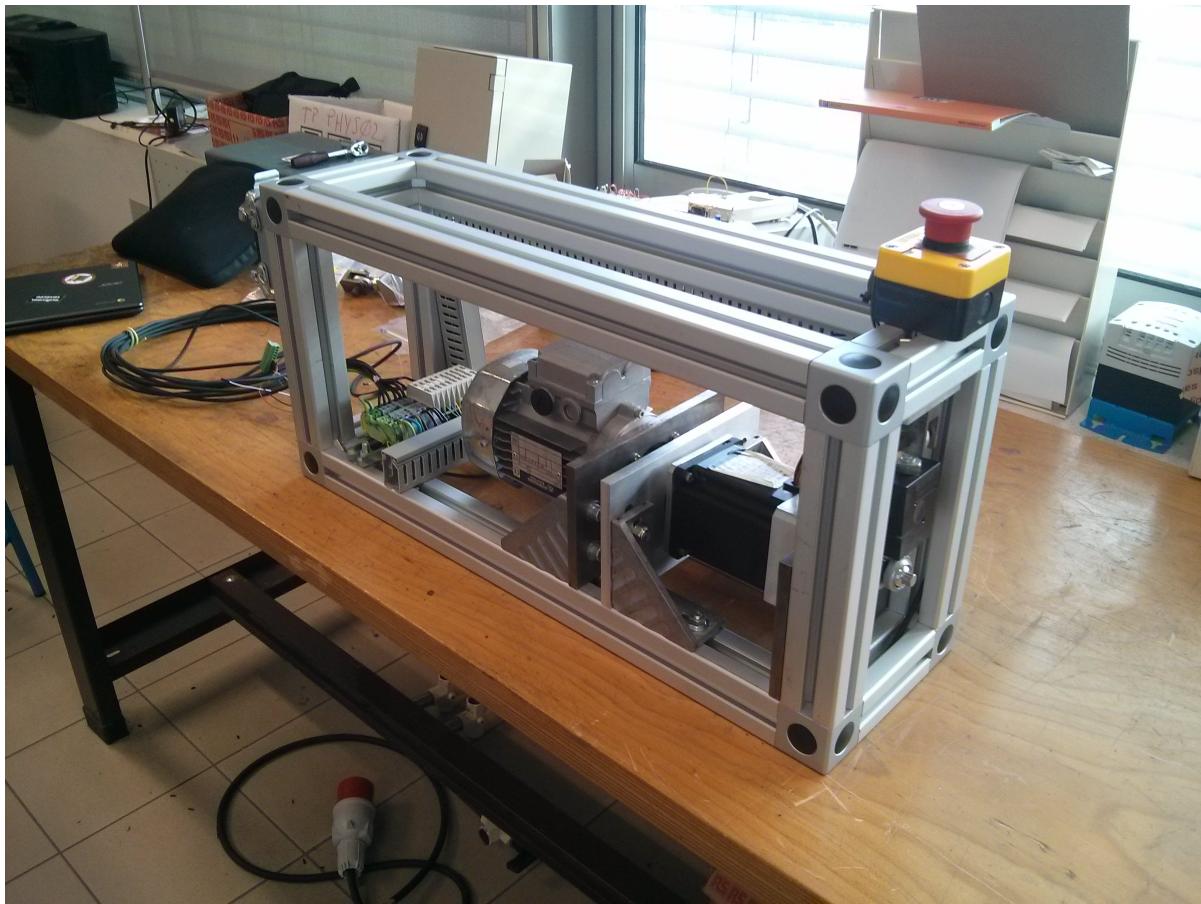


Rapport TX

Banc d'essai : Brushless & Asynchrone

Geoffrey Gaillard

Juin 2016



Sommaire

1 Description du banc d'essai / Bilan	3
1.1 Le banc d'essai	3
1.2 L'armoire électrique	4
1.3 Le pupitre de commande	4
2 Électronique	5
2.1 Commande asynchrones	5
2.2 Commande Brushless	7
2.3 Retour vitesse et force	7
2.3.1 Brushless	7
2.3.2 Capteur de force	8
3 Montage Banc d'essai	11
3.1 Partie Mécanique	12
3.2 Partie électrique	12
3.2.1 Banc d'essai	12
3.2.2 Armoire électrique	13
4 Amélioration futur	16
5 Conclusion	17
6 Annexe	18
6.1 Annexe I : Commande Brushless	18
6.2 Annexe II : Commande Asynchrone	20
6.3 Annexe III : Capteur de force	21
6.4 Annexe IV : Bornier du banc d'essai	22
6.5 Annexe V : Câblage arduino	24
6.6 Annexe VI : Liens	25

Remerciement

Je vais tous d'abord remercier M. Weil pour l'aide qu'il m'a apporté dans la réalisation de la partie mécanique du banc d'essai, il m'a permis de finaliser le montage de la partie mécanique de façon rapide. M. Didon, pour son aide lors de la réalisation de l'électronique et m'as permis d'améliorer mes compétences en électronique.

Ensuite M. Adragna mon encadrant de TX pour m'avoir suivi tous au long de ce projet.

Enfin M. Noailles pour l'aide apporter pour la réalisation de ce projet.

Préambule

Le projet a consisté à la réalisation d'un banc d'essai composé d'un moteur Brushless et d'un moteur asynchrone dans le but de réaliser des asservissements suivants différentes variables telles que la vitesse d'un des moteurs ou le couple d'un des moteurs. Les deux moteurs sont en face à face et accoupler. Ce projet a déjà fait l'objet de plusieurs TX sur différents points. La réalisation du pilotage du moteur asynchrone, la réalisation du pilotage du moteur Brushless et enfin le banc en lui-même. Lorsque que j'ai pris ce projet, la mécanique était presque complète et une partie de l'électronique avait été réalisé, il me restait donc à rassembler les différents résultats des TX précédentes pour pouvoir finaliser le banc d'essai dans son ensemble. Cependant, la partie électrique du banc devait être réalisée à 100%. Il reste donc beaucoup de travail avant que le banc soit opérationnel.

