



UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBÉLIARD

TX51 : Mesure de niveaux de cuves

Rapport de projet

VALLET Loris

LEFEBVRE Maxime

**Département Génie Mécanique et Conception
Filière Conception des Systèmes Mécatroniques**

Sommaire

Sommaire.....	2
1 Présentation générale.....	3
1.1 Origine du projet	3
1.1.1 <i>Initiateur du projet</i>	3
1.1.2 <i>Descriptif de l'existant</i>	4
1.2 Objectifs	4
2 Définition du besoin.....	5
2.1 Exigences de conception	5
2.2 Besoin du projet : bête à corne	5
3 Analyse fonctionnelle.....	6
3.1 Diagramme pieuvre.....	6
3.2 Caractérisation des fonctions	6
4 Définition de pré-concepts	8
4.1 Solution 1 : Robot avec arc-boutement	8
4.1.1 <i>Présentation de la solution</i>	8
4.1.2 <i>Etude mécanique</i>	9
4.1.2.1 Hypothèses.....	9
4.1.2.2 Bilan des forces agissant sur le robot	9
4.1.2.3 Principe fondamentale de la statique appliqué au point B	10
4.1.2.4 Conditions d'adhérence au point B	10
4.1.2.5 Application numérique	10
4.2 Solution 2 : Robot avec ressorts	10
4.2.1 <i>Présentation de la solution</i>	10
4.2.2 <i>Etude mécanique</i>	12
4.2.2.1 Schéma de principe.....	12
4.2.2.2 Hypothèse	13
4.2.2.3 Description de l'étude.....	13
4.2.2.4 Expression des forces mises en jeu	13
4.2.2.5 Expression des conditions de montée et d'adhérence	13
4.2.2.6 Application numérique	13
4.3 Matériel utilisé pour la réalisation.....	14
4.3.1 <i>Moteurs</i>	14
4.3.2 <i>Pilotage des moteurs</i>	14
4.3.3 <i>Batterie</i>	15
4.3.4 <i>Nomenclature</i>	15
4.4 Présentation du concept final.....	16
5 Conclusion.....	17

1 Présentation générale

1.1 Origine du projet

1.1.1 Initiateur du projet

Les grandes Distilleries Peureux est le leader mondial de la distillation des eaux de vie de fruits avec 15 000 tonnes de fruits travaillés par an et une capacité de stockage totale de 40 millions de litres. La société dispose de 300 cuves (voir Figure 1) pouvant contenir jusqu'à 60 000 litres.



Figure 1 : Exemple de cuves

La lecture du volume de ces cuves se fait par une jauge à procédé de pression hydrostatique présentée sur la Figure 2. Cette jauge est constituée, d'une glissière et d'une règle graduée dont les dimensions sont standardisées.



Figure 2 : Jauge à procédé de pression hydrostatique

La lecture doit être la plus précise possible car une unité de graduation peut représenter à elle seule un volume de liquide non négligeable. Pour ce faire, l'opérateur doit se trouver bien en face du niveau dans le tube de la jauge afin de pouvoir observer la position du ménisque formé par le liquide.

1.1.2 Descriptif de l'existant

Historiquement, la lecture de cette jauge s'effectuait en montant à une échelle qui était calée entre deux cuves. L'opérateur devait alors se déporter pour effectuer une lecture précise.

Pour des raisons de sécurité, une solution a été trouvée en 2013. Il a été créé un chariot équipé d'une caméra IP et alimenté par une batterie. Ce chariot se monte à l'aide d'une canne télescopique le long de la jauge. L'image est transmise en WiFi sur un iPod.



Figure 3 : Vue de 3/4 et de profil du chariot existant

Le dispositif actuel permet une lecture aisée de la jauge en garantissant la sécurité de l'opérateur. Mais la manipulation et le déploiement de la canne télescopique peuvent paraître compliqués. Une étude de faisabilité pour l'automatisation de ce projet a été demandée en aout 2014.

1.2 Objectifs

L'objectif de ce projet est de simplifier la solution actuelle en automatisant la séquence de mesure. Il s'agira aussi de garantir la sécurité de l'opérateur. Le développement d'un robot de lecture autonome devra permettre :

- une mise en œuvre plus rapide et plus aisée pour l'opérateur.
- au robot de monter de manière autonome le long la cuve en étant guidé par la jauge.
- au robot de détecter le niveau liquide dans le tube de la jauge.
- au robot de prendre un cliché de la jauge ou au mieux être capable de lire la règle de la jauge et de transmettre ces informations en WiFi à l'opérateur équipé d'une tablette ou d'un ordinateur portable.

La mise en œuvre du robot et la mesure doivent être rapides car le volume d'alcool contenu dans le tube de la jauge peut varier en fonction de la température ambiante.

2 Définition du besoin

2.1 Exigences de conception

Le coût de conception objectif est limité par le contrat signé entre le client et l'UTBM.

En terme de sécurité, le produit devra pouvoir évoluer de manière autonome à la verticale sans risquer de chuter. Une sécurité mécanique devra être mise en place afin de répondre à ce critère. Par ailleurs, les circuits électriques devront être aux normes en vigueur pour ce type de produit afin d'assurer la sécurité de l'opérateur.

2.2 Besoin du projet : bête à corne

On représente ici la nécessité d'avoir un système automatisé nommé "Robot de mesure" à la place du système existant. On représente ce besoin par un diagramme "bête à cornes", outil traditionnel de représentation du besoin (voir Figure 4).

