcul du couple statique

Pour calculer le couple statique, on se place dans le cas le plus défavorable c'est-à-dire lorsque tout le vecteur poids génère le couple. Le cas le plus critique est donc lorsque la plaque est à l'horizontale et que la direction du poids est perpendiculaire au bras de levier. Avec P le poids en Newtons et r le bras de levier en mètres on a :

$$C_{statique} = P_{masse} \cdot r \Leftrightarrow C_{statique} = m_{masse} \cdot g \cdot r$$

En prenant $g=9,81 \text{ N/kg}$ et le bras de levier dans le cas le plus défavorable c'est-à-dire à l'extrémité de la diagonale de la plaque, on obtient :

$$C_{statique} = 0,1 \times 9,81 \times 0,212 = 0,21 \text{ N.m}$$

b) Calcul du couple dynamique

Le couple dynamique est lié au moment d'inertie et à l'accélération angulaire du système. Le moment d'inertie représente la difficulté à faire varier le mouvement de rotation d'un solide. Il dépend de la géométrie du solide et de sa masse. On se propose de calculer la valeur minimale de ce couple dynamique afin de respecter le cahier des charges tout en prenant compte que le moteur choisi aura certainement des caractéristiques supérieures à ces minimas. On pose donc :

$$C_{dynamique} = \alpha_{plaque} \cdot J_{total} \text{ avec } \begin{cases} C_{plaque} \text{ le couple de la plaque en } N.m \\ \alpha_{plaque} \text{ l'accélération angulaire de la plaque en } m.s^{-2} \\ J_{total} \text{ le moment d'inertie total de la plaque en } kg.m^2 \end{cases}$$

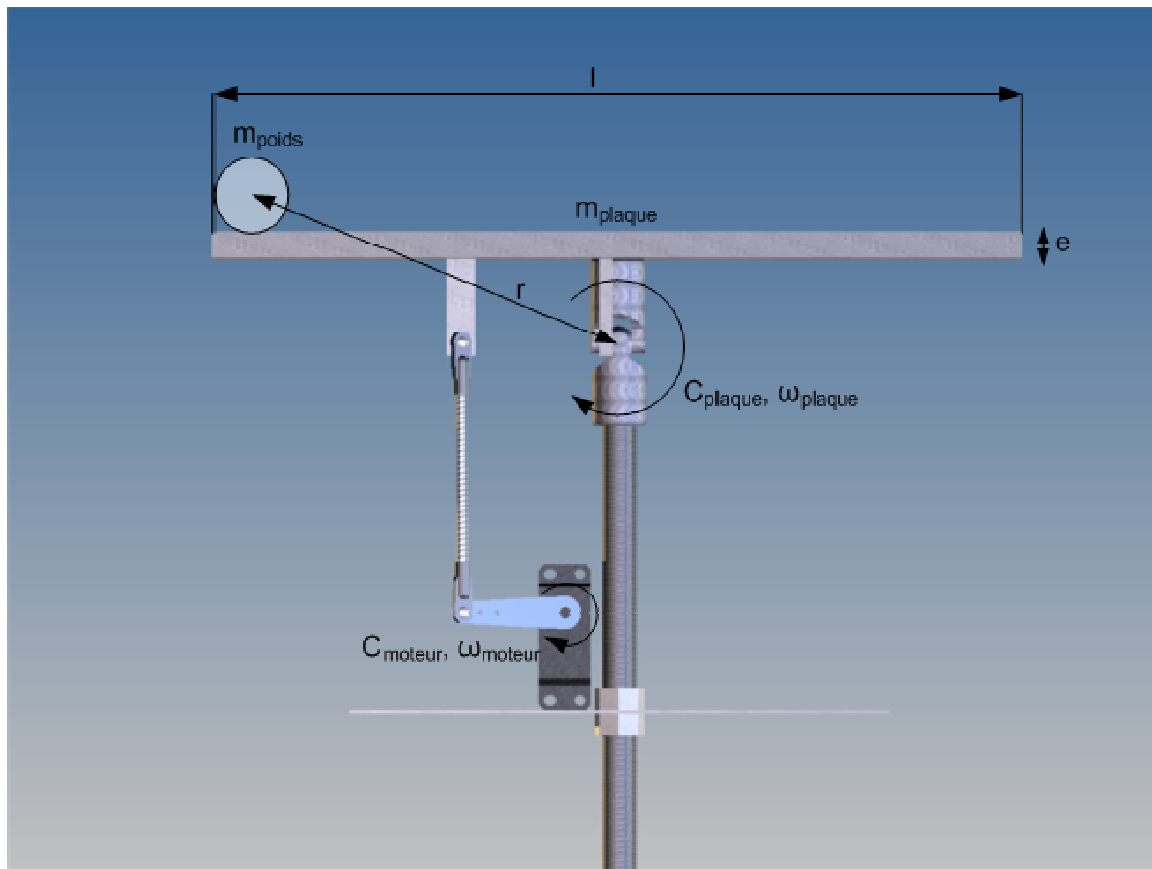
D'après le cahier des charges, l'accélération angulaire minimale est $500^\circ/\text{s}^2$, c'est-à-dire que la plaque doit pouvoir atteindre sa vitesse angulaire nominale en 0,2 secondes.

J_{total} est la somme des moments d'inertie de notre système composé de la plaque et de la masse. En effet, les moments d'inertie s'additionnent, on a donc :

$$J_{total} = J_{plaque} + J_{poids}$$

La situation est résumée par l'illustration ci-dessous. A noter que l'on considèrera la plaque comme étant située sur l'axe de rotation est non désaxée comme indiqué sur le schéma. De même pour la masse qui est considérée comme alignée à l'horizontale par rapport à l'axe de rotation. Ces approximations sont nécessaires pour simplifier le calcul et

n'entraînent qu'une erreur minime. En effet, le couple statique ne tient compte que du bras de levier de la masse (invariant), et ce couple statique est bien supérieur au couple dynamique.



Maintenant survient la difficulté principale de cette partie. En effet, contrairement à l'accélération angulaire qui est une notion connue, nous ne sommes pas habitués à travailler avec des moments d'inertie. De plus, les calculs de tels moments sont complexes car faisant appels à des notions mathématiques telles que les intégrales. Cependant, on peut trouver sur internet des formules que nous considérerons admises, et qui permettent d'exprimer le moment d'inertie de notre plaque.

Pour notre plaque, le moment d'inertie qui nous intéresse étant perpendiculaire à sa tranche, nous pouvons associer notre plaque à un axe de longueur L (même longueur qu'un côté de notre plaque) pondéré de la masse de notre plaque.

Nous avons pu définir par analyse dimensionnelle que l'unité d'un moment d'inertie est le produit d'une masse par une longueur élevée au carré. Ce qui confirme les informations tirées de Wikipédia.

Le plus simple est de calculer le moment d'inertie de la masse. On a :

$$J_{masse} = m_{masse} \cdot r^2 \text{ avec } \begin{cases} J_{masse} & \text{le moment d'inertie du point pondéré en } kg.m^2 \\ m_{masse} & \text{la masse du point en } kg \\ r & \text{la distance du point à l'axe de rotation en } m \end{cases}$$

Soit pour une masse de 100g situé à l'extrémité de la diagonale de la plaque :

$$J_{masse} = 0,1 \times (0,21)^2 = 4,4 \times 10^{-3} kg.m^2$$

Calculons maintenant le moment d'inertie de notre plaque. On pose, d'après une formule admise :

$$J_{\text{plaque}} = \frac{m \cdot (l^2 + e^2)}{12} \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} J_{\text{plaque}} \text{ le moment d'inertie de la plaque en } kg.m^2 \\ m \text{ la masse de la plaque en } kg \\ l \text{ la longueur de la plaque en } m \\ e \text{ l'épaisseur de la plaque en } m \end{array} \right.$$

Dans notre cas, nous avons une plaque en aluminium, dont la masse a été mesurée expérimentalement, de dimensions :

- $l = 30\text{cm}$
- $m = 500\text{g}$
- $e = 2\text{mm}$

On a donc :

$$J_{\text{plaque}} = \frac{0,5 \cdot (0,3^2 + 0,002^2)}{12} = 3,75 \times 10^{-3} kg.m^2$$

De ce fait, on obtient :

$$J_{\text{total}} = J_{\text{plaque}} + J_{\text{poids}} = 3,75 \times 10^{-3} + 4,4 \times 10^{-3} = 8,15 \times 10^{-3} kg.m^2$$

c) Couple total

Avec les données trouvées précédemment, nous pouvons donc calculer le couple de notre plaque. Nous avons fait le choix dans le cahier des charges d'une accélération égale à $500^\circ/s^2$ minimum. Par conséquent, nous pouvons calculer le couple dynamique de la plaque :

$$C_{\text{dynamique}} = \alpha_{\text{plaque}} \cdot J_{\text{total}} = \frac{500 \times 2\pi}{360} \times 8,15 \times 10^{-3} = \frac{25\pi}{9} \times 8,15 \times 10^{-3} = 0,07 N.m$$

Connaissant C_{statique} on peut donc calculer le couple total minimal de la plaque.

$$C_{\text{plaque}} = C_{\text{dynamique}} + C_{\text{statique}} = 0,07 + 0,21 = 0,28 N.m$$

Nous avons donc obtenu un couple au niveau de la plaque. Cependant, nous cherchons le couple moteur. Pour cela, il faut d'abord considérer qu'il y a conservation de la puissance mécanique entre le moteur et la plaque, car on considère le rendement de la liaison bielle manivelle comme égal à 1. Nous pouvons donc conclure que la puissance mécanique au niveau de la plaque est égale à la puissance mécanique au niveau du moteur.

En appliquant le rapport de transmission de notre mécanisme, on peut aisément trouver le couple minimal nécessaire du moteur :

$$C_{\text{moteur}} = C_{\text{plaque}} \cdot r = 0,28 \times 0,64 = 0,18 N.m$$

En conclusion, un couple moteur de 0,18 N.m minimum est nécessaire afin de respecter le cahier des charges.

3. Choix du moteur

Nous possédons maintenant toutes les caractéristiques nécessaires pour déterminer notre moteur. En effet, nous avons pour contrainte une vitesse de rotation de la plaque, on connaît de couple moteur minimal nécessaire et on connaît également le rapport de transmission de notre mécanisme. Reste donc à choisir le moteur, mais avant cela, il nous faut déterminer le type de moteur.

a) Type de moteur

Nous avons le choix, pour la réalisation pratique du projet, d'utiliser soit un moteur à courant continu ou un servomoteur. Le choix a été rapide. Sur de petites puissances, les servomoteurs sont largement suffisants. De plus, ils ont plusieurs avantages indiscutables.

Tout d'abord, le moteur à courant continu doit obligatoirement être couplé à un réducteur pour l'utilisation que l'on souhaite en faire, le servomoteur, lui, intègre déjà un réducteur en son sein. Ensuite, le moteur à courant continu n'effectue qu'une simple rotation quand il est alimenté, il nécessite donc des capteurs angulaires pour déterminer l'angle parcouru. A l'inverse, le servomoteur intègre un dispositif d'asservissement angulaire. Il nous suffit d'envoyer une information d'angle au servomoteur et celui-ci se charge de mettre en position le mécanisme. Enfin, le moteur CC doit être piloté par une interface et son sens de rotation doit pouvoir être inversé.

De fait, il nécessite l'emploi d'un pont en H et d'une interface de puissance pour le commander ce qui le rend particulièrement contraignant à mettre en œuvre. Le servomoteur, lui, est simplement alimenté et se charge de l'interfaçage de son propre moteur par son électronique interne.