1 Description du banc d'essai / Bilan

Le banc d'essai est composé de 3 éléments :

- Le banc d'essai
- L'armoire électrique
- Le pupitre de commande

1.1 Le banc d'essai

Le banc d'essai est composé d'un moteur asynchrone et d'un moteur Brushless. Ils sont disposés de telle sorte qu'il soit en vis-à-vis. Ils sont mécaniquement liées par le biais du châssis mais, aussi par un accouplement flexible. Ce montage permet de piloter l'un des 2 moteurs, et l'autre joue le rôle de perturbateur ou de simulateur d'inertie.

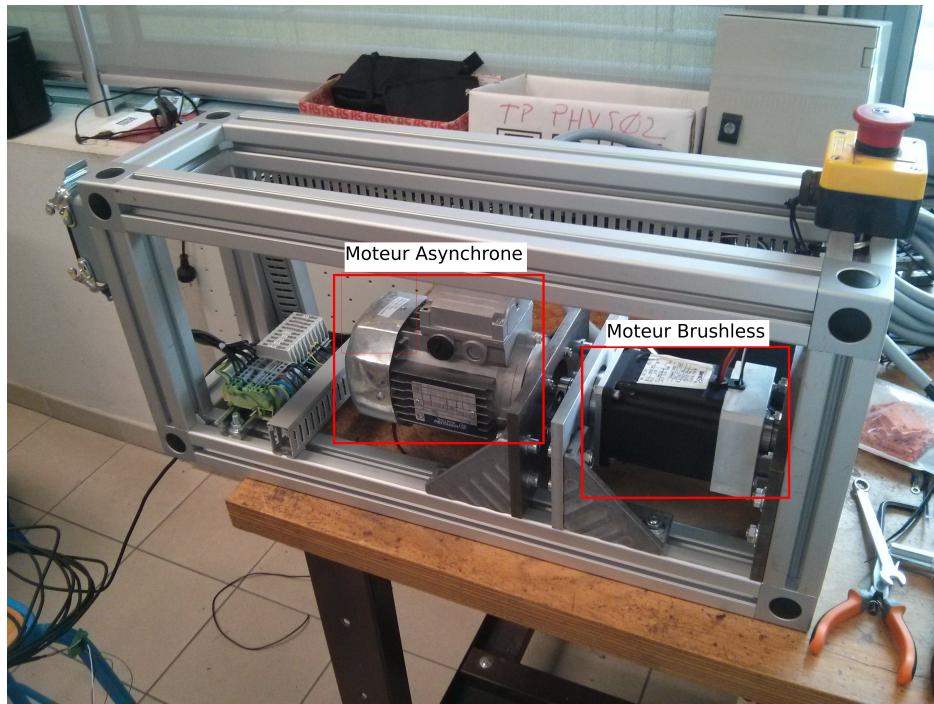


Figure 1: Banc d'essai

Mesure de vitesse

La mesure de vitesse est faite grâce au capteur à effet hall du moteur de Brushless.

Mesure de couple

La mesure de couple est fait par l'intermédiaire d'un capteur de force placé avec un bras de levier.



Figure 2: Capteur de force FN3060

Le capteur mesure une force de $+/- 500N$, le bras de levier est fait de telle sorte que lorsque un moteur est à pleine puissance le capteur de force est presque à sa limite. Ce qui permet de mesurer la puissance mécanique développée par un moteur, dans les 2 sens de rotation. Nous verrons plus tard le traitement des données du capteur.

1.2 L'armoire électrique

Celle-ci n'était pas encore réalisé. Pour la faire je me suis inspiré des armoires qui ont déjà été réalisé pour d'autre banc d'essai. Celle-ci était composé d'un seul variateur pour un moteur asynchrones mais toutes la chaîne de sécurité et de puissance pouvait être adapté pour le projet. Nous allons voir plus tard les ajout et modification.

1.3 Le pupitre de commande

Le pupitre intègre toutes l'électronique de commande, l'ensemble est piloté par une arduino. Il possède aussi une façade avec des potentiomètre, des voyant et des boutons. Pour l'instant le choix du nombre de bouton, potentiomètre et voyant reste indéfinie.

2 Électronique

L'arduino commande l'ensemble des fonctions du banc d'essai, qui sont le contrôle des 2 moteurs. La commande des moteurs ce fait par l'intermédiaire du variateur pour le moteur asynchrones et par la carte de commande du moteur Brushless.

2.1 Commande asynchrones

Commande de vitesse

Le moteur asynchrones est piloté en vitesse par une commande 0 – 10V analogique. L'arduino possède des sorties digital et pour certaine de ces sorties un PWM 0 – 5V peut-être généré. Il me faut donc transformer le PWM 0 – 5V en 0 – 10V analogique. Suite à une petite recherche sur internet j'ai trouvé plusieurs exemples pour réaliser la transformation.

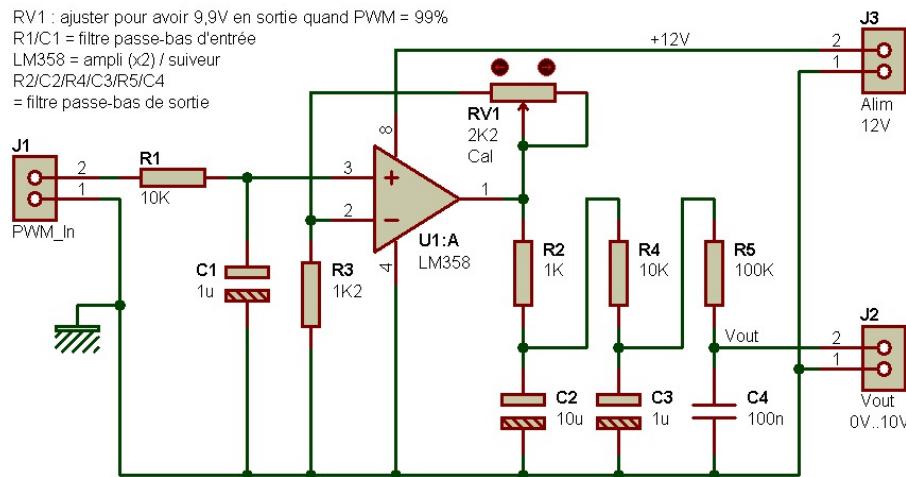


Figure 3: Schéma de base

Le principe du montage est de lisser une première fois le signal par un RC, de l'amplifier et par finir de le lisser par deux RC consécutif. Le système répond instantanément au changement du signal d'entrée (par une appréciation personnelle).