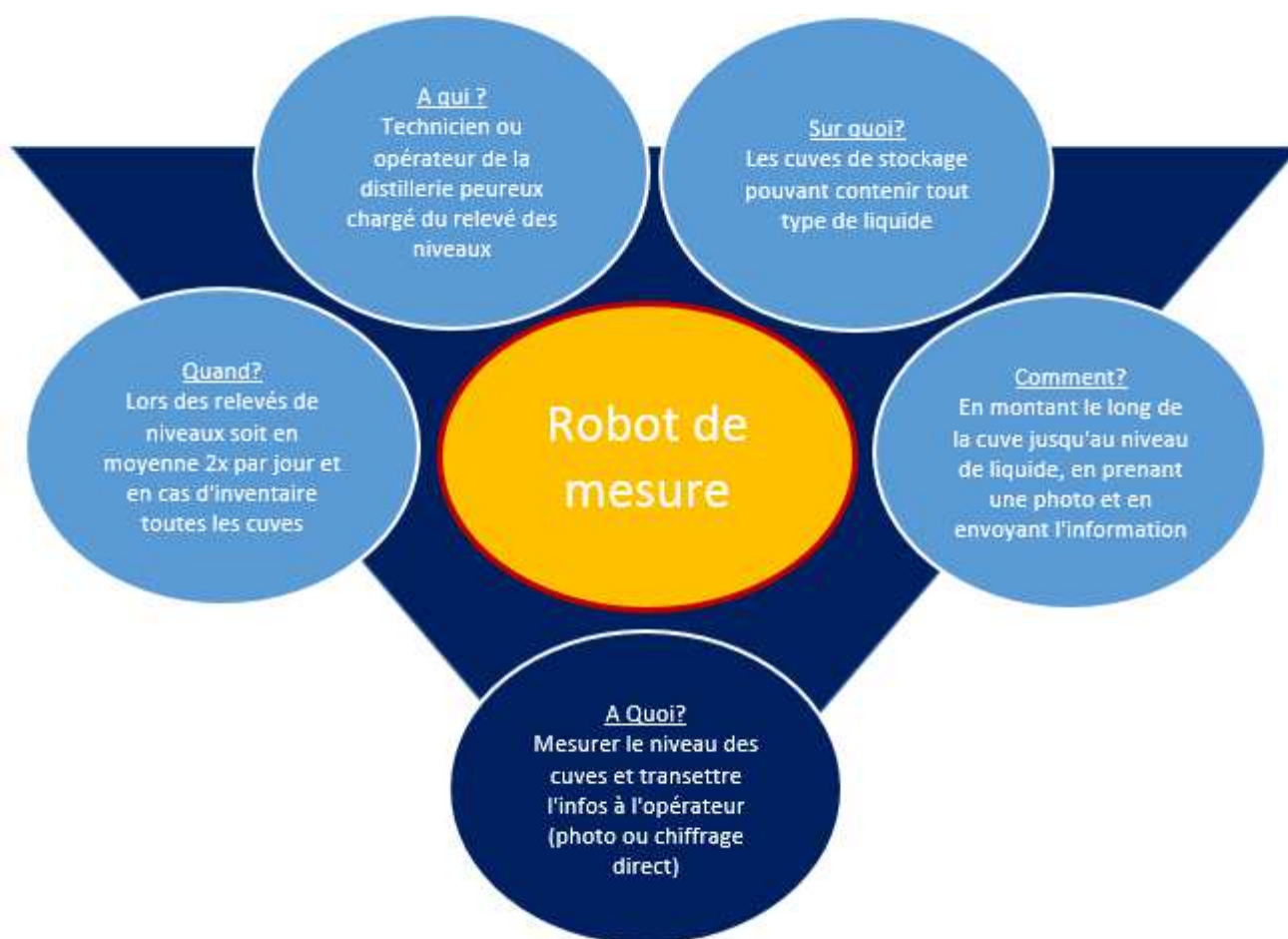


Figure 4 : Diagramme "bête à cornes" du projet

3 Analyse fonctionnelle

Le diagramme pieuvre sert à modéliser le système analysé au centre de ses interacteurs. On y représente les fonction de services, ou principale, et fonctions contraintes qui lient les interacteurs au système.

Ci-après est présenté le diagramme pieuvre de la phase d'utilisation.

3.1 Diagramme pieuvre

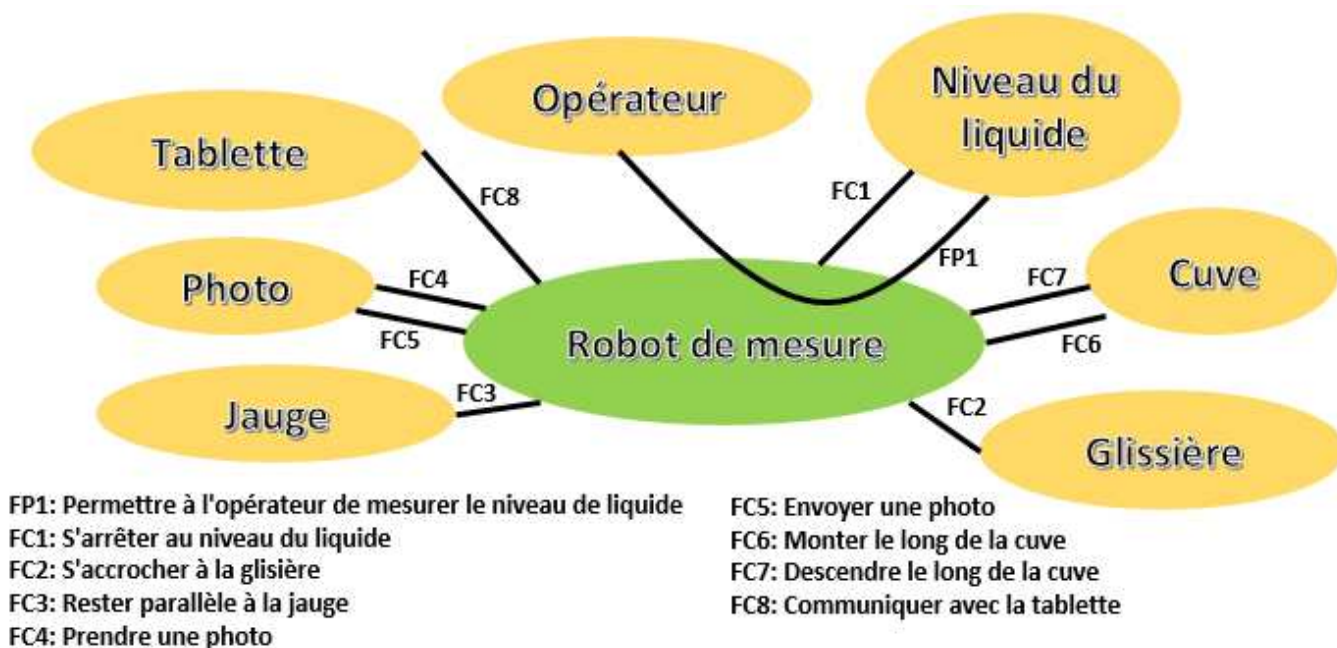


Figure 5 : Diagramme pieuvre de la phase vie d'utilisation

3.2 Caractérisation des fonctions

La classe de flexibilité est un indicateur de négociabilité de la flexibilité. On distinguera 4 classes :