Par conséquent, nous choisirons l'emploi de servomoteurs pour d'évidente raison de commodité.

b) Détermination du servomoteur

A partir des données que nous avons calculées tout au long de ce dossier, nous allons choisir un servomoteur qui convienne en termes de caractéristiques et surtout de prix.

i) Choix

Tout d'abord, exprimons les caractéristiques que devra observer (au minimum) notre servomoteur :

- Un couple de 0,18N.m
- Une vitesse angulaire de 156°/s (la vitesse de la plaque divisée par le rapport de transmission)

Après avoir comparé les prix des servomoteurs correspondants à nos attentes, nous en avons choisi un qui possède des caractéristiques environ deux fois supérieures à nos attentes, laissant ainsi une marge de manœuvre raisonnable.

Ainsi, nous avons choisi et commandé dans le catalogue Conrad un servomoteur analogique de la marque Modelcraft, le modèle RS-2. Voici ces caractéristiques :

- Couple de 0,32N.m
- Vitesse de réglage de 0,19s/60° à vide soit une vitesse en régime établi de 315°/s

ii) Vérification de conformité au cahier des charges

On va maintenant vérifier que l'accélération maximale du servomoteur est suffisante pour respecter notre cahier des charges.

On commence par calculer le couple et la vitesse disponible au niveau de la plaque en régime établi, c'est-à-dire hors accélération :

$$C_{\text{plaque}} = \frac{C_{\text{moteur}}}{r} = \frac{0,32}{0,64} = 0,5 \text{ N.m} \quad \text{et} \quad \omega_{\text{plaque}} = \omega_{\text{moteur}} \cdot r = 315 \times 0,64 = 201 \text{ deg.s}^{-1}$$

Ensuite, on exprime le couple dynamique disponible pour la plaque en tenant compte du fait que le couple statique reste invariant. On obtient donc :

$$C_{\text{plaque}} = C_{\text{statique}} + C_{\text{dynamique}} \Leftrightarrow C_{\text{dynamique}} = C_{\text{plaque}} - C_{\text{statique}}$$

$$C_{\text{dynamique}} = 0,5 - 0,21 = 0,29 \text{ N.m}$$

Connaissant le couple dynamique disponible et le moment d'inertie de la plaque, on peut maintenant exprimer l'accélération maximale possible de la plaque. Ainsi :

$$C_{\text{dynamique}} = \alpha_{\text{plaque}} \cdot J_{\text{total}} \Leftrightarrow \alpha_{\text{plaque}} = \frac{C_{\text{dynamique}}}{J_{\text{total}}} = \frac{0,29}{8,15 \times 10^{-3}} = 35,6 \text{ rad.s}^{-2} = 2040^\circ/\text{s}^2$$

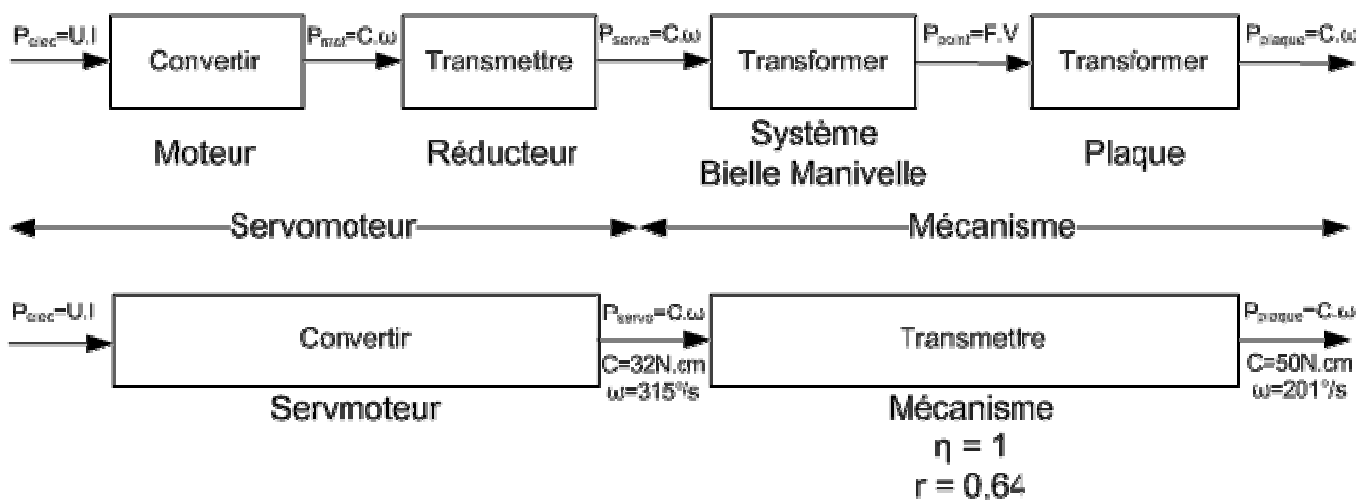
On constate que cette valeur est bien supérieure à la contrainte de $500^\circ/\text{s}$ du cahier des charges. Le servomoteur choisi correspond donc parfaitement à nos attentes.

Par ailleurs, on souhaite calculer la durée nécessaire au servomoteur pour atteindre sa vitesse nominale. On définit cette durée en tenant compte de la vitesse à atteindre et de l'accélération. On a donc :

$$\alpha_{\text{plaque}} = \frac{\omega_{\text{plaque}}}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{\omega_{\text{plaque}}}{\alpha_{\text{plaque}}} = \frac{201}{2040} \simeq 0,1 \text{ s}$$

iii) Chaîne d'énergie finale

Enfin, on peut maintenant construire la chaîne d'énergie réelle et finale de notre système en prenant toutes les valeurs précédemment calculées. Le système est donc l'assemblage des composants mécaniques suivants :

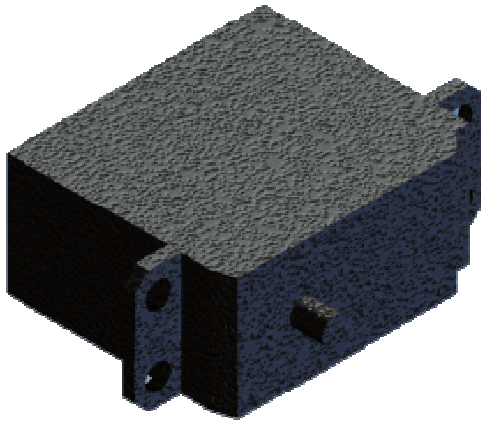


D. Modélisation informatique

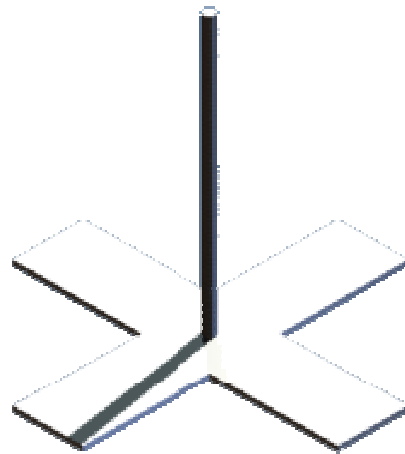
Afin de vérifier nos calculs et pour illustrer le présent dossier, nous avons réalisé une maquette 3D de notre système à l'aide du logiciel Autodesk Inventor.

1. Modélisation des pièces

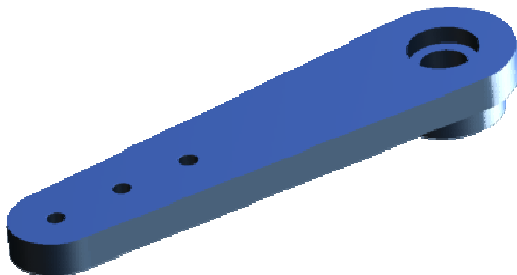
La première étape est de modéliser les pièces mécaniques aux strictes dimensions des pièces réelles. Voici un aperçu des pièces les plus intéressantes du projet :



Un des corps de servomoteur



Le support du système



Un des palonniers (ou manivelle)



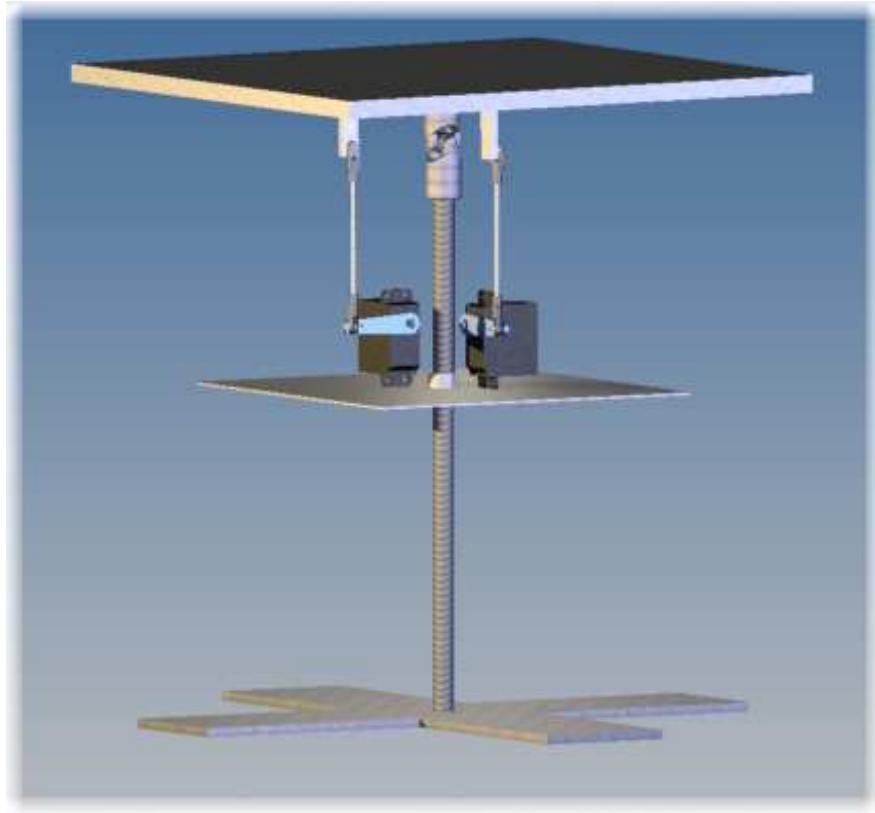
Une des rotules

2. Assemblage

Après avoir modélisé toutes les pièces, on les assemble à l'aide de contraintes. On obtient un assemblage que l'on peut ensuite utiliser pour simuler des calculs ou mettre en plan le système en vue d'une fabrication.

Une mise en plan de l'assemblage avec les cotes utiles aux calculs de transmission est disponible en annexe 9 de ce dossier.

Voici le résultat fini :



3. Simulation dynamique et vérifications

A l'aide de l'outil de simulation dynamique d'Inventor, nous avons pu vérifier nos calculs sur la transformation du mouvement. En effet, il est possible d'afficher les valeurs des angles en fonction du temps. Ainsi, en paramétrant la liaison entre le palonnier et le corps du servomoteur, on peut simuler une rotation et récupérer en sortie les valeurs d'angle de la plaque associées.