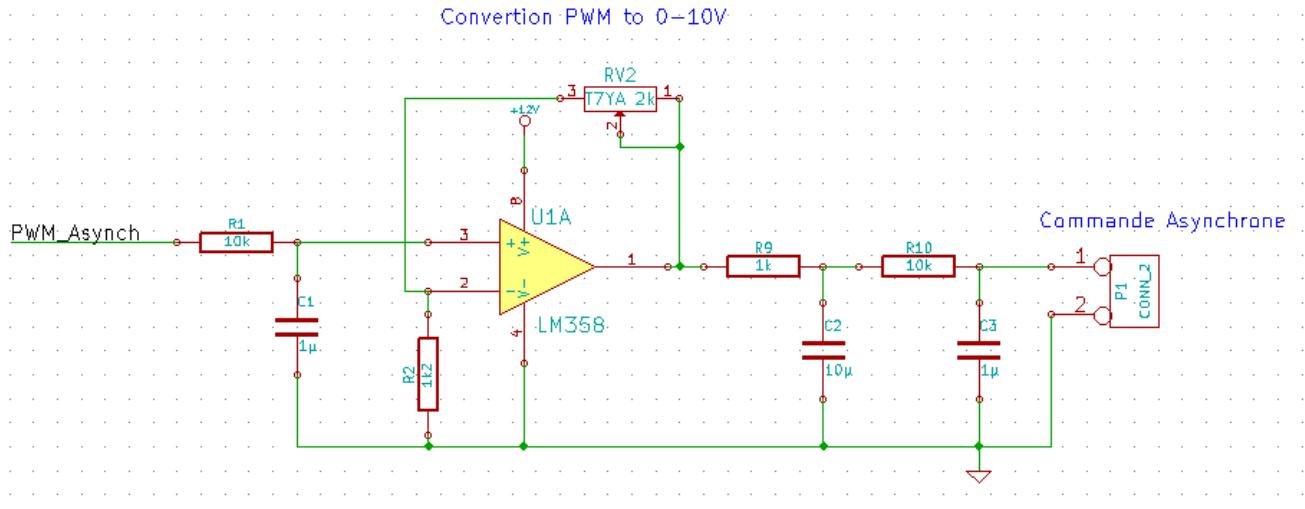


Figure 4: Schéma de câblage finale

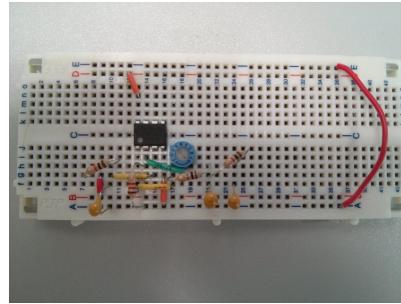


Figure 5: Montage sur breadboard

Commande de marche/arrêt & sens

Les entrées de marche/arrêt et de sens requièrent un signal bas à 0V et un signal haut à 24V. Le variateur génère son propre 24VDC, il suffit donc de récupérer cette tension puis par le biais de transistor *BC547*, piloter les entrées du variateur voulut.

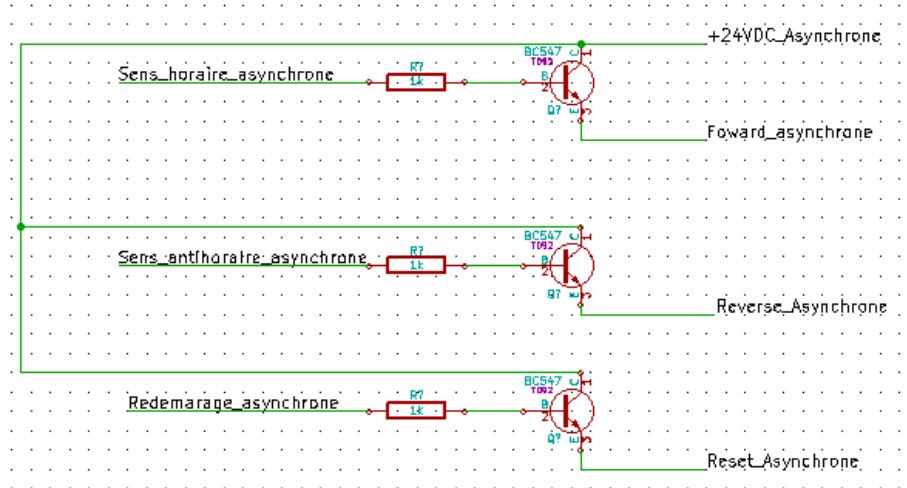


Figure 6: Schéma de pilotage asynchrone

2.2 Commande Brushless

Commande de vitesse

La commande de vitesse pour le contrôleur Brushless peut-être du 0 – 10V analogique ou du PWM. La commande se fait par le biais du PWM généré par l'arduino.

Commande Marche/Arrêt & Sens

Les entrées pour le contrôleur Brushless ont des niveaux logique compatible avec l'arduino. État 0 : < 2V ; état 1 : > 4V. Donc pas besoin d'électronique supplémentaire pour la commande du moteur Brushless, seule les sorties de l'arduino suffisent.

La partie commande des deux moteurs est donc complète. Nous voulons commander les moteurs en boucle fermé il nous faut donc les retours vers l'arduino des signaux de vitesse et de force.

2.3 Retour vitesse et force

2.3.1 Brushless

Entrée encoder & direction

Pour connaître la vitesse des moteurs je récupère la sortie encoder donnée par le contrôleur Brushless, de même pour le sens de rotation réel. Cependant une petite adaptation doit être réalisée, les tensions fournies ne correspondent pas à $V_{max} = 28,5V$. Un pont diviseur de tension est réalisé.

$$\begin{aligned}
 U_2 &= U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\
 U &= 28,5V \\
 U_2 &= 5V \\
 R_2 &= 10k\Omega \\
 \Rightarrow R_1 &= 47k\Omega
 \end{aligned} \tag{1}$$

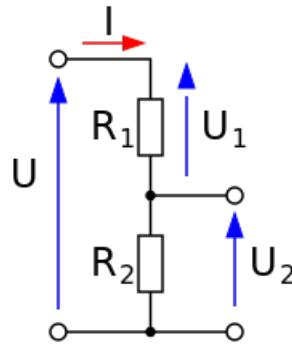


Figure 7: Schéma du pont diviseur de tension

2.3.2 Capteur de force

Pour cette partie je me suis basé sur la TX de Renhai PU.