- Classe F0 : flexibilité nulle – niveau impératif
- Classe F1 : flexibilité faible – niveau peu négociable
- Classe F2 : flexibilité bonne – niveau négociable
- Classe F3 : flexibilité forte – niveau très négociable

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilité
FP1 : Permettre à l'opérateur de mesurer le niveau de liquide	Temps de mesure total	15 secondes	F2
		45 secondes	F1
	Autonomie du robot	50 mesures	F2
FC1 : S'arrêter au niveau du liquide	Précision de l'arrêt	< 1 cm	F1

FC2 : S'accrocher à la glissière	Temps de mise en place	< 30 secondes	F0
FC3 : Rester parallèle à la jauge	Déviatiion maximale autorisée	$\pm 5^\circ$	F0
FC4 : Prendre une photo	Taille maximale de la photo	< 1 Mo	F0
FC5: Envoyer une photo	Temps d'envoi de la photo	< 5 secondes	F1
FC6 : Monter le long de la cuve	Temps de montée	5 secondes	F2
		15 secondes	F1
	Vitesse de montée maximale	2 m/s	F2
FC7 : Descendre le long de la cuve	Temps de descente	10 secondes	F2
		30 secondes	F1
	Vitesse de descente maximale	1 m/s	F0
FC8 : Communiquer avec la tablette	Taux de déconnexion maximal	< 2%	F1

4 Définition de pré-concepts

Après avoir analysé l'ensemble des contraintes que nous avons sur le robot à concevoir, deux problèmes se sont détachés. D'une part le glissement. En effet, le robot doit être capable de monter à la verticale le long d'une cuve. Pour des raisons de sécurité et de performances il faut donc que ce dernier ne soit pas sujet au glissement. D'autre part, la nécessité de concevoir une solution dont le poids soit le plus bas possible. En d'autres termes, nous devons trouver une solution qui nous permettent de nous affranchir des éléments "lourds" comme les moteurs.

4.1 Solution 1 : Robot avec arc-boutement

Pour cela nous avons proposé une première solution simplifiée au maximum qui ne possède que 2 moteurs situés à l'arrière du robot. On utilise ici le principe de l'arc-boutement afin de plaquer les roues sur la cuve. C'est donc le poids du robot qui remplace les ressorts sur la solution existante.

4.1.1 Présentation de la solution

Le guidage est effectué directement par la glissière de la cuve (voir Figure 6) sur laquelle viennent s'accrocher 2 roues rainurées. Ces roues permettent aussi le maintien du robot en position d'équilibre (voir Figure 7).

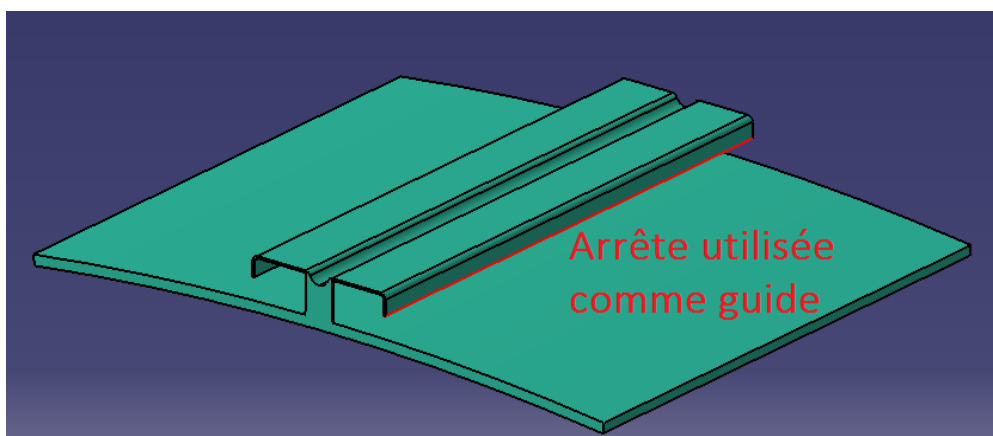


Figure 6 : Glissière le long de la cuve

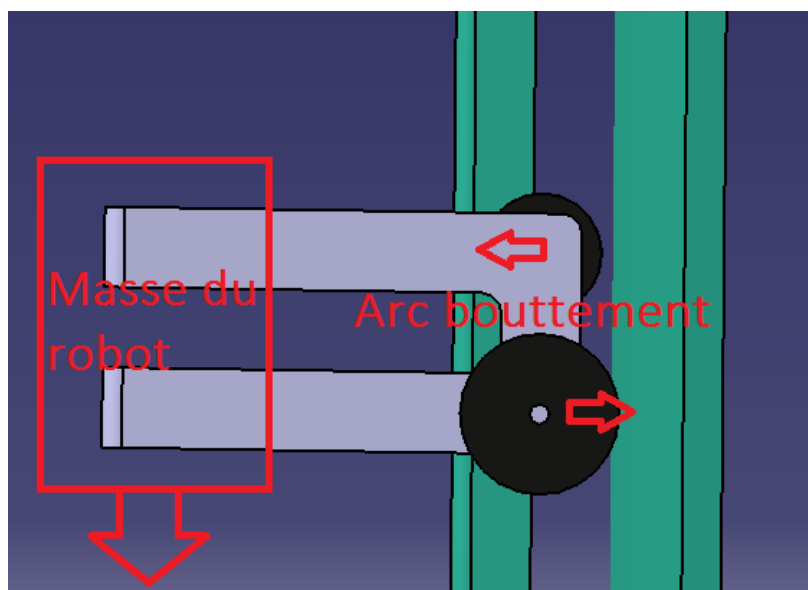


Figure 7 : Représentation du robot en arc-boutement sur la glissière

Sur ce modèle, les moteurs sont aussi placés sur le dessus du robot et se retrouvent donc éloignés des roues. Nous prévoyons donc d'utiliser une courroie par côté afin de transmettre la rotation du moteur à chaque roue.