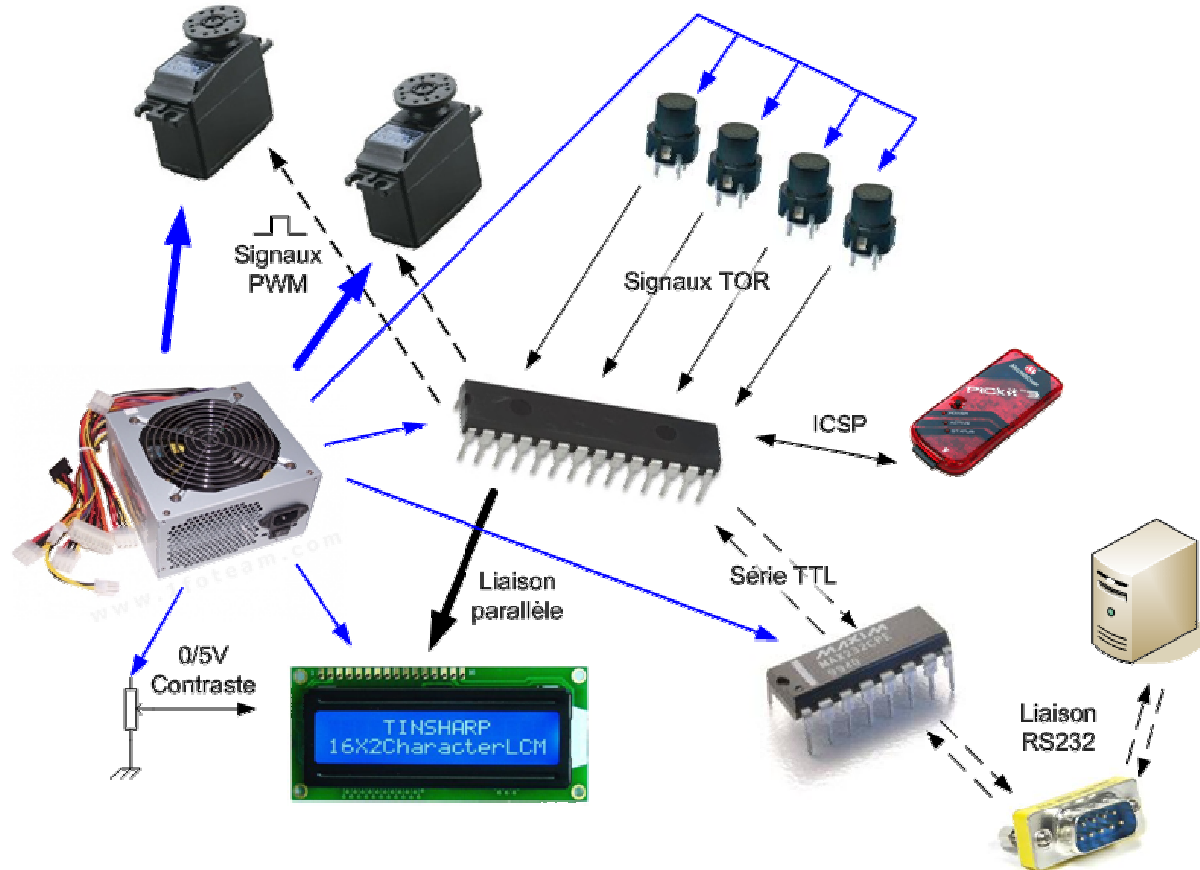
De plus, l'outil de simulation dynamique permet de créer une animation réaliste du système pour en faire une présentation par exemple.

III. Etude électronique

Dans cette section, nous vous présenterons la partie électrotechnique du projet. Y seront détaillés les fonctionnements des circuits que nous utilisons (MAX 232, Microcontrôleur, Afficheur LCD, etc...) ainsi que la conception de la carte électronique.

A. Architecture générale

L'architecture électronique est articulée en étoile autour du microcontrôleur. Il centralise les informations et communique avec les autres composants. On remarque différents types de signaux : des signaux logiques, de puissance, des données numérique parallèles ou séries. Les signaux logiques proviennent des boutons poussoir servant d'interface utilisateur, les données numériques transitent entre l'afficheur LCD et le microcontrôleur en liaison parallèle, et entre le MAX232 et le microcontrôleur en liaison série. L'alimentation dessert tous les composants électroniques en 5V et alimente également les servomoteurs en puissance. A noter que des signaux PWM, à rapport cyclique variable, circulent entre le microcontrôleur et les servomoteurs, la période à l'état haut étant utilisé pour l'asservissement angulaire du servomoteur.



B. Etude théorique et choix des composants

1. Microcontrôleur

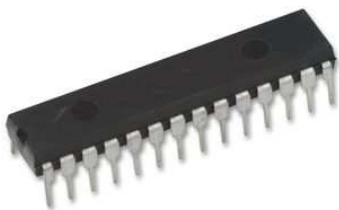
a) Introduction

Notre plateforme reçoit les valeurs-consignes des angles de la plaque (tilt et roll) voulus d'une liaison avec un ordinateur, que l'on appellera « Serveur ». Le système doit donc être capable de communiquer avec ce serveur. Il doit également, conformément au cahier des charges, communiquer les informations angulaires à l'utilisateur grâce à l'afficheur LCD, gérer les ordres obtenus grâce à l'interface utilisateur, et commander les servomoteurs.

Ces fonctions nécessitent l'utilisation d'un circuit de logique programmé, capable de gérer les informations à sa disposition (en binaire), de les analyser et d'interagir avec son environnement. Nous utiliserons donc un microcontrôleur.

Le fonctionnement global d'un microcontrôleur est le suivant :

- Il effectue des calculs conformément à son programme.
- Sa vitesse de calcul, appelée fréquence et exprimée en Hertz, est très élevée.
- Il comporte différents modules capables d'effectuer des opérations spécifiques (Comptage/Décomptage, Communication, Conversions, etc...)
- Ses pattes sont au choix des entrées et des sorties. Elles sont réparties en Ports de 8 bits (8 E/S chacun)
- Il peut être programmé facilement à l'aide d'un programmeur relié au PC, qui télécharge le programme compilé.



La famille des microcontrôleurs est très étendue et les fabricants nombreux. Cependant, le leader du marché en ce qui concerne les microcontrôleurs de faible puissance de calcul, pour des applications basiques, est Microchip. Ces microcontrôleurs sont très faciles d'utilisation et peu onéreux. De plus, le catalogue Microchip est très complet et répond à quasiment tous les besoins. Nous nous pencherons, compte tenu du cahier des charges, sur des microcontrôleurs de milieu de gamme, la famille des PIC18. Afin d'affiner nos critères, nous allons énoncer quelques caractéristiques essentielles qui guideront notre choix définitif.

b) Choix du microcontrôleur

Voici les caractéristiques minimales que devra posséder notre microcontrôleur :

- Alimentation TTL (5V)
- 10 E/S logique minimum
- 1 module de communication RS232
- 2 modules PWM pour les servomoteurs
- Être programmable en circuit (ICSP) par un PicKit3
- Une mémoire programme de 20 Ko minimum
- Une mémoire RAM de 1Ko minimum
- Possibilité USB
- Possibilité d'extension (modules CAN, E/S supplémentaires)

Après avoir comparé les microcontrôleurs de la gamme correspondant à nos critères grâce à l'outil disponible sur le site internet de Microchip, il ressort que le PIC18F2525 correspond parfaitement à nos besoins. Nous l'utiliserons donc pour le projet.

De plus, ce microcontrôleur est simulable à l'aide du logiciel de conception électronique ISIS. Cela nous permettra de valider notre montage et le code avant la fabrication effective de la carte électronique.

c) Programmation

La programmation d'un microcontrôleur est chose complexe. Il faut connaître le fonctionnement interne du composant et être rigoureux. L'écriture du programme ne peut se faire sans un document décrivant en entier le fonctionnement du μ C. Ce document est appelé « Datasheet ». Elle renferme toutes les informations dont le développeur a besoin. Lors de la phase de conception, celui-ci s'y reporte en permanence pour configurer le composant. La datasheet d'un tel composant fait près de 500 pages...



Une fois le code écrit, en C par exemple, celui-ci est compilé, lié, en un langage compréhensible par le μ C. Il s'agit du langage Assembleur, propre à la gamme de microcontrôleur et composé de quelques dizaines d'instructions simples. Il est possible de coder directement en assembleur mais de moins en moins de développeur ne l'utilisent car la structure d'un code en C et la flexibilité qu'elle apporte le rend bien plus attractif.

Le code compilé est enfin téléchargé dans le microcontrôleur grâce à un programmeur comme le PICKIT3 qui fait aussi office de débogueur pour tester, corriger et valider le programme.

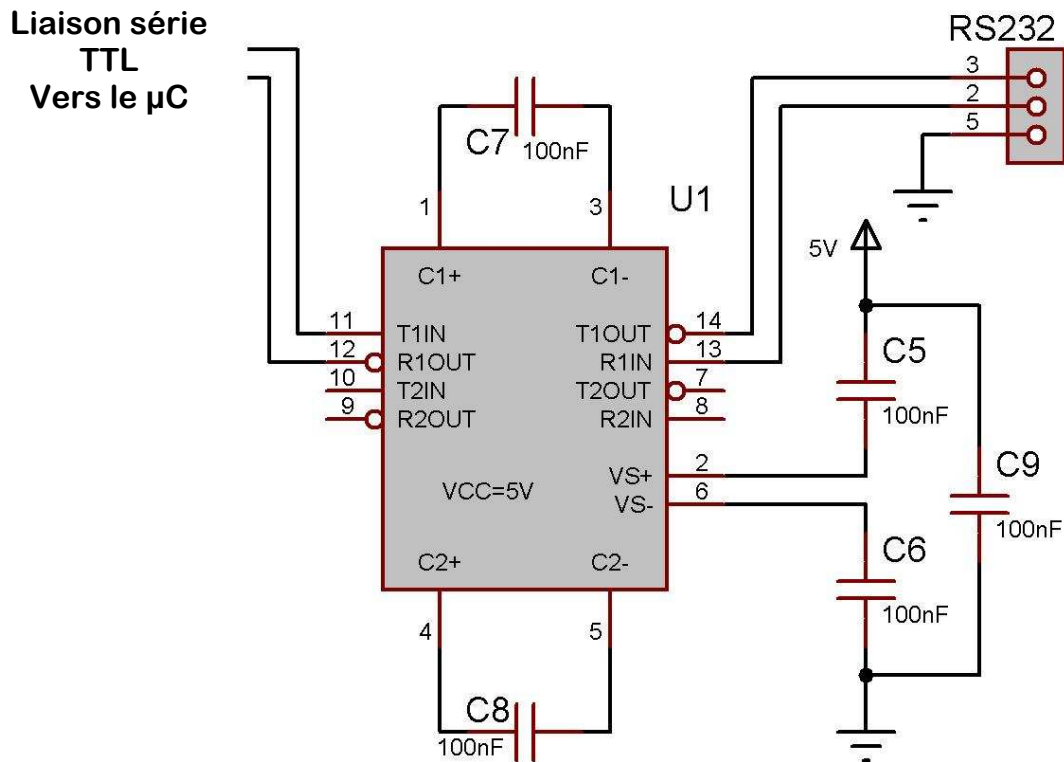
2. Liaison RS232

Notre système communique avec l'ordinateur serveur à l'aide d'une liaison RS232. Cette norme de communication série définit la structure des signaux logiques variant de -10 à +10V. Le microcontrôleur est compatible TTL, c'est-à-dire 0/5V. Il n'est donc pas capable de communiquer directement avec le serveur, il nous faut donc une interface.