J'utilise un capteur de force FN3060. Le capteur fonctionne avec un pont de wheatstone.

Suivant la documentation le capteur doit être alimenté en $10V$ et le signal de sortie est fonction de cette alimentation $2mV/V$. Donc pour une alimentation de $10V$ (tension d'alimentation maximum) le signal de sortie est donc compris entre $[-20mV; +20mV]$. Pour une force de $500N$ nous avons donc en sortie une tension de $20mV$. Ce qui est extrêmement faible et pas lisible pour une arduino (par défaut la résolution de l'arduino en lecture d'un signal analogique : $\frac{5V}{1024bit}$). De plus, le signal peut être aussi négatif.

Dans la TX de Renhai PU, il a réalisé sur breadboard un montage pour permettre la lecture du signal par une arduino. J'ai repris ce montage puis testé. Il c'est avéré qu'il y avait quelque erreur de câblage, cependant, je n'ai pas réussi à faire fonctionner le montage complet. J'ai donc repris la démarche qu'il avait entrepris mais en essayant de dissocier un maximum les étapes.

Le but du montage est de récupérer un signal lisible par l'arduino : Signal positif entre $0-5V$. Mon signal d'entrée peut être négatif et positif, je doit donc passer la partie négative en positive. Cependant comparé à Renhai PU, la lecture du signal par l'arduino se fera par 3 entrées : signal positif, signal négatif (mais redresser), sens. Le signal sens est redondant par rapport au 2 autres mais il y a cependant un seuil non nul lorsque le capteur est repos.

Le signal doit être amplifié 250 fois ($20mV \rightarrow 5V$). Il sera amplifié en plusieurs étapes.

Amplificateur différentiel Ce montage permet la soustraction de signaux. Il permet de changer de référence et de passer au GND commun à toutes l'électronique, les signaux sont donc combiner. On réalise aussi un première amplification.

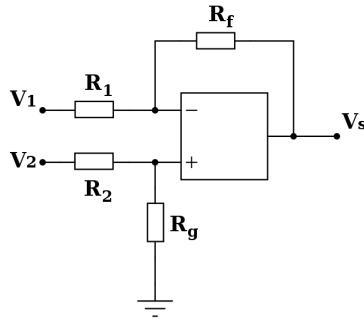


Figure 8: Montage AOP différentiel

Je me place dans le cas : $R_1 = R_2 \ \& \ R_f = R_g$

$$V_s = \frac{R_f}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (2)$$

On ce place dans le cas $V_2 - V_1 = 20mV$ et on amplifie le signal jusqu'à $2,5V$

$$\begin{aligned} R_1 &= 100\Omega \\ \frac{R_f}{R_1} &= 125 \\ \Rightarrow R_f &= 125 * 100 \\ &= 12500\Omega \\ &\Rightarrow = 12000\Omega \\ \Rightarrow V_{smax} &= +/- 2,4V \end{aligned} \quad (3)$$

Amplificateur inverseur Pour récupérer la partie négative du signal on l'inverse puis une diode pour supprimer la partie négative.

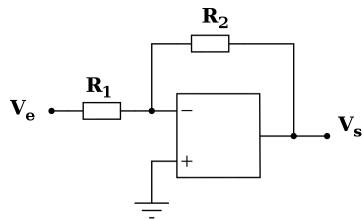


Figure 9: Montage AOP inverseur

Je part du principe du le signal d'entrée maximum $V_e = 2,5V$. Je dois donc amplifier le signal 2 fois.

$$\begin{aligned} V_s &= -V_e \frac{R_2}{R_1} \\ R_1 &= 1k\Omega \\ \frac{R_2}{R_1} &= 2 \\ \Rightarrow R_2 &= 2 * R_1 \\ &= 2k\Omega \end{aligned} \quad (4)$$

Pour permettre le réglage du gain, R_2 sera composé de 2 résistance en série. Une résistance de $1,5k\Omega$ et un trimer de $1k\Omega$, ce qui permette un réglage de gain sur une grande plage.

Amplificateur non inverseur Pour récupérer la partie positive le même principe est appliqué que pour l'amplificateur inverseur.

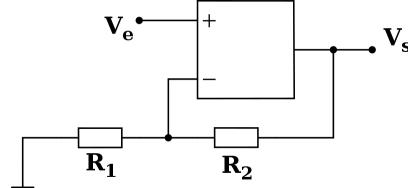


Figure 10: Montage AOP inverseur

Je part du principe du le signal d'entrée maximum $V_s = 2,5V$. Je dois donc amplifier le signal 2 fois.

$$\begin{aligned} V_s &= V_e \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \\ R_1 &= 1k\Omega \\ 1 + \frac{R_2}{R_1} &= 2 \\ \Rightarrow R_2 &= 2R_1 \\ &= 2k\Omega \end{aligned} \tag{5}$$

Pour permettre le réglage du gain, R_2 sera composé de 2 résistance en série. Une résistance de $0,5k\Omega$ et un trimer de $1k\Omega$, ce qui permette un réglage de gain sur une grande plage.

Comparateur Un montage comparateur permet la détection du sens de la force.

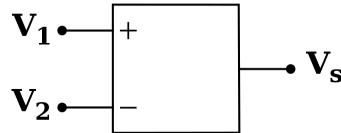


Figure 11: Montage AOP inverseur

$$V_s = \begin{cases} V_{s+} & V_1 > V_2 \\ V_{s-} & V_1 < V_2 \end{cases} \tag{6}$$

V_1 est relié à la masse se qui donne comme résultat :

$$\begin{aligned} &\text{si } V_2 > 0 \\ &\Rightarrow V_s < 0 \\ &\text{si } V_2 < 0 \\ &\Rightarrow V_s > 0 \end{aligned} \tag{7}$$

La détection du sens négatif de la force est fait à l'état haut.