4.1.2 Etude mécanique

4.1.2.1 Hypothèses

Etude statique, on suppose les roues motrices (ou le moteur) bloquées mécaniquement.

On suppose la paroi de la cuve et la glissière verticale.

La roue de guidage (roue avant) est libre et n'est soumise à aucun frottement.

Les roues motrices (roues arrières) sont en contact avec frottement sur la cuve.

4.1.2.2 Bilan des forces agissant sur le robot

Lors du déplacement du robot, 4 forces s'appliquent :

$$\vec{P} \begin{cases} \text{Poids} \\ \text{Au point G} \\ \text{verticale vers le bas} \\ P = mg \end{cases}$$

$$\vec{R}_{N1} \begin{cases} \text{Réaction normale de la cuve} \\ \text{Au point B} \\ \text{horizontale vers la gauche} \end{cases}$$

$$\vec{R}_{N2} \begin{cases} \text{Réaction de la glissière} \\ \text{Au point A} \\ \text{horizontale vers la droite} \end{cases}$$

$$\vec{T} \begin{cases} \text{Réaction tangentielle de la cuve} \\ \text{Au point B} \\ \text{verticale vers le haut} \end{cases}$$

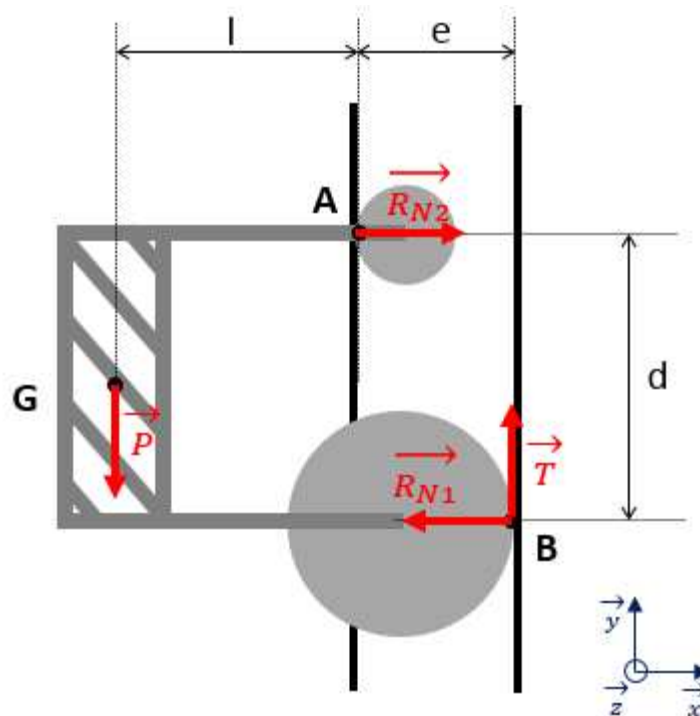


Figure 8 : Schéma de principe pour l'arc-boutement

4.1.2.3 Principe fondamentale de la statique appliqué au point B

On applique le PFS au point B. On trouve ainsi :

$$\begin{array}{l} \text{suivant l'axe } \vec{x} \\ \text{suivant l'axe } \vec{y} \\ \text{suivant l'axe } \vec{z} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \vec{P} + \vec{T} = \vec{0} \\ R_{N1} + R_{N2} = \vec{0} \\ dR_{N2} = (l + e)P \end{array} \right. \leftrightarrow \begin{cases} T = P \\ R_{N2} = \left(\frac{l+e}{d}\right)P \\ R_{N1} = \left(\frac{l+e}{d}\right)P \end{cases}$$

4.1.2.4 Conditions d'adhérence au point B

f : coefficient de frottement (roue/cuve)

$$f = \tan(\varphi)$$

Condition :

$$\alpha < \varphi$$

$$\tan(\alpha) < f$$

$$\frac{T}{R_{N1}} < f$$

$$\frac{d}{l+e} < f$$

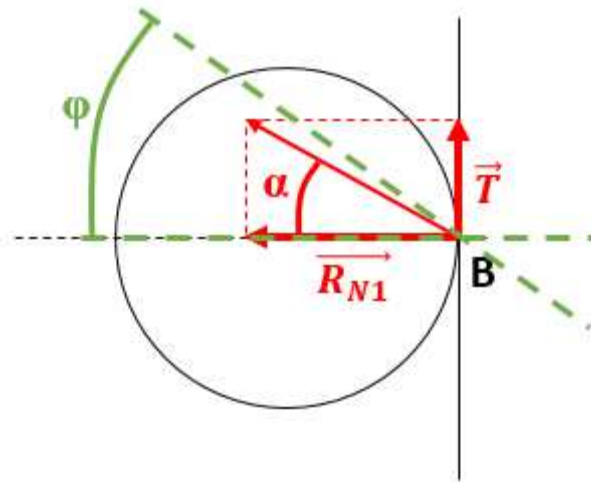


Figure 9 : Cône de frottement

4.1.2.5 Application numérique

D'après les calculs que nous avons menés la solution est viable dans le cas où le robot est très allongé. Nous trouvons en effet une taille d'environ 40 centimètres pour que le robot soit en limite de glissement. Cette application prend en considération un poids du robot d'environ 2kg, ce qui est tout de même élevé. Il est donc évident que cette solution c'est pas viable.