Le μ C génère des signaux séries TTL de vitesses variables. Nous utiliserons un circuit très répandu et très utilisé : le MAX232 de chez Maxim. Il s'agit d'un convertisseur facile à mettre en œuvre qui interface les signaux séries TTL avec la liaison RS232. Il ne nécessite que cinq condensateurs pour être opérationnel.

a) Schéma de câblage



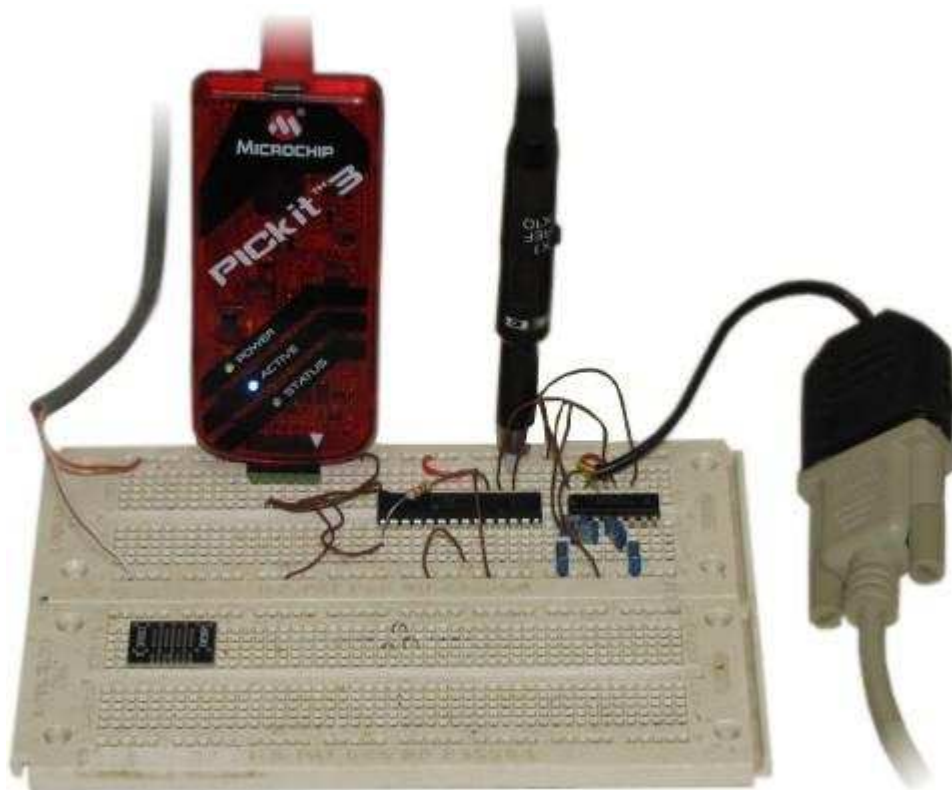
b) Explications

Le MAX232 élève la tension TTL grâce aux condensateurs qui l'entourent. De plus, il inverse le signal car la norme RS232 prévoit un niveau logique haut au repos.

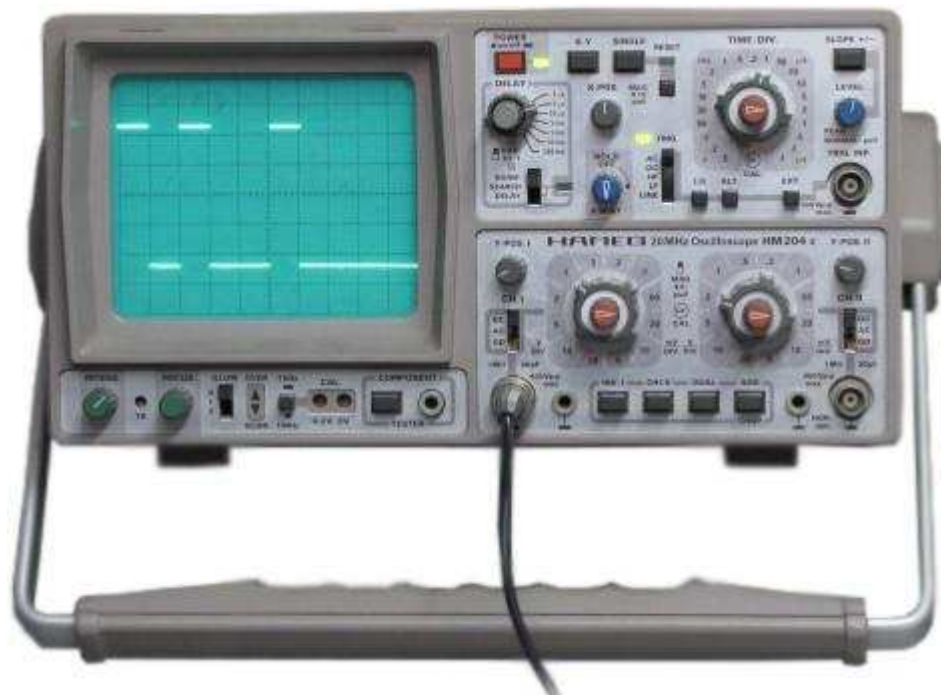
Le circuit sera connecté au PC par l'intermédiaire d'une prise DB9, utilisé fréquemment pour les communications RS232. Pour les PC récents ne disposant pas de port série, on adjoindra un convertisseur USB-RS232 qui servira d'interface.

c) Prototypage et test du MAX232

Afin de tester les communications avec le PC, nous avons réalisé un prototype sur plaquette d'expérimentation. Les trames RS232 reçues par le MAX232 étaient affichées sur l'oscilloscope et dans le même temps, interprétées par le microcontrôleur. Cette expérience avait pour but de valider le fonctionnement de l'interface série TTL-RS232.



Montage sur plaquette d'expérimentation



Visualisation d'une trame RS232 convertie en TTL

3. Interface utilisateur

Afin de rendre le système intuitif efficace, nous avons décidé de concevoir une interface utilisateur en plus de la commande par le serveur. Cette interface permet de configurer le produit, de le commander manuellement, d'afficher des informations importantes, etc... L'interface utilisateur, constituant la « Partie Commande », comprend un afficheur LCD alphanumérique et des boutons poussoirs de commande.

a) Afficheur LCD

Pour dialoguer avec l'utilisateur, afficher des informations, des données (comme les angles de la plaque), nous devons intégrer un dispositif capable de restituer des caractères alphanumériques. Nous avons le choix entre un afficheur alphanumérique ou graphique. Ce dernier étant bien plus complexe à utiliser et n'apportant pas de réels avantages par rapport au premier, nous avons choisi d'intégrer un écran LCD alphanumérique de 2x16 caractères.



i) Utilisation de l'écran

L'écran est alimenté en 5V et connecté directement au microcontrôleur via une liaison parallèle. Il intègre un contrôleur d'affichage qui interprète les données reçues et affiche les caractères sur la dalle LCD. Les bits de commandes sont envoyés en simultané sur les entrées de l'écran, puis un passage de la patte Enable (E) pendant 600ns valide le caractère.

Il y a deux modes de fonctionnement pour ces écrans à interface parallèle. Tout d'abord, le mode standard, 8 bits. Il s'agit d'envoyer au même instant sur les 8 entrées de l'écran la valeur ASCII du caractère à afficher puis de valider. Ce mode est pratique mais coûteux en entrées et sorties du microcontrôleur. On peut donc choisir l'autre mode, le mode 4 bits, similaire à cela près que l'on envoie en premier les 4 bits les moins significatifs, puis les 4 bits les plus significatifs. On économise donc des sorties du microcontrôleur.

Enfin, une entrée analogique permet de régler le contraste de l'écran, celui-ci étant proportionnel à la tension appliquée et variant avec la température. Pour effectuer ce réglage, on utilise une résistance variable (potentiomètre) faisant varier la tension du curseur de 0 à 5V.

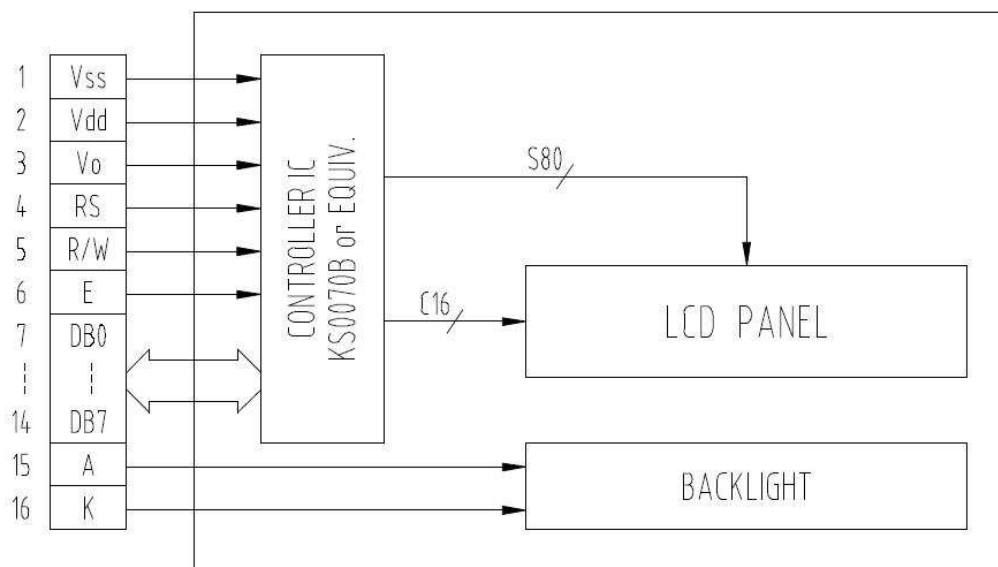


Schéma d'un afficheur alphanumérique rétro-éclairé

ii) Initialisation en mode 4 bits

L'écran, avant d'être utilisable, requiert une initialisation. La procédure est différente selon le mode d'utilisation choisi. Nous décrivons ici l'initialisation en mode 4 bits :

- Forçage en mode 8 bits

- Passage en mode 4 bits
- Configuration du nombre de ligne
- Configuration du curseur
- Passage en mode « entrée »
- Activation du défilement automatique du curseur
- Effacement de l'écran

L'afficheur est maintenant pleinement utilisable. Nous décrirons dans la section informatique le fonctionnement de la routine d'affichage.

b) Boutons de commande



Les boutons de commande permettent de capter les actions de l'utilisateur. Les signaux logiques générés sont de type Tout ou Rien et sont directement envoyés au microcontrôleur. Une résistance de tirage au 5V est ajoutée afin de supprimer les effets aléatoires des potentiels flottant.

Mécaniquement, le bouton poussoir génère une impulsion. Cependant, pendant une durée très courte après l'appui sur le bouton, les lamelles métalliques internes du bouton s'entrechoquent et on observe un effet « rebond ». La vitesse du μC étant très rapide, ces rebonds sont captés et génèrent des problèmes. Ainsi, lors de l'appui sur un bouton poussoir, le microcontrôleur reçoit une série d'impulsions jusqu'à ce que le signal se stabilise.

Pour contrer cet effet rebond, on utilise généralement un dispositif anti-rebond. Il peut être matériel, en utilisant un circuit RC, ou logiciel en échantillonnant l'état du bouton poussoir à intervalles réguliers par exemple. C'est cette dernière solution que nous avons choisi car moins coûteuse en place et plus facile à mettre en œuvre. De plus, la sensibilité du filtre anti-rebond est plus facilement modifiable quand il est réalisé « par soft », il suffit de modifier quelques valeurs. Si on avait opté pour la solution matérielle, toute modification aurait impliqué la modification de la constante de temps du circuit RC et donc le changement des valeurs des condensateurs et des résistances.