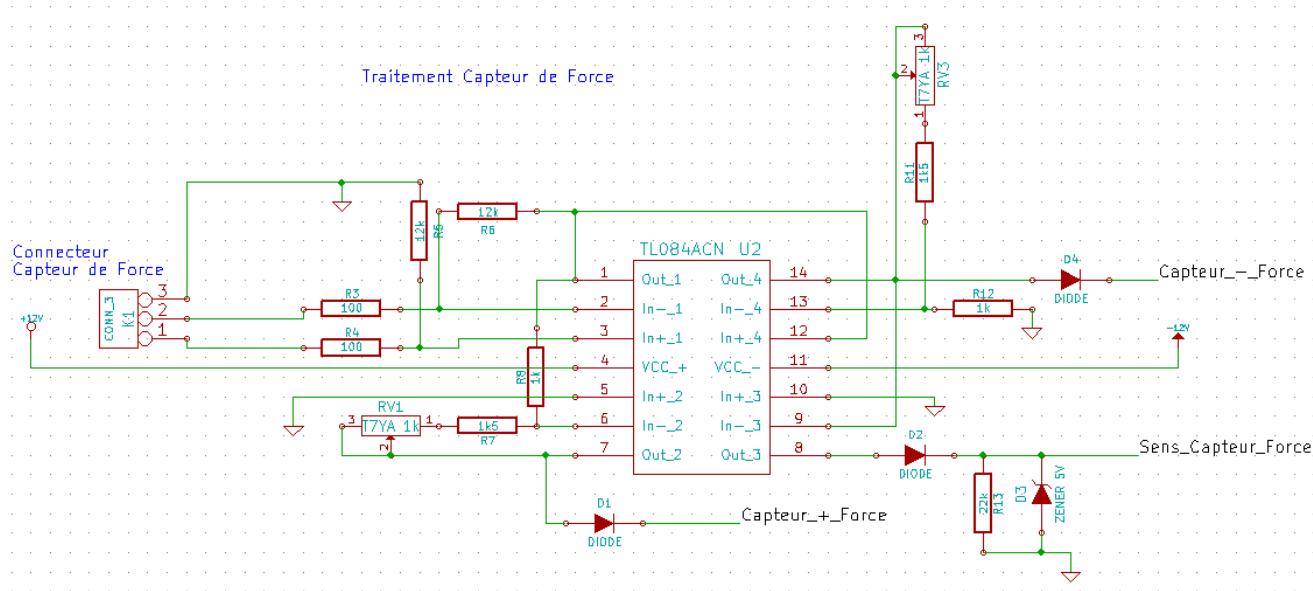


Figure 12: Schéma traitement du signal du capteur de force

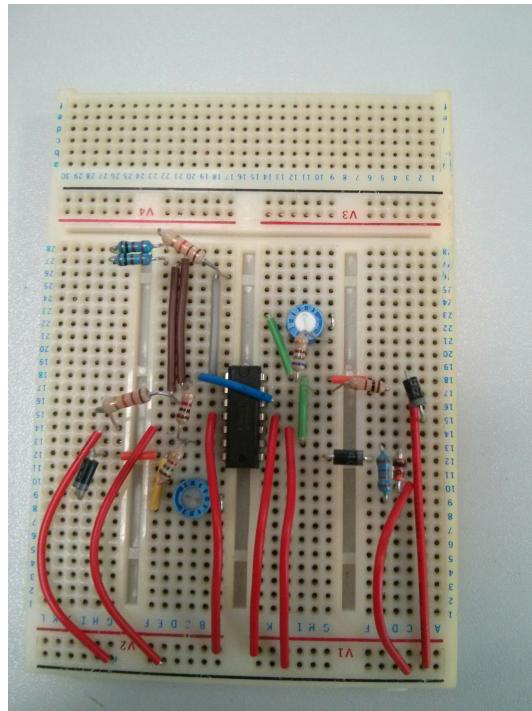


Figure 13: Montage sur breadboard

3 Montage Banc d'essai

Lorsque j'ai pris le projet, la mécanique du banc d'essai n'était pas complète. La conception du banc était terminé, alors que la réalisation du banc était en cours. Certaines pièces étaient en cours de réalisation par M. Weil. Et d'autres étaient encore lancées en fabrication. Aucun câblage électrique n'a été réalisé, ni même prévu.

3.1 Partie Mécanique

Emplacement du capteur de force

Pour réaliser la mesure de couple, un capteur de force placé avec un bras de levier. La fixation du capteur était prévu avec une plaque fixé en flexion elle même fixer sur le châssis. La décision à été prise de rehausser le châssis et de fixer le capteur directement sur le châssis (par l'intermédiaire d'une plaque d'adaptation). Ce qui permette de concentrer les efforts directement dans le châssis, qui peut être considérer infiniment rigide par rapport aux efforts maximum ($+/- 500N$).

Une fois la décision prise pour le nouvelle emplacement du capteur de force, l'ensemble du châssis fût finalisé. Le montage mécanique du châssis est donc terminé.