4.2 Solution 2 : Robot avec ressorts

4.2.1 Présentation de la solution

Cette solution est basée sur le principe de la solution existante. Nous n'avons toujours que 2 moteurs afin de garder un poids le plus faible possible mais nous rajoutons cette fois-ci un ressort de chaque côté afin d'exercer la pression nécessaire contre la cuve pour éviter le glissement.

Les ressorts servent à ajuster la hauteur des roulettes de guidage qui viennent s'insérer sous la glissière. Afin de répartir les efforts sur cet ensemble, chaque côté possède deux roues rainurées comme le montre la Figure 10.

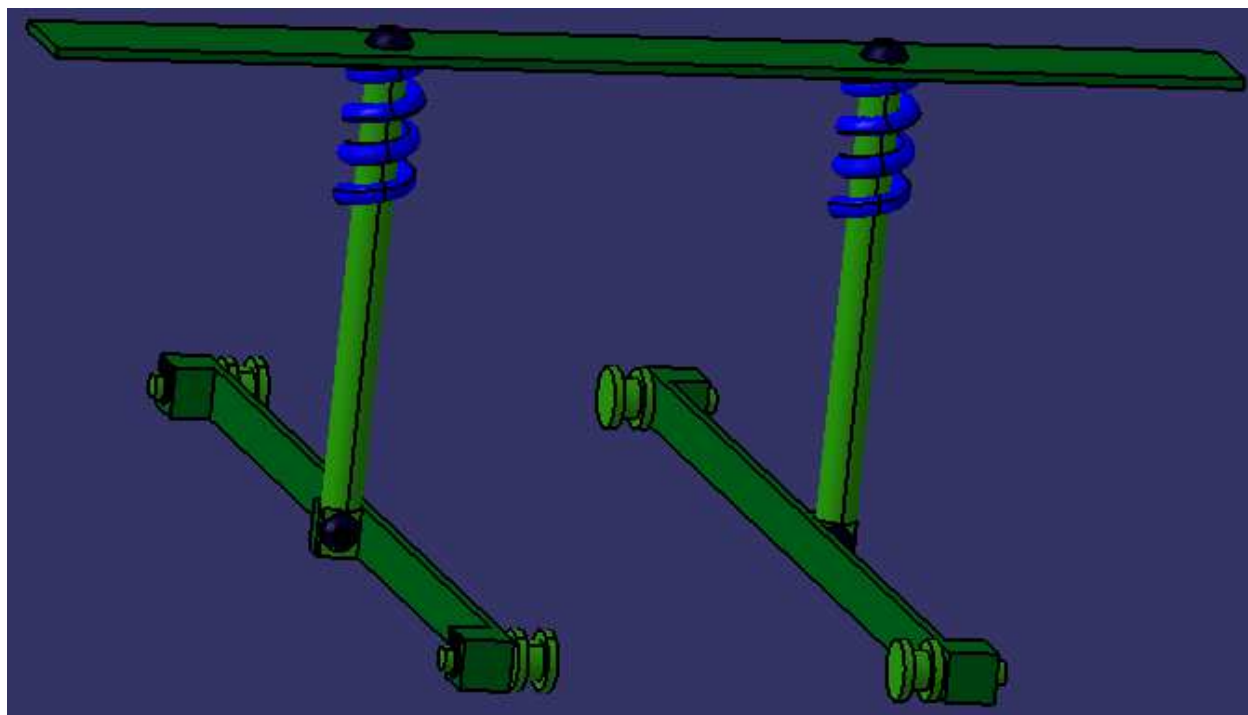


Figure 10 : Roulettes de guidage (2 par côté)

Ce guidage est ajusté à l'aide d'une poignée traversant le robot dans sa largeur est sur laquelle l'opérateur peut exercer une pression suffisante pour engager les roues dans le guidage.

Les roues motrices sont quant à elles directement équipées des moteurs, s'affranchissant ainsi des courroies précédemment envisagées. Un système d'ajustement par écrou situé à proximité de chaque roue permet de régler le robot (et donc d'améliorer son adhérence) en fonction des différentes cuves sur lesquelles il peut être utilisé. Le système est présenté sur la Figure 11.

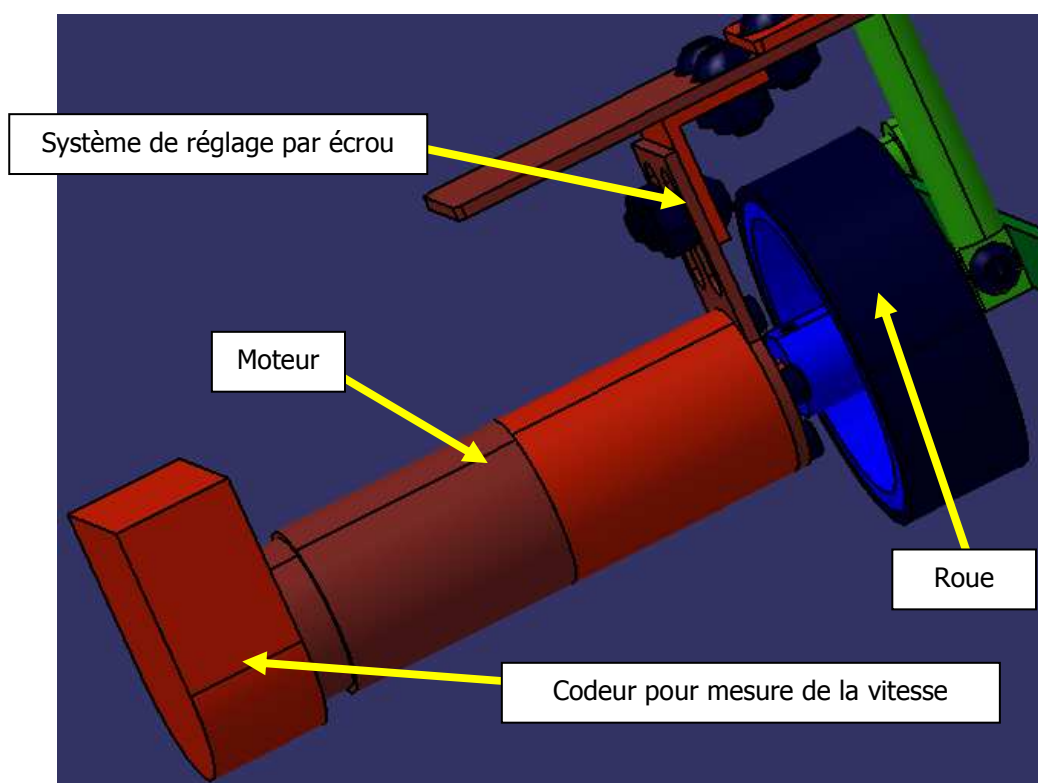


Figure 11 : Implantation des roues motrices

L'ensemble moteur/roue + guidage est ensuite implémenté comme indiqué sur la Figure 12.