4. Commande des servomoteurs

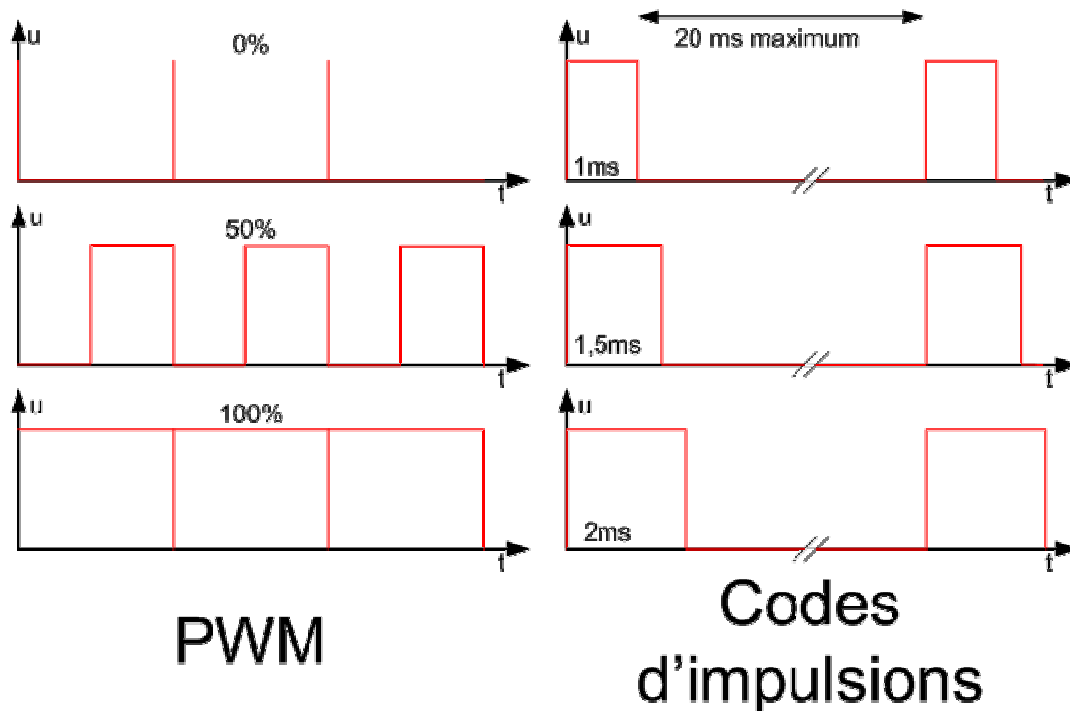
Nous avons choisi d'utiliser des servomoteurs pour actionner la plaque principalement pour leur simplicité de commande. En effet, les servomoteurs intègrent un moteur, un réducteur, et un dispositif électronique d'asservissement angulaire. En clair, il suffit d'envoyer au servomoteur une information d'angle et celui-ci se charge de l'interpréter et de positionner son arbre de sortie dans la position voulu.



a) Asservissement

Les servomoteurs possèdent trois entrées : deux alimentations, la masse et le 5V, et un fil de commande. Il est intéressant de se pencher sur le signal de commande. De prime abord, il s'apparente à un signal PWM, c'est-à-dire un signal TTL en créneaux, de fréquence fixe et de rapport cyclique variable. Cependant, les servomoteurs fonctionnent légèrement différemment. En effet, le rapport cyclique n'a pas d'influence sur l'angle observé ; seule la période à l'état haut est prise en compte. Cette période à l'état haut peut varier de 1ms à 2ms environ et l'angle est directement proportionnel à celle-ci. La période totale du signal (donc la fréquence) n'a pas non plus d'importance bien que ne devant excéder 20ms.

En l'absence de signal, maintient de l'état haut ou bas, le servomoteur se met en « roue libre », comme s'il n'était pas alimenté.



b) Alimentation

Lors de la conception de la carte électronique, il a été pris en compte le caractère de puissance des servomoteurs. En effet, l'électronique de puissance est à séparer le plus possible des éléments de logique afin d'éviter toute déconvenue. Ainsi, les servomoteurs sont placés au plus près de l'alimentation et sont reliés directement à celle-ci. Les pistes de puissance sont éloignées du μC afin d'éviter toutes interférences.

c) Branchement au microcontrôleur

Les servomoteurs sont reliés au microcontrôleur sur des sorties spécifiques. En effet, nous l'avons vu, ceux-ci se commandent en utilisant un signal s'apparentant à du PWM. Nous utiliserons donc un périphérique du microcontrôleur appelé CCP pour Compare, Capture & PWM. Les valeurs de fréquence et de rapport cyclique sont configurées dans différents registres et le périphérique se charge de mettre en forme le signal. C'est un gain de temps et de ressources.

5. Alimentation du système

Tous les composants électroniques du système requièrent une alimentation. La logique comme la puissance nécessite du 5V. Concevoir et fabriquer une alimentation fiable et longue, complexe et surtout onéreuse. De plus, de nombreuses alimentations existent déjà dans le commerce et elles correspondent parfaitement à nos besoins. Nous alimentons donc toute la carte électronique à l'aide d'une alimentation pour ordinateur. Celle-ci est connectée à la plaque grâce à un connecteur Molex de lecteur de CD-ROM. Fiable, cette alimentation peut supporter les appels de courant induits par la mise en route des servomoteurs.



C. Mise en place et schéma électronique

La conception finale de la carte électronique relève en définitive de l'assemblage des différents composants que nous venons de citer.

1. Schéma électronique

La conception du schéma électronique est faite grâce au logiciel ISIS de Proteus. Ce logiciel de conception assisté par ordinateur est de simulation électronique permet, outre la conception, de simuler le comportement du circuit avant la fabrication. Par exemple, on peut insérer le programme compilé dans le microcontrôleur ISIS, et celui-ci simule le comportement de la carte électronique.

La difficulté de ce genre de montage est de faire cohabiter de l'électronique logique, particulièrement sensible aux perturbations et parasites, avec la partie électromécanique, les servomoteurs.

Pour concevoir la carte, il faut en permanence s'aider des différentes Datasheet qui contiennent les caractéristiques des composants à prendre en compte. Par exemple, lors du câblage du microcontrôleur sur le schéma, la datasheet doit être ouverte pour connaître la fonction de chaque patte du composant et ainsi connecter les ports de communication série par exemple au bon endroit.

Le schéma de la carte est disponible en annexe 3 du dossier.

2. Réalisation de la carte

La réalisation de la carte électronique se fait en deux temps. Tout d'abord sa conception sur ordinateur, puis la fabrication et les tests.

a) Conception

Nous avons conçu la carte électronique grâce au logiciel Ares de Proteus, qui appartient à la même gamme qu'ISIS. Une fois le schéma électronique terminé, on exporte un fichier appelé NetList, qui contient toutes les connections des composants entre eux, puis on conçoit la carte physiquement à l'aide du logiciel. La première étape est le placement. Il faut tenir compte de l'encombrement de chaque composant, de leur disposition les un par rapport aux autres, l'orientation, l'éloignement, etc...

Puis vient l'étape du routage. Il s'agit d'interconnecter les pattes qui doivent l'être conformément à la NetList. Dans cette étape, il faut tenir compte des courants circulant dans les pistes afin de les dimensionner en conséquence. De plus, il faut placer les éléments générateurs de perturbations et de parasites proche de l'alimentation et à tout prix éviter de faire passer ces pistes à proximité du microcontrôleur.

Nous avons conçu une carte simple couche c'est-à-dire que les pistes ne sont que d'un seul côté. Par conséquent, les pistes ne devant pas se croiser, il faut chercher la disposition la plus judicieuse afin d'éviter au maximum les straps, ces fils sur la face composant que l'on place pour « enjamber » une piste.

Les typons de la carte sont disponibles en annexe 4 du dossier

b) Réalisation pratique

Une fois la carte conçue, on imprime sur transparent son « typon » qui représente les pistes, puis on fabrique la carte électronique par insolation et bains dans différentes solutions corrosives.

A noter que la réalisation de notre carte électronique a échoué. En effet, après deux tentatives, nous n'avons pas réussi à obtenir un résultat convenable. Nous avons donc fait faire la carte par correspondance et nous sommes contentés de la phase de montage des composants et de test.

IV. Etude informatique

Dans cette section, vous retrouverez l'ensemble de l'étude informatique réalisée. Qu'elle soit embarquée ou sur PC, l'informatique fait partie intégrante du projet et tient un rôle très importante car c'est elle qui configure le comportement de la plaque.

A. Logiciel embarqué

1. Présentation

Le code source de la plaque décrit le comportement de celle-ci. Il contient toutes les fonctions qui permettent de faire fonctionner entre eux les différents composants.

Dans le code source, on accède aux périphériques du PIC18F2525 pour communiquer avec l'extérieur. Voici la liste des applications pour les périphériques.

- Port A : Port parallèle de gestion de l'afficheur
- Port B : Port parallèle d'extensions (Acquisitions analogiques, logiques, etc...)
- Port C : Part parallèle des boutons poussoirs
- USART : Port série de communication avec le PC
- CCP1&2 : Modules de génération des signaux PWM

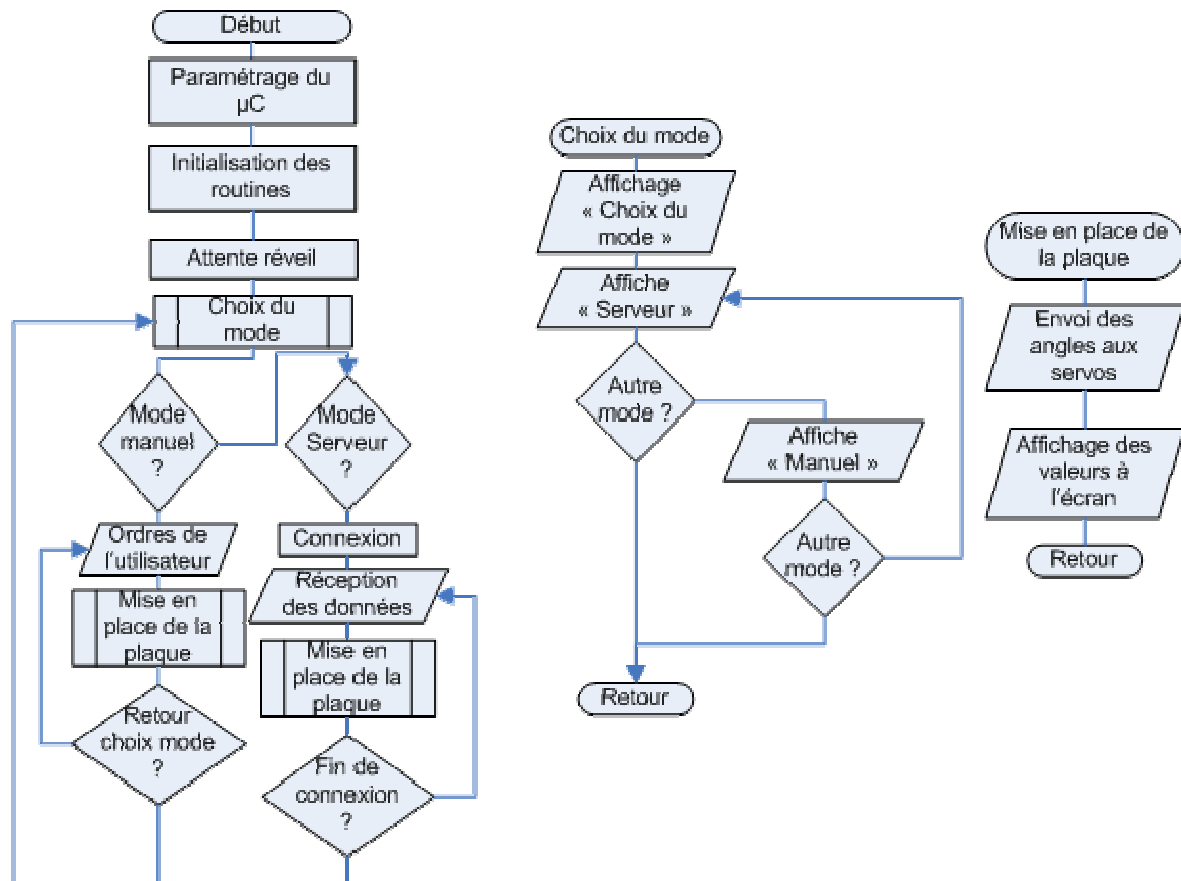
On utilise également des timers pour la gestion du temps. Ces timers génèrent une interruption qui exécute une fonction spécifique. On peut donc faire une action spécifique contrôlée par le temps. Mais les timers ne sont pas la seule source d'interruption. Le module USART par exemple génère des interruptions lorsqu'il reçoit des données ou lorsqu'il est prêt à en émettre.

Les fichiers sont compilés à l'aide du compilateur MCC18 de Microchip.

2. Comportement

La plaque possède deux modes de fonctionnement : un mode manuel et un mode automatique. Dans le mode manuel, c'est l'utilisateur, en actionnant les boutons de commande, qui détermine les inclinaisons de la plaque. Ce mode est utile pour un positionnement précis et fixe, pour une phase de test par exemple, mais n'est pas dynamique. Le mode automatique permet à la plaque de se connecter à un ordinateur et de recevoir les ordres d'inclinaisons de manière dynamique, en temps réel. Ce mode est bien plus intéressant car il est la base de la simulation de mouvement.