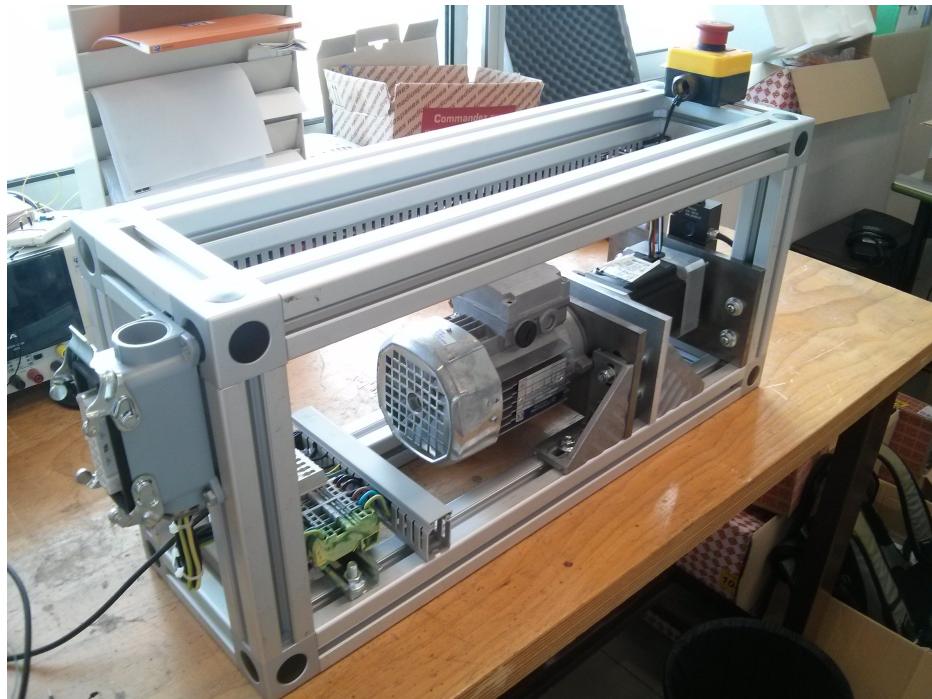


Figure 14: Banc complet

3.2 Partie électrique

3.2.1 Banc d'essai

Pour une facilité de déplacement et pour permettre de dissocier l'armoire du banc, une prise pour la partie puissance a été mise, cependant pour l'instant il n'y a pas de prise pour la partie logique. Des goulottes et des borniers sont placés pour plus de propreté. Seul le capteur de force ne pas passe par le bornier générale du banc, son câble est suffisamment long mais, aussi pour minimiser des problèmes d'interférence sur la mesure de force.



Figure 15: Bornier du banc d'essai



Figure 16: Prise de puissance pour le banc d'essai

3.2.2 Armoire électrique

La réalisation de l'armoire est donc basé sur des armoires déjà fabriqué pour d'autres banc d'essai. Mon armoire comporte en plus la partie sur le Brushless.

J'ai apporter quelque modification et ajout :

Modification

Passage de l'ensemble de la puissance en tétra, pour le besoin du contrôleur Brushless

- Sectionneur tétra
- Disjoncteur 10A tétra
- Relais tétra (il devait y avoir une relais tétra, mais pour l'instant il y a un relais tri)

Ajouts

La partie de commande du Brushless est placé dans l'armoire mais aussi l'alimentation de la partie logique.

- Contrôleur Brushless avec son alimentation 24V DC 240W
- Alimentation de la partie logique par un transformateur 12VDC

L'ensemble des éléments sont placé dans l'armoire ,un maximum de rail DIN est placé pour pourvoir rajouté des éléments au besoin. Les goulottes sont placé entre tous les rail DIN, puis l'ensemble est câblé.

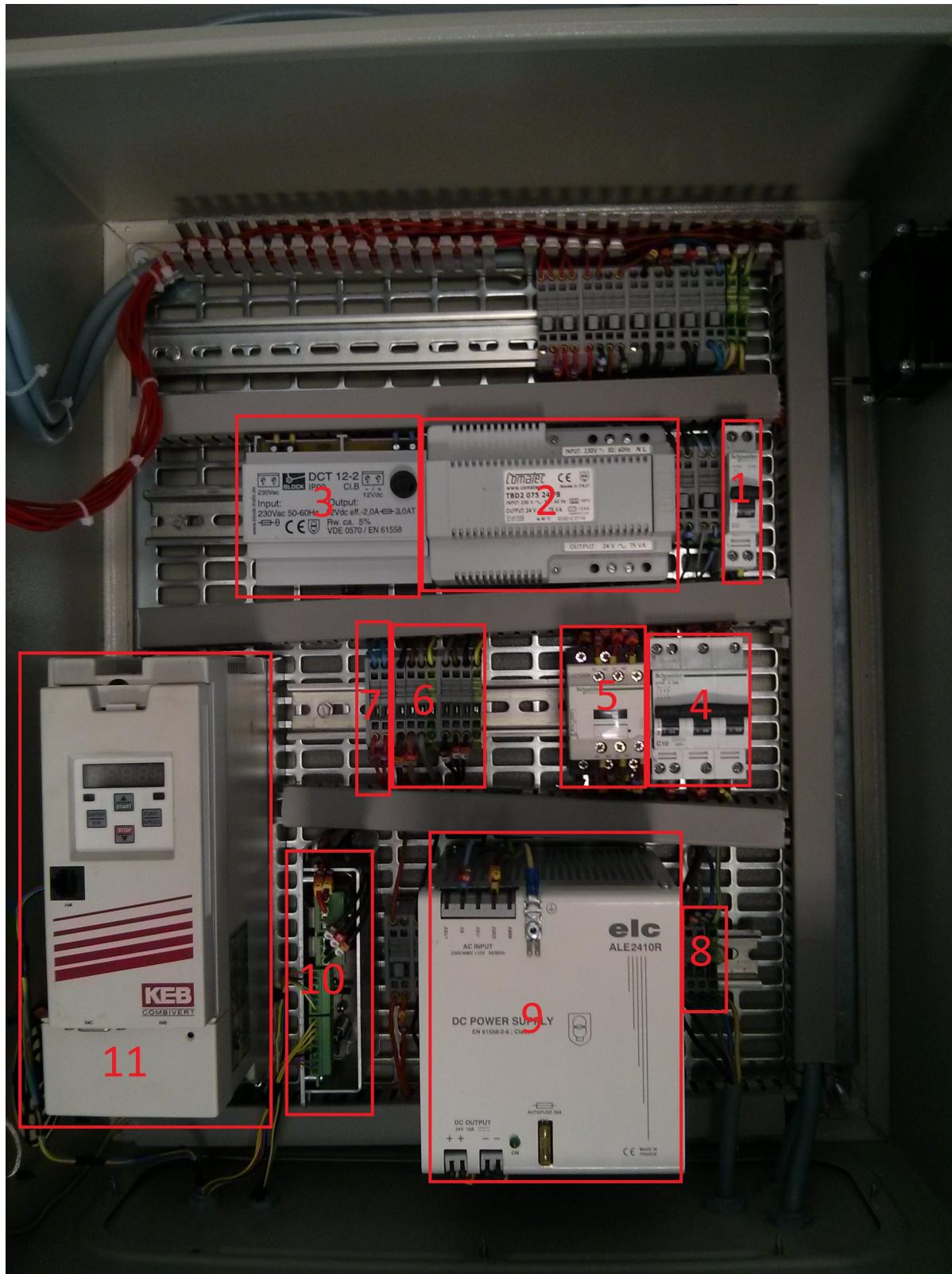


Figure 17: Intérieur de l'armoire

1. Protection 2A logique
2. Transformateur 24V alternatif

3. Transformateur 12VDC
4. Protection 10A tétra puissance
5. Relais tri
6. Branchement moteur Brushless et moteur asynchrones
7. Raccordement arrêt d'urgence banc d'essai
8. Raccordement EDF
9. Transformateur 24VDC 240W, alimentation brushless
10. Contrôleur brushless
11. Variateur asynchrone

4 Amélioration futur

Le banc est fonctionnelle mais pas encore complètement fini. Il reste quelque élément à finir.