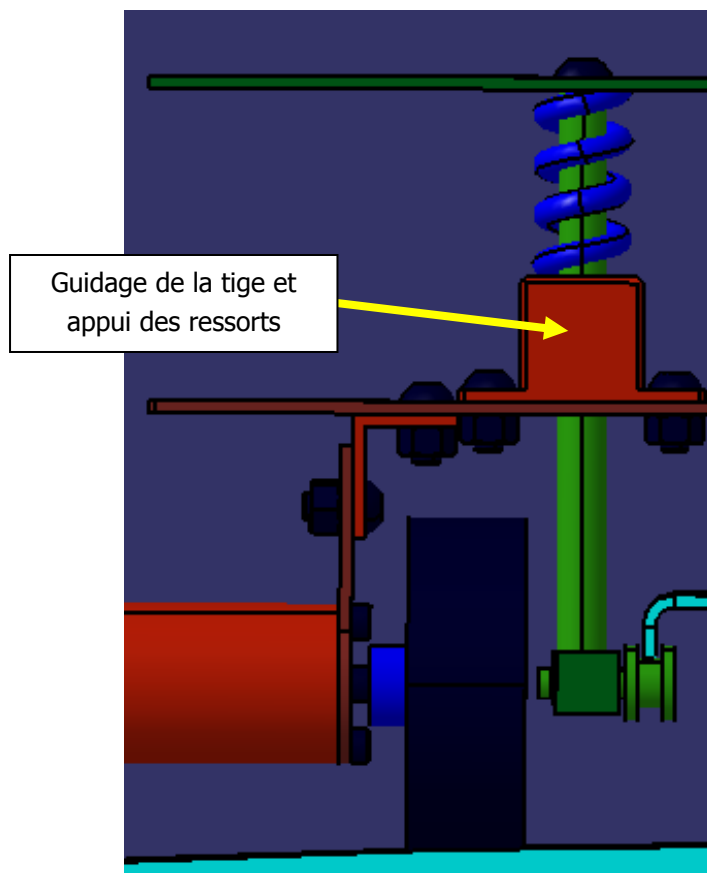


Figure 12 : Ensemble moteur + guidage

4.2.2 Etude mécanique

Afin de nous assurer de la faisabilité de notre concept et surtout afin de pouvoir dimensionner correctement les moteurs et les roues, nous présentons juste après une étude mécanique nous permettant notamment de déterminer le couple nécessaire au déplacement du robot.

4.2.2.1 Schéma de principe

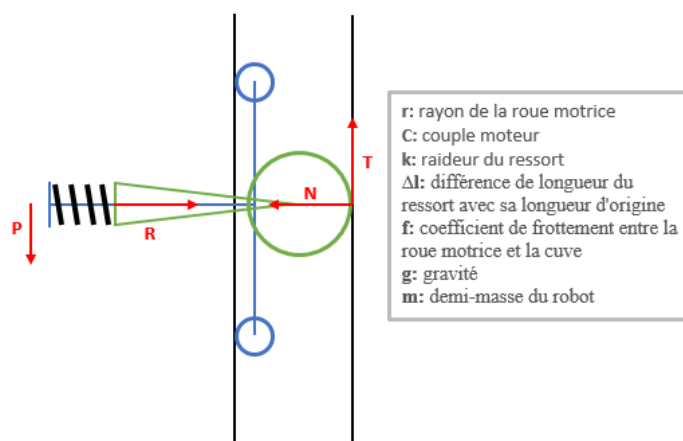


Figure 13 : Schéma d'application des forces sur le robot

4.2.2.2 Hypothèse

On ne tiendra pas compte du moment exercé par le poids qui sera compensé par l'effet du ressort à travers le corps bleu. On étudie ici une moitié du robot.

4.2.2.3 Description de l'étude

Ceci n'est pas une étude en statique, le bilan des forces sur l'axe vertical n'est pas nul. En revanche, il l'est sur l'axe horizontal dû aux degrés de liberté du robot. On cherche à exprimer le couple minimum applicable par la roue motrice pour que le robot monte ainsi que le couple maximum applicable pour ne pas qu'il patine.

4.2.2.4 Expression des forces mises en jeu

On commence par exprimer les différentes mises en jeu en fonction des caractéristiques du robot.

On obtient donc :

$$\begin{cases} P = m \cdot g \\ R = N = k \cdot \Delta l \\ T = \frac{C}{r} \end{cases}$$

4.2.2.5 Expression des conditions de montée et d'adhérence

On utilise ensuite les équations trouvées pour déterminer le couple que l'on doit appliquer avec les moteurs pour rester dans les contraintes imposées. Il s'agit d'une plage de couple pour lesquels le robot avance mais ne glisse pas.

On trouve :

$$\begin{cases} \frac{T}{N} < f \\ T > P \end{cases} \rightarrow \frac{P}{N} < \frac{T}{N} < f \rightarrow P < T < f \cdot k \cdot \Delta l \rightarrow m \cdot g \cdot r < C < f \cdot k \cdot \Delta l \cdot r$$

Le couple appliqué doit donc être au minimum de $m \cdot g \cdot r$ et au maximum de $f \cdot k \cdot \Delta l \cdot r$.