Le comportement global de la plaque est décrit dans l'algorithme du soft qui est disponible ci-dessous. Celui-ci est simplifié et ne comporte que les fonctions principales, sans entrée dans les détails technique de gestion du microcontrôleur. De plus, il ne tient pas compte des paramétrages possibles de la plaque. Cependant, il constitue un support lors du développement du logiciel embarqué et décrit de manière fidèle les différents modes de fonctionnement.

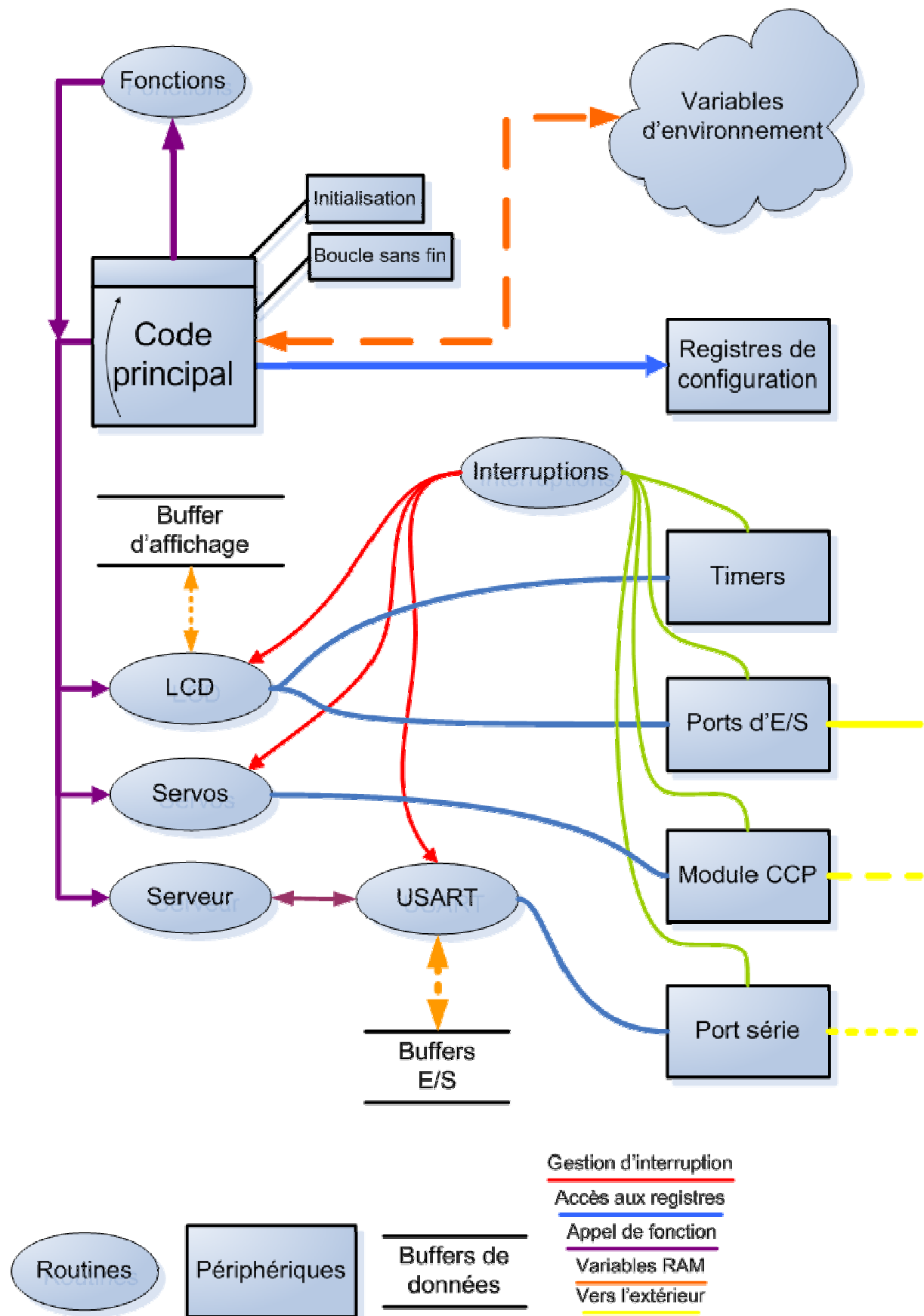


3. Architecture

Le code source est écrit en C et, après compilation, est téléchargé dans le microcontrôleur. Il s'articule en routines de différents niveaux qui permettent de faciliter la compréhension et le codage. En effet, la couche applicative se sert des différentes routines de bas niveau pour communiquer avec le PC, avec l'utilisateur, avec les servomoteurs, etc...

Sur le schéma ci-dessous, vous pouvez observer les relations des routines entre elles. Plus bas, nous décrirons le fonctionnement interne de ces routines.

A savoir qu'il s'agit de schémas simplifiés censés donner une vision simple du code source et de l'informatique embarquée.



4. Protocole de communication

Comme décrit dans le cahier des charges, nous allons mettre en œuvre une liaison RS232 qui permettra à la plaque de communiquer avec un ordinateur. Afin que le système et l'ordinateur puisse communiquer, il faut qu'ils échangent les données dans le même « langage ». Ce langage est forme la structure des informations échangées. Pour décrire cette structure, on utilise un protocole de communication...

Il en existe plusieurs sortes, notamment dans le domaine des communications réseau. On peut citer par exemple les protocoles TCP, UDP, IP, HTTP, FTP, RS232, etc... Ces protocoles ne structurent pas les mêmes "types" de données. Ils sont regroupés par couches, de la plus concrète à la plus abstraite, qui constituent le modèle OSI. Dans notre système, les communications sont régies par le protocole RS232 de couche 1 (physique) qui s'occupent de transférer les trames de données. Mais ce protocole ne suffit pas... Il se contente de transférer les données.

Les données transmises par trames, il convient maintenant de définir un protocole permettant de structurer les informations de façon spécifique à notre application. Nous avons donc développé un protocole de couche 5 (Session), permettant de faire transiter les données relatives au positionnement de la plaque dans l'espace ainsi que les réponses de la plaque, des commandes spécifiques, etc... Nous avons nommé ce protocole SIGMA.

Ce protocole est dit Client-serveur, c'est à dire que la plaque se connecte à un serveur qui est maître de la communication. Le serveur envoie ensuite les ordres à la plaque (les angles) qui les interprète et les exécute.

La description du protocole de communication est disponible en annexe 5 du présent dossier.

5. Routines

a) Affichage

i) Présentation

La routine d'affichage, appelé « lcd.c », gère l'écran LCD, son initialisation et son utilisation. L'écran LCD est, on l'a vu, connecté sur un port parallèle du PIC, la routine gère ce port. Elle comporte des fonctions de positionnement, d'affichage et d'initialisation propres à l'afficheur. L'écran LCD a besoin de quelques microsecondes pour afficher des données, afin de créer des fonctions non-bloquantes, les données à envoyer à l'afficheur sont placées dans un buffer et envoyées quand l'afficheur est libre.

ii) Utilisation

Son utilisation est aisée. En début de programme, il faut appeler la fonction d'initialisation qui place une séquence spécifique dans le buffer. Ensuite, l'affichage s'effectue selon le positionnement-écriture. Des fonctions sont prévues pour afficher des chaînes de caractères présentes en mémoire RAM ou en ROM.

iii) Fonctionnement

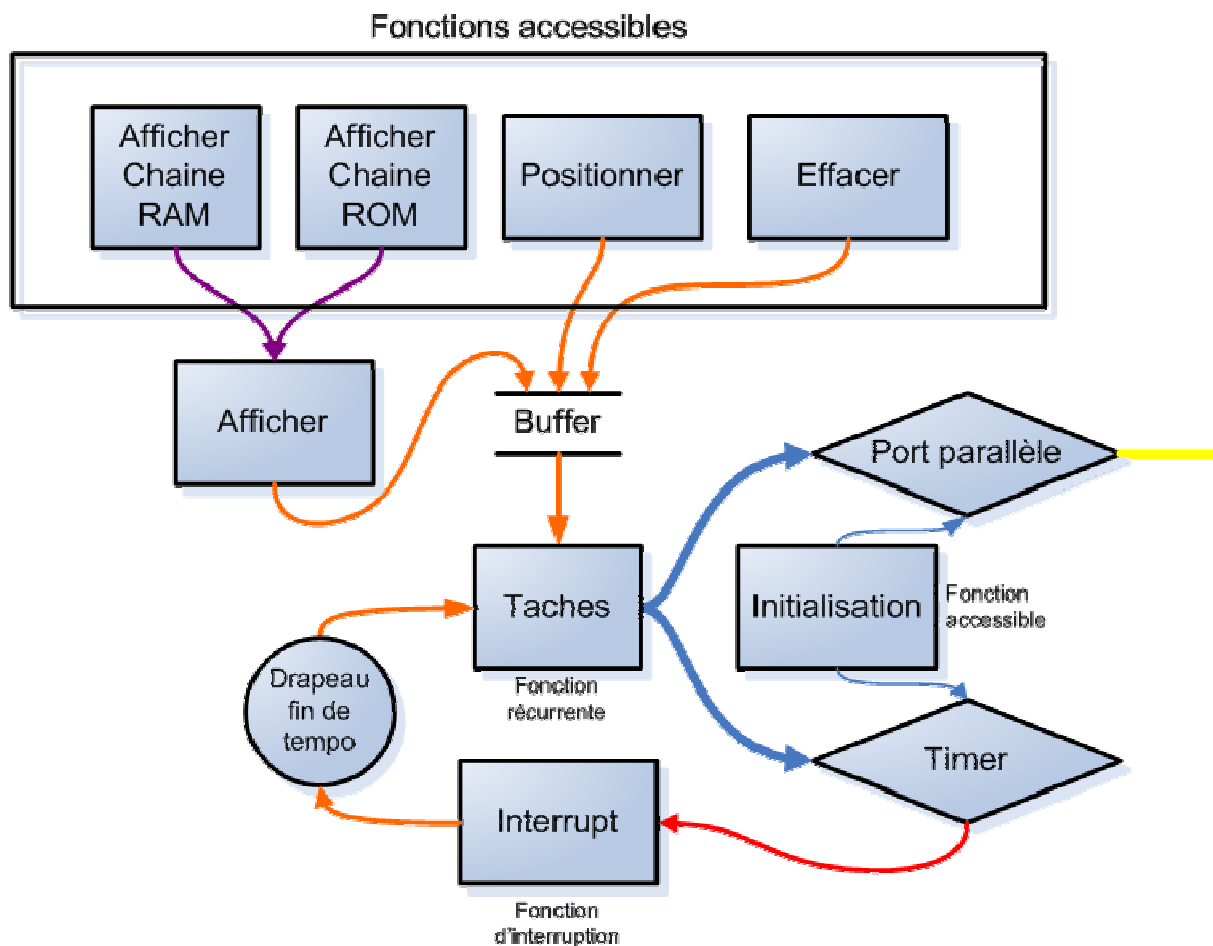
Chaque opération à effectuer sur l'afficheur correspond à un code envoyé à celui-ci. Un temps d'attente est associé à chaque opération.

Les codes d'opérations sont disponibles en annexe 6 de ce dossier.

Les opérations que l'on souhaite effectuer placent le code voulu dans le buffer d'affichage. A chaque opération dans le buffer est associé un temps d'attente. A la lecture du

buffer, l'opération est envoyée à l'afficheur et un timer est configuré selon le temps d'attente associé. La fonction « Taches » est appelée de manière récurrente et vérifie si le buffer est vide, s'il ne l'est pas et que l'afficheur est libre, elle envoie la donnée à l'afficheur via le port parallèle. Une fonction « effacer » permet au programmeur d'effacer l'écran LCD. Lorsqu'il déborde, le timer génère une interruption qui configure un drapeau (flag) pour signaler que l'afficheur est libre.