- Cartériser le banc
- Faire un support pour l'armoire électrique
- Faire une carte électronique complète

La partie électronique devait être alimenter par le biais de l'armoire électrique, il manque pour l'instant un régulateur $10VDC$, et un régulateur $+/- 12VDC$.

5 Conclusion

Le projet est pleinement opérationnelle et permet au prochain semestre la mise en place de TP pour E03, et pour les semestres d'après les TP EA01 et EQ04. Il reste certes quelques éléments pour finir le banc mais, il est pour l'instant utilisable, pour la compréhension des 2 technologies de moteur présente sur ce banc. Le banc est mécaniquement très simple (les deux moteurs sont en face à face), donc la compréhension de l'influence des moteurs sur l'un et l'autre est très simple.

6 Annexe

6.1 Annexe I : Commande Brushless

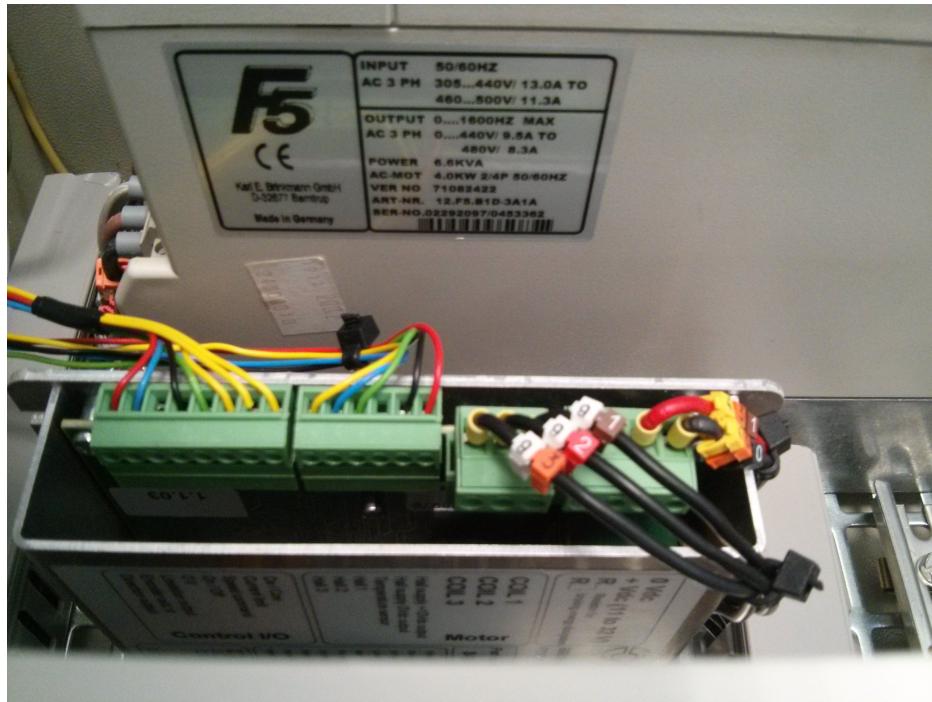


Figure 18: Câblage contrôleur Brushless

Alimentation contrôleur

- GND
- +24VDC
- Résistance de dissipation (Non-connecté)
- Résistance de dissipation (Non-connecté)

Alimentation moteur

- Phase 1
- Phase 2
- Phase 3

Capteur moteur

- +VDC (Rouge)
- GND (Noir)
- Température (Non-connecté)

- Effet Hall 1 (Vert)
- Effet Hall 2 (Bleu)
- Effet Hall 3 (Jaune)

Contrôle**Input**

- Sens de rotation (Jaune) Commande digital
- Limite de courant (Jaune) Commande analogique 0-10VDC
- Commande de vitesse (Jaune) Commande analogique 0-10VDC
- Marche/Arrêt (Vert) Commande Digital
- GND

Output

- Sortie limitation de courant (Non-connecté)
- Sortie encodeur (Bleu) Digital
- Sens de rotation réel (Rouge) Digital