4.2.2.6 Application numérique

Le coefficient de frottement f est tiré de la littérature en considérant une cuve en acier et des roues en caoutchouc mou. A partir des données déterminées au cours de l'étude nous trouvons le tableau suivant :

Paramètres fixés		paramètre dépendant	paramètres réglables				
g (m/s ²)	f	m (Kg)	r (m)	k (N/m)	Δl (m)	vitesse à atteindre (m/s)	vitesse moteur (rpm)
9,81	0,2	0,75	0,03	10000	0,005	1	250
							Couple réel demandé (N.m)
							0,25

Limite inférieur de couple (N.m)	Limite supérieur de couple (N.m)	Force du ressort (N)	Temps mini pour atteindre la vitesse requise (s)	vitesse robot (m/s)
0,22	0,45	75,00	0,10	0,79
temps pour atteindre la vitesse requise (s)				
0,77				

Pour pouvoir avancer à environ 1m/s il faudrait donc que nous soyons capable d'appliquer un couple de 0.25 Nm en continu pendant le déplacement. Par ailleurs le couple ne doit pas dépasser les 0.45 Nm pour ne pas entrer dans le cône de glissement.

4.3 Matériel utilisé pour la réalisation

4.3.1 Moteurs

Il s'agit là de la partie la plus compliquée du dimensionnement. En effet, nous avons besoin d'un moteur léger mais assez puissant pour fournir le couple nécessaire sans consommer trop d'énergie (au risque de transporter une batterie lourde également).

Après plusieurs recherches nous sommes tombés d'accord sur le modèle 2642W012CXR avec un réducteur 23:1 de chez Faulhaber. Le service technique nous a assuré que nous pouvions fournir en continu jusqu'à 0,480 Nm pour une vitesse de rotation de 220 tr/min soit avec nos roues une vitesse d'environ 0.7 m/s.

Ce moteur convient donc parfaitement à nos besoins.

D'après les calculs effectués par le service technique de Faulhaber, la puissance nécessaire en entrée du moteur pour de telles caractéristiques est de 13W. Pour nous cela représente environ 1 A de courant par moteur pour une tension d'alimentation un peu supérieure à 12V.

4.3.2 Pilotage des moteurs

Les moteurs choisis étant pilotés en PWM (Pulse Width Modulation) nous avons décidé d'utiliser des ponts en H pour générer les signaux nécessaires. Le pont choisi est le LMD18201T/NOPB de chez Texas Instrument. Ce pont peut tenir 3 A de courant et jusqu'à 55 V de tension, ce qui est largement suffisant pour notre application.

En complément de ces ponts, nous avons déterminé qu'il nous fallait un radiateur pour garder les composants à une température correcte. En effet, la littérature nous donne :

$$P (R_{thra} + R_{thbr} + R_{thjb}) = \Sigma T = T_j - T_a$$

Donc

$$R_{thra} = (T_j - T_a) / P - (R_{thbr} + R_{thjb})$$

Avec

- P : puissance max dissipée en W (25W)
- R_{thra} : Résistance thermique du radiateur et °C/W (à déterminer)
- R_{thbr} : Résistance thermique interne en °C/W (~ 0.7 °C/W)
- R_{thjb} : Résistance thermique jonction/boîtier en °C/W (1 °C/W)
- T_j : Température d'utilisation maximale en °C (125°C)
- T_a : Température ambiante en °C (25 °C)

Ici on trouve donc une résistance thermique du radiateur R_{thra} de 2.3 °C/W.

On pourrait donc par exemple prendre un dissipateur 05DN-01000-A-200 de chez H S MARSTON qui dissipe 2.9 °C/W ce qui convient très bien à notre robot.

4.3.3 Batterie

Autre élément important de notre robot, l'alimentation. Celle-ci doit pouvoir alimenter le MyRIO ainsi que les moteurs tout au long des mesures. Elle doit donc pouvoir fournir au moins 12V et tenir en charge pour pouvoir réaliser un certains nombre de mesures.

Pour notre part nous nous sommes tournés vers une batterie RFI1313 vendue sur le site Miniplanes. Cette batterie nous permet de fournir une tension de 14.8V avec une capacité de 3.2 Ah. D'après nos estimations, nous avons besoin lors des mesures de consommer environ 3 A en continu. La batterie pourrait donc tenir 1h de charge. Pour rappel, une mesure dure environ 1 minute.

4.3.4 Nomenclature

Ci-dessous la nomenclature du robot entièrement équipé :

Repère	Description	nombre	Matériau	Masse unitaire (Kg)	Masse totale (Kg)	Fournisseur	Référence
1	carte MyRIO	1	plastique	0,193	0,193	NI	MyRIO 1900
2	batterie	1	plastique	0,214	0,214	Miniplanes	RFI1313
3	réducteur	2	/	0,116	0,232	Faulhaber	26/1S 23:1
4	moteur	2	/	0,114	0,228	Faulhaber	2642W012CXR
5	codeur	2	plastique	0,05	0,1	Faulhaber	HEDM 5500 J
6	webcam	1	plastique	0,018	0,018	FNAC	Mini caméra sport espion
7	carte de puissance	1	/	0,1	0,1		
8	roue	2	aluminium/caoutchouc	0,04	0,08	a4 technologies	V-T10RUB
9	Chassis_transversal	1	aluminium	0,024	0,024		
10	Chenille_droite	1	aluminium	0,015	0,015		
11	Chenille_gauche	1	aluminium	0,015	0,015		
12	Fixation_moteur_chassis	2	aluminium	0,003	0,006		
13	Guide_patte	2	aluminium	0,021	0,042		
14	Languette_maintien_batterie	1	aluminium	0,001	0,001		
15	Patte	2	aluminium	0,012	0,024		
16	Poignee	1	aluminium	0,026	0,026		
17	Ressort	2	acier	0,014	0,028	Vit Ressort	
18	Roulette	4	aluminium	0,002	0,008		
19	Support_moteur	2	aluminium	0,004	0,008		
20	Support_MyRIO	1	aluminium	0,05	0,05		
21	Languette_maintien_webcam	1	aluminium	0,002	0,002		
22	Circlips pour axe 5mm	4	acier	0,001	0,004	Bricovis	
23	Ecrou M3	3	acier	0,001	0,003	Bricovis	
24	Ecrou M4	2	acier	0,001	0,002	Bricovis	
25	Ecrou M5	14	acier	0,002	0,028	Bricovis	
26	Vis Ahc M3x4	2	acier	0,001	0,002	Bricovis	
27	Vis TCHc M3x8	3	acier	0,001	0,003	Bricovis	
28	Vis CHc M3x5	8	acier	0,001	0,008	Bricovis	
29	Vis TCHc M4x8	2	acier	0,001	0,002	Bricovis	
30	Vis TCHc M4x16	2	acier	0,002	0,004	Bricovis	
31	Vis TCHc M5x10	15	acier	0,002	0,03	Bricovis	
32	Vis TCHc M5x20	2	acier	0,004	0,008	Bricovis	
				Masse Total (Kg)	1,508		