Le schéma ci-dessous présente le fonctionnement interne de la routine d'affichage :



b) Communication

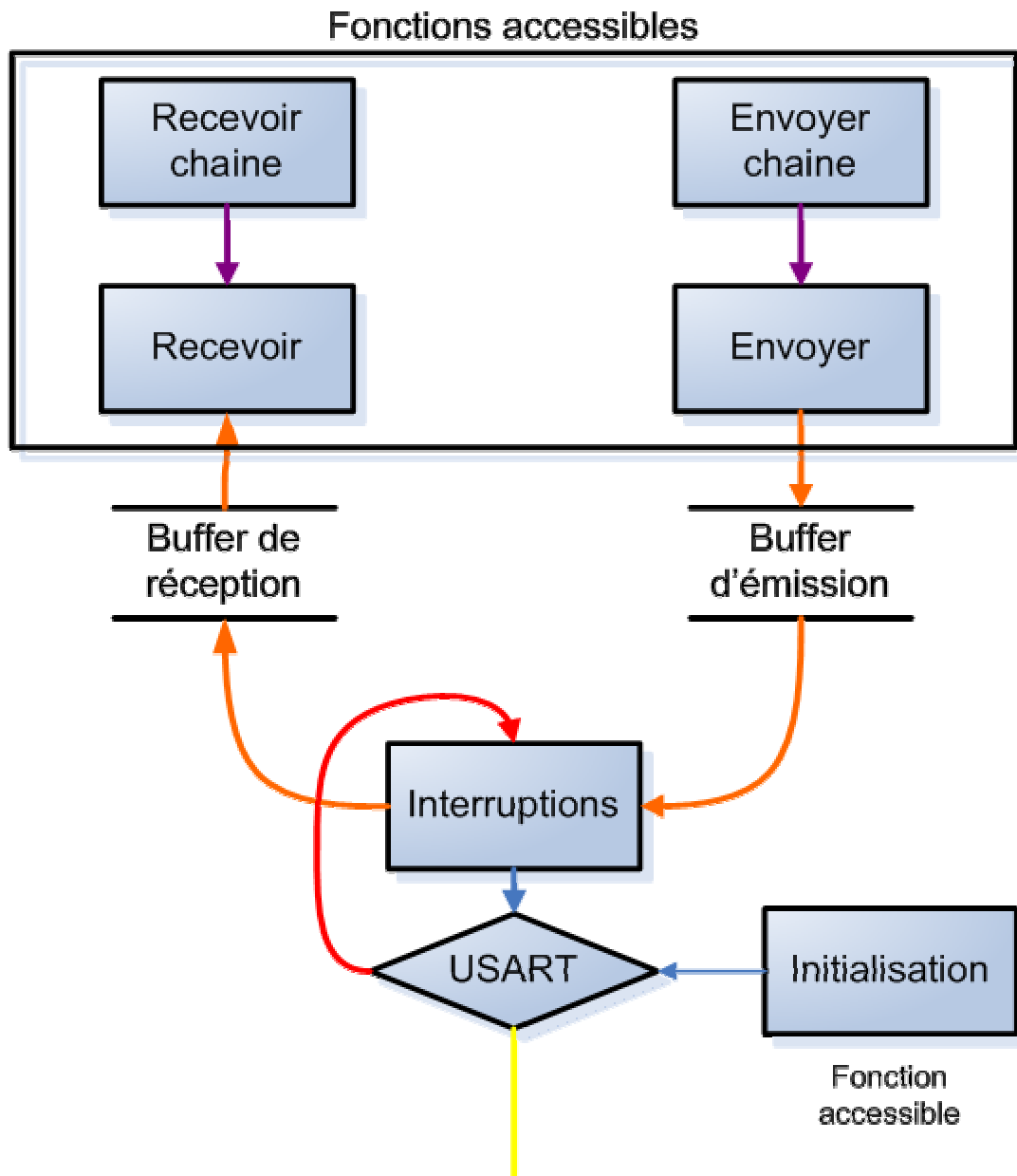
i) Présentation

La routine de communication gère le module USART, c'est à dire les communications séries du microcontrôleur. Elle effectue la gestion de bas niveau des dialogues entre la plaque et le serveur. Cette routine se trouve dans le fichier « usart.c ».

ii) Fonctionnement

Deux fonctions d'émission et de réceptions sont disponibles. Pour émettre, on envoie un caractère ou une chaîne et la fonction « envoyer » les place dans le buffer d'émission. Quand le port série est libre, une interruption est générée et la fonction d'interruption se charge d'émettre l'octet le plus ancien présent dans le buffer. Pour la réception, on lit avec la fonction « recevoir » les octets reçus dans le buffer. Quand le port série reçoit des données, il génère

une interruption. Dans la fonction d'interruption, l'octet reçu est placé dans le buffer de réception.



c) Liaison serveur

i) Présentation

Cette routine n'est autre que l'intégration du protocole de communication dans le code. Une fonction par action du protocole. Elle est nommée « serveur.c ».

ii) Utilisation

Il suffit d'appeler la fonction correspondante à l'action souhaitée et éventuellement de fournir un ou plusieurs paramètres si nécessaire. La routine met en forme la trame et la place dans le buffer d'émission grâce à la routine « usart.c ». Lors de la réception de données du serveur, la routine de communication « usart.c » appelle la fonction de traitement dès

réception de la trame entière. La fonction de traitement va ensuite mettre à jour les variables d'environnements (inclinaison de la plaque) et lever ou baisser des drapeaux.

d) Commande des servomoteurs

i) Présentation

La routine de commande des servomoteurs est relativement simple. Elle se contente de générer les signaux à fournir aux servomoteurs afin de les mettre en positions. Elle utilise pour cela les modules CCP dont nous avons parlé plus haut qui génère des signaux PWM.

ii) Utilisation

L'utilisation de cette routine est simple. Il faut tout d'abord initialiser la routine en même temps que les autres c'est-à-dire au réveil du microcontrôleur. Cette initialisation va configurer les modules CCP de façon à générer un signal PWM correct et compréhensible par les servomoteurs.

La routine contient une fonction de test des servomoteurs qui va générer des mouvements de ceux-ci sur toute la plage nominale. La fonction la plus utilisée est celle de mise en place des servomoteurs. En effet, c'est elle qui va configurer la période à l'état haut du signal et donc l'angle de la plaque. Elle reçoit en paramètre les valeurs d'inclinaison de la plaque et les convertit grâce à la relation entrée-sortie du mécanisme et à la relation période-angle du servomoteur, en valeur du registre de rapport cyclique.

e) Gestion des interruptions

i) Présentation

La routine d'interruption est appelée par le « hardware » sur demande des périphériques. Il existe deux sortes d'interruptions : les interruptions de haute et de basse priorité. Cette routine permet de connaître le responsable de l'interruption et d'appeler sa fonction de traitement.

ii) Utilisation

Il n'y a aucune action nécessaire de la part de l'utilisateur hormis l'appel de la fonction d'initialisation qui configure les interruptions.

f) Fonctions diverses

Il s'agit d'un fichier (« fonctions.c ») qui contient toutes les fonctions récurrentes dans le code principal afin de l'alléger. On y trouve des fonctions de gestion des erreurs, d'affichage des angles, de conversion des valeurs, etc... Elle permet aussi de gérer des temporisations d'environnement.

C'est également dans ce fichier que se trouvent les fonctions d'initialisation et de configuration du microcontrôleur (vitesse de travail, activation des resets, etc...)

B. Logiciel déporté (serveur)

Le logiciel serveur, présent sur l'ordinateur support de la simulation, va permettre d'envoyer au système les ordres d'inclinaison de la plaque, conformément au protocole de communication défini plus haut.

1. Présentation

Ce logiciel a été développé sous Visual Basic .NET. En réalité, le logiciel serveur peut prendre de multiple forme. L'avantage de fournir un protocole de communication est que le client, en fonction de ses besoins, peut adapter le système à sa propre simulation et envoyer les valeurs directement à la plaque.

Pour les besoins du projet, nous avons réalisé un logiciel serveur de test qui montre quelques possibilités du système.

2. Fonctionnement

Le logiciel serveur envoie via le port série les informations d'angle à intervalle régulier. Ces informations peuvent être générées automatiquement, aléatoirement, provenir d'une acquisition (un joystick par exemple) ou d'un logiciel. Les angles sont envoyés en valeur entières, de 0 à 50, avec 25 représentant le point neutre, c'est-à-dire une inclinaison nulle de la plaque.

V. Ressources documentaires

Electronique et informatique :

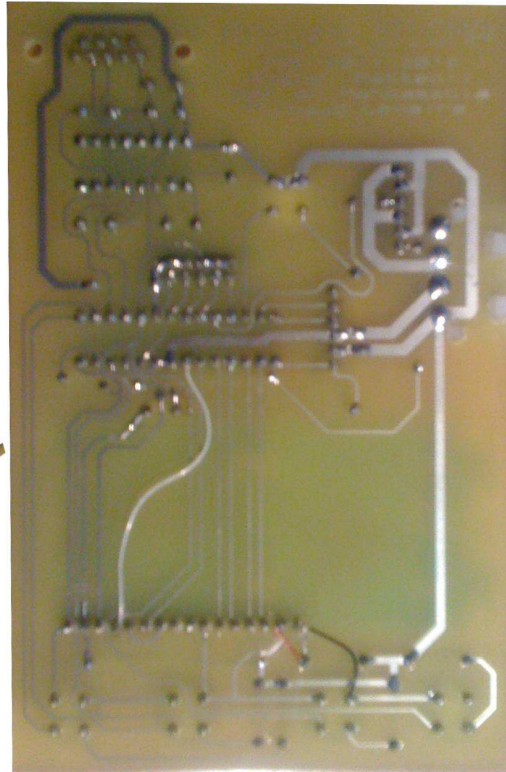
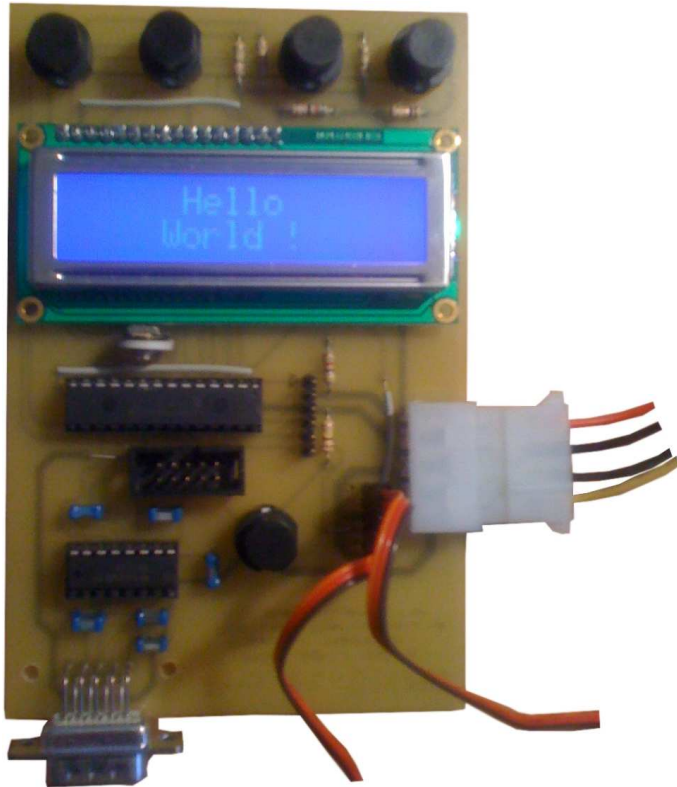
- La datasheet du microcontrôleur :
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39626b.pdf><http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41412D.pdf>
- Fonctionnement du MAX232 :
<http://claude.dreschel.free.fr/composants/max232.htm>
- Description des afficheurs LCD :
<http://matthieu.benoit.free.fr/affi-lcd.htm>
<http://www.brodeurelectronique.com/index.php?2007/03/15/9-afficheurs-lcd>
<http://www.labolectronique.be/lcd6100.html>
- Liaisons de communication :
http://daniel.robert9.pagesperso-orange.fr/Liaisons_serie_Liaisons_parallele.html
- Commande des servomoteurs :
http://fribotte.free.fr/bdtech/pic/pic_et_servo.html
- Envoi de caractères :
<http://www.table-ascii.com/>
- Le langage C :
<http://www.commentcamarche.net/contents/c/ctab.php3>
<http://www.aix-mrs.iufm.fr/formations/filieres/ge/data/PIC/PICC/MCC18%20v14.pdf>

Mécanique :

- Calcul de moments d'inertie :
http://fr.wikipedia.org/wiki/Moment_d%27inertie
<http://www.ntneurope.com/fr/fr/documentation/Needlerollerbrg/pdf/A3Calculdescharges.pdf>
- Modèle de pièces 3D :
<http://www.tracepartsonline.net>
- Données techniques sur le servomoteur choisi :
<http://www.servodatabase.com/servo/modelcraft/rs-2>

VI. Réalisation finale

La maquette finale n'étant pas terminée à la date d'édition de ce dossier, voici quelques photographies de la carte électronique terminée et des servomoteurs. L'assemblage final sera présenté le jour de l'examen.