6.2 Annexe II : Commande Asynchrone

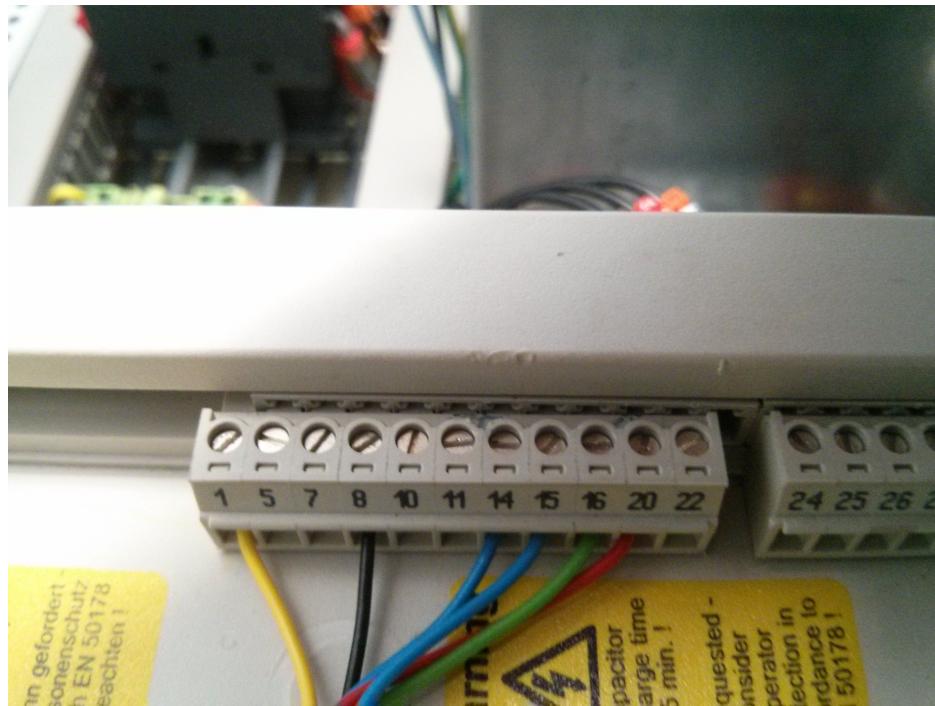


Figure 19: Branchement de la commande du variateur asynchrone

- (1) Commande de vitesse (Jaune) Commande analogique 0-10VDC
- (8) GND
- (14) Forward (Bleu) Commande digital 24VDC
- (15) Reverse (Bleu) Commande digital 24VDC (Priorité sur le forward)
- (16) Reset (Vert) Commande digital 24VDC
- (20) +24VDC

6.3 Annexe III : Capteur de force

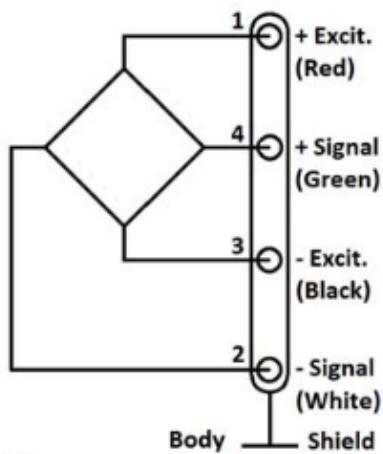


Figure 20: Branchement capteur de force

- +10VDC Rouge
- +Signal Vert
- GND Noir
- -Signal Blanc

6.4 Annexe IV : Bornier du banc d'essai

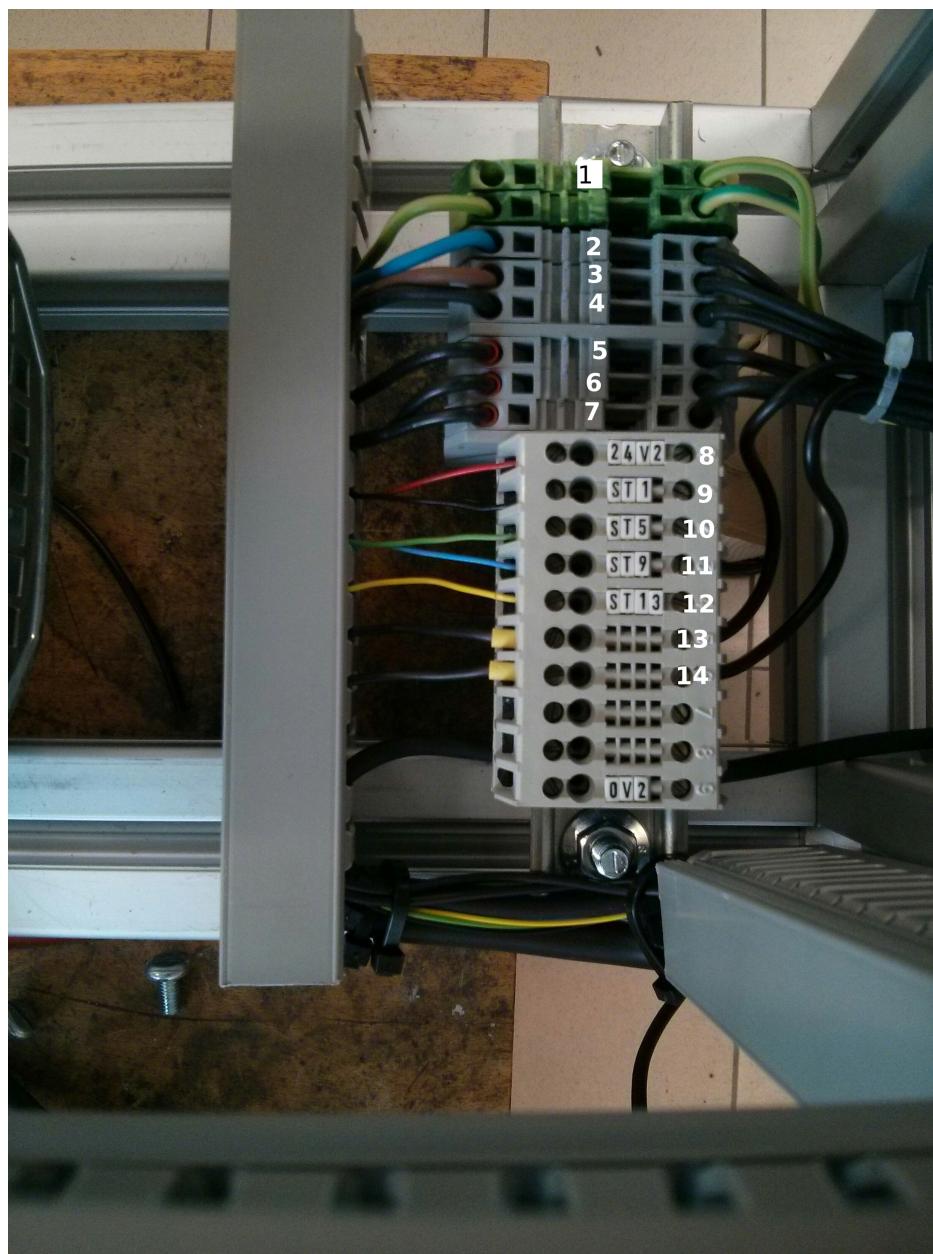


Figure 21: Bornier du banc d'essai

1. Terre
2. U - Asynchrone
3. V - Asynchrone
4. W - Asynchrone
5. Phase 1 - Brushless
6. Phase 2 - Brushless

7. Phase 3 - Brushless
8. +10V - Brushless
9. GND - Brushless
10. Effet Hall 1 (Vert) - Brushless
11. Effet Hall 2 (Bleu) - Brushless
12. Effet Hall 3 (Jaune) - Brushless
13. Arrêt d'urgence
14. Arrêt d'urgence

6.5 Annexe V : Câblage arduino