4.4 Présentation du concept final

Le concept final se présente donc comme montré sur les figures ci-dessous.

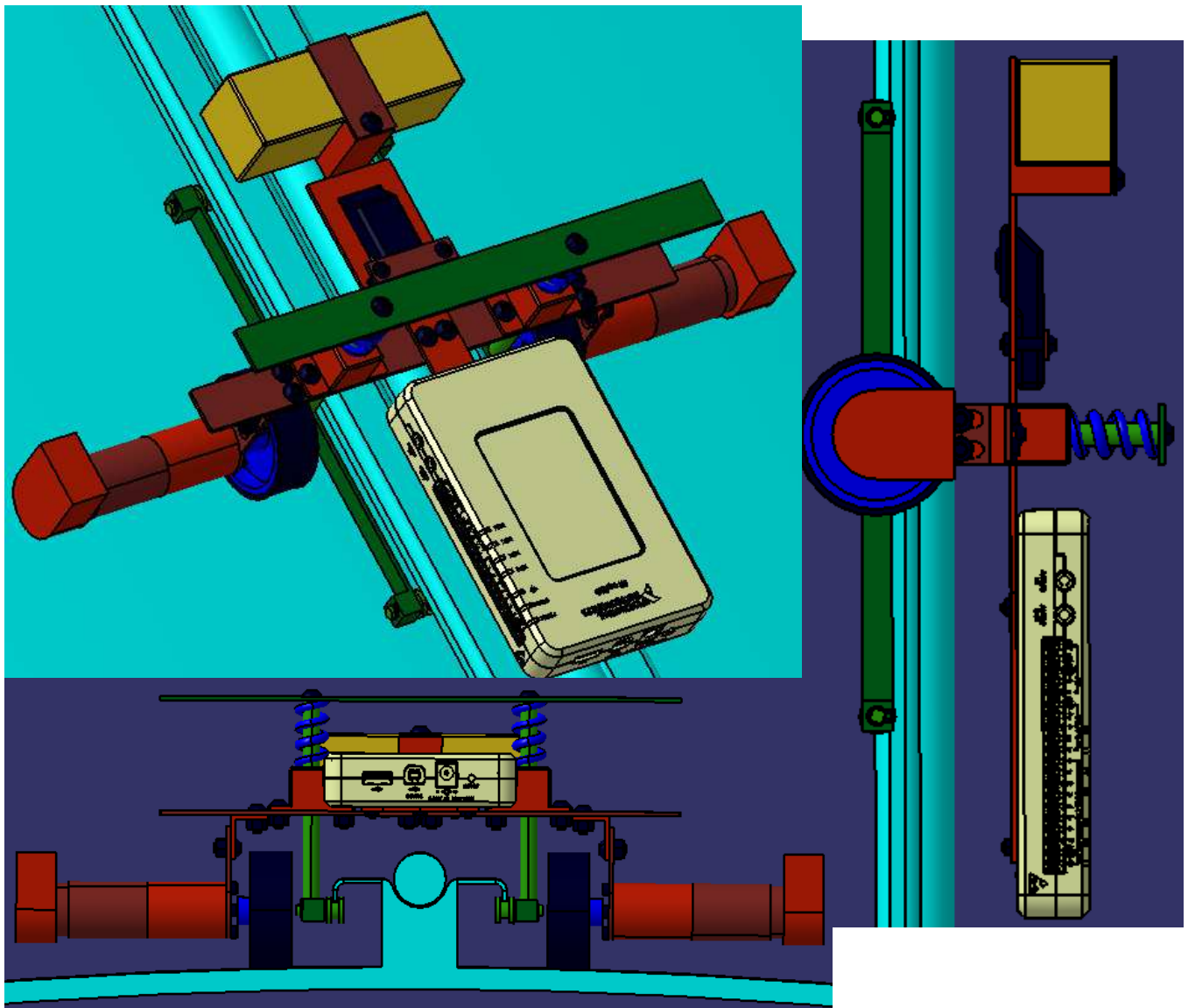


Figure 14 : Différentes vues du robot

5 Conclusion

Bien que le rendu n'en soit encore qu'au stade de concept, nous ne doutons pas de la conception que nous proposons. En effet, le robot tel que nous l'avons imaginé remplit le cahier des charges et il est certains qu'avec un peu plus de temps nous aurions pu nous procurer le matériel nécessaire afin de mettre notre modèle à l'épreuve.

Sur un plan personnel, ce projet nous a beaucoup apporté. En plus du fait de mettre en œuvres nos compétences en mécanique, il nous a notamment permis d'approfondir nos connaissances acquises au cours de ces semestres passés à l'UTBM et particulièrement en conception. Je pense que ce semestre de projet nous aura donné envie de continuer à travailler sur ce genre de problématiques.

Par ailleurs, cette TX a été l'occasion de tester nos capacités à gérer un projet lié à la mécatronique en approchant une conception à partir de 0. Il nous a donc fallu concevoir l'application de A à Z. Nous espérons pouvoir mettre à profit cette expérience au cours de notre stage le semestre prochain.