VII. Conclusions

A. Synthèse générale

En définitive, nous avons le sentiment de proposer une réponse acceptable à notre problématique initiale, tant parce qu'elle correspond parfaitement à nos attentes que parce qu'elle respecte tout à fait le cahier de charge que nous nous étions fixé. De plus, nous sommes en possession d'une maquette (bientôt) opérationnelle qui nous permet de promouvoir notre système.

D'un point de vue organisation du travail, l'étude de ce projet s'est globalement déroulé sans encombre, les décisions ont été prises après des débats nourris et toujours en considérant les avantages et inconvénients de chaque solution.

B. Conclusions personnelles

1. Synthèse de Pascal

Je vais traiter cette synthèse en plusieurs points. Tout d'abord le travail de groupe ainsi que les relations que nous avons eu durant ce PPE, puis les différentes leçons tirées de ce projet, ainsi que mon avis sur notre PPE.

Débutons donc avec le travail de groupe. Adrien, Thibaud et moi-même avons très vite trouvé une problématique à traiter. Nous avons donc pu assez rapidement rentrer dans le vif du sujet : les études, autant mécaniques qu'électroniques. Cependant, nous nous sommes vite rendu compte de la quantité de travail que nous allions devoir fournir. De ce fait, la répartition des différentes tâches touchant au projet ainsi que l'organisation des séances a dû très vite être définie en fonction des caractéristiques et des préférences de chacun.

Thibaud s'est vu confié la partie électronique. En effet, bien qu'extrêmement doué dans le domaine des sciences de l'ingénieur en général, je ne crois pas me tromper en disant qu'il a une préférence pour l'électronique, il était donc naturel qu'il se voit confier cette tâche.

Très tôt, nous nous sommes aperçus de la complexité de la partie mécanique de ce projet, c'est pour cette raison que nous nous sommes organisé en binôme avec Adrien sur cette partie, nous apprendrons plus tard que nous n'étions pas trop de deux sur cette section, mais passons. Nous avons donc prit la décision d'avoir un effectif plus important sur la mécanique. Il été prévu qu'avec cette organisation nous puissions alléger le travail en mécanique et donc que nous pourrions, d'une séance sur l'autre, aider Thibaud dans sa partie électronique.

Mais, comme dans toutes études, il y a des imprévus, et ils ont été vraiment nombreux, c'est d'ailleurs ce qui provoquera, sur la fin du PPE, un sentiment de fierté pour ma part, et je pense, commun au groupe entier. Nous avons pu voir rapidement que nous ne pouvions pas nous reposer sur nos seules connaissances de Terminale, il a fallut aller plus loin encore, mais c'est ce qui était convenu. Le but de ce PPE n'était pas tellement de résoudre la problématique, c'était d'adopter une démarche proche de la démarche d'ingénieur, peu importe si nos connaissances ne suivaient pas.

La partie électronique étant terminée plus vite que prévu, Thibaud nous a largement aidé dans la partie mécanique.

Notre démarche pour résoudre la problématique fut la suivante : on cherchait à résoudre un problème. On trouvait donc des solutions. À partir de là, deux cas de figure : soit une solution s'imposait largement comme étant la meilleure à tous points de vue, ce fut par exemple le choix d'utiliser des moteurs à la place des vérins. Soit nous avions des points de vue divergeant. Dans ce cas, chacun approfondissait sa solution et en faisait ressortir les avantages et inconvénients, ensuite, on choisissait démocratiquement la meilleure. C'est

comme cela qu'est composé notre dossier, c'est le fruit de débats et d'études en tout genre, en passant par des logiciels de simulation mathématiques et autre.

Maintenant, si je devais juger plus ou moins notre groupe de PPE, je pense que globalement, nous étions vraiment complémentaires.

En effet, Adrien possède, ce que je qualifierai comme étant un don pour la mécanique. Son point fort est son expérience dans le domaine de la mécanique lui apporte un grand savoir sur, par exemple, les différentes solutions envisageables pour répondre à un problème ainsi que sur les faisabilités de chacune. Il représente par conséquent le réalisme, ce dont tout projet à besoin s'il veut être convainquant. Il fut donc indispensable à ce projet et s'est énormément investi, c'est en grande partie grâce à lui que la réalisation de la maquette fut possible.

Thibaud, comme dit précédemment, possède une aisance et une connaissance relativement impressionnante dans tout ce qui concerne sciences de l'ingénieur ce qui en fait un élément indispensable. Il a aussi largement contribué au dossier car il est très doué pour tout ce qui concerne traitement de texte et bureautique.

Enfin, ne pouvant pas juger mon travail, je ne peux que décrire comment j'ai participé au projet. J'ai vécu ce PPE de manière assez intense si on peut qualifier cela ainsi car, non seulement le projet m'intéressait au plus haut point, mais en plus le travail d'équipe est ce qui me motive et ce qui me fait le plus aimer les sciences ainsi que le métier d'ingénieur.

Pour conclure, je dirai que ce PPE nous a apporté bien plus que des connaissances, mêmes si celles-ci sont assez conséquentes. Ce projet nous a appris les automatismes du travail de groupe et nous a permis, une fois de plus, de nous rapprocher de la démarche et du métier d'ingénieur. La fierté engendrée par ce PPE est due au fait que celui-ci est, à mon avis, un projet complet, surtout au point de vue de la démarche adoptée.

2. Synthèse d'Adrien

Pour ce projet de terminale, mes partenaires et moi-même avons comme idée de réaliser une plateforme mobile de type simulateur pour les nombreux intérêts que la recherche et la mise en place de ce type de système comporte. En effet cette entreprise m'a permis de pousser encore plus le développement de valeurs qu'il m'a déjà été permis de découvrir lors des projets réalisés au cours de la classe de première tels que le travail d'équipe qui se mêle au travail individuel.

Ce projet m'a permis de mettre en avant et d'utiliser des connaissances découvertes en classe afin de déterminer quelles solutions nous utiliserons dans la solution finale afin de répondre au cahier des charges de façon optimale. Il m'a aussi permis de découvrir des applications de domaine dans lesquelles je n'étais pas du tout familiarisé comme ce fut le cas avec l'électronique. Nous avons déjà vu divers composants en cours mais ce projet m'a permis de voir une utilisation concrète de ceux-ci.

Ce travail a été très stimulant avec une nécessité d'avancer dans le projet et d'atteindre l'objectif fixé tout en travaillant avec mes partenaires avec chacun nos domaines de prédilection et ainsi les connaissances et capacités propres.

Au final ce PPE 2012 est une bonne préparation et expérience aux études d'ingénieurs que j'envisage pour l'année prochaine avec un cahier des charges à respecter et divers solutions possibles mais surtout le travail d'équipe que ce type de projet implique.

3. Synthèse de Thibaud

Dès l'entrée en Terminale, le Projet Pluri-technique Encadré a constitué pour moi un véritable challenge à relever. En effet, tout comme le TPE de première, il ne s'agissait pas

simplement de quelques dizaines d'heures de travail en classe, de réutilisation du cours ou d'étude de systèmes ordinaires mais plutôt d'un prétexte au dépassement de soi et au travail en équipe. A vrai dire, le PPE fait partie de ces rares travaux menés au lycée qui nous tiennent réellement à cœur et c'est cette forte implication de chacun dans le projet qui lui donne à la fois une dimension affective et un caractère collaboratif.

Le choix du sujet s'est révélé être la décision majeure de ce projet. En effet, c'est sur ce choix que repose toute la motivation du groupe. Il faut un projet qui contente tout le monde mais qui soit également assez riche pour faire l'objet d'études approfondies, assez complexe pour permettre d'intéressantes recherches, complet afin de pouvoir présenter une partie pour chaque discipline des Sciences de l'ingénieur, et surtout réalisable avec nos simples moyens, car c'est ce qui est porteur de motivation. Indéniablement, c'est la perspective de la réalisation finale d'une maquette qui nous pousse à la recherche, à ce que chaque détail soit minutieusement étudié, afin que tout soit parfait.

Le sujet que nous avons adopté émane de l'affection portée par chaque membre du groupe à l'aéronautique. Notre objectif était initialement de fabriquer une plateforme mobile pour simulateur de vol. Seulement, après avoir débattu sur la problématique à poser, nous nous sommes rendu compte que ce type de produit pourrait avoir des applications dans bien d'autres domaines que la simulation aérienne, comme l'industrie ou le secteur médical, et qu'il n'existe pas de système capable de contenter chacune des utilisations qui pourraient en être faites. Nous constatons donc que le marché est relativement fermé, spécialisé, et qu'il ne permet pas l'universalité de ses produits. Notre démarche a donc été de concevoir et réaliser un prototype de plateforme animée pouvant convenir à plusieurs applications.

Nous avons en premier lieu réalisé une étude fonctionnelle, établis un cahier des charges strict, et nous sommes ensuite réparti les tâches. Comme l'an dernier lors du TPE, je me suis d'abord concentré sur l'étude électronique, tandis que mes camarades se consacraient à l'étude mécanique, bien plus conséquente du fait de la mise en œuvre de mécanismes atypiques.

Après avoir fait une liste de composants essentiels à mettre en œuvre pour respecter le cahier des charges, j'ai conçu la carte électronique de commande de la plaque, puis nous avons tous ensemble décidé du comportement de celle-ci, c'est-à-dire de son algorithme. Une fois établis, je me suis occupé de transposer cet algorithme en langage C afin de programmer le microcontrôleur. Cette programmation n'a étonnamment pas été la phase la plus longue car j'ai pu réutiliser des routines d'affichage et de communication que j'avais écrites précédemment. Cela nous a fait gagner un temps précieux que j'ai pu réinvestir dans l'étude mécanique.

En effet, une fois la partie électronique achevée, nous connaissions encore beaucoup d'imprévus en mécanique, notamment à cause du mécanisme de transmission du mouvement. Nous avons donc terminé ensemble la résolution de ces problèmes.

Enfin, après avoir terminé les différentes études et choisi tous les composants mécanique et électronique à mettre en œuvre, nous les avons commandés puis assemblés. Par contre, nous avons eu quelques problèmes lors de la fabrication du circuit imprimé qui nous ont contraints à en commander un par correspondance. Une légère déception donc car nous aurions aimé réussir cette étape de la fabrication.

Somme toute, mes camarades et moi sommes heureux de présenter un projet qui nous tient réellement à cœur et qui a occupé beaucoup de notre temps libre. Il nous aura permis d'acquérir une expérience de travail en équipe, de confronter nos idées, nos points de vue, afin de ne garder que les meilleures solutions. Ainsi, je pense que par notre système, nous avons su respecter le cahier des charges que nous nous étions imposé et que nous avons réussi à apporter une réponse efficace à notre problématique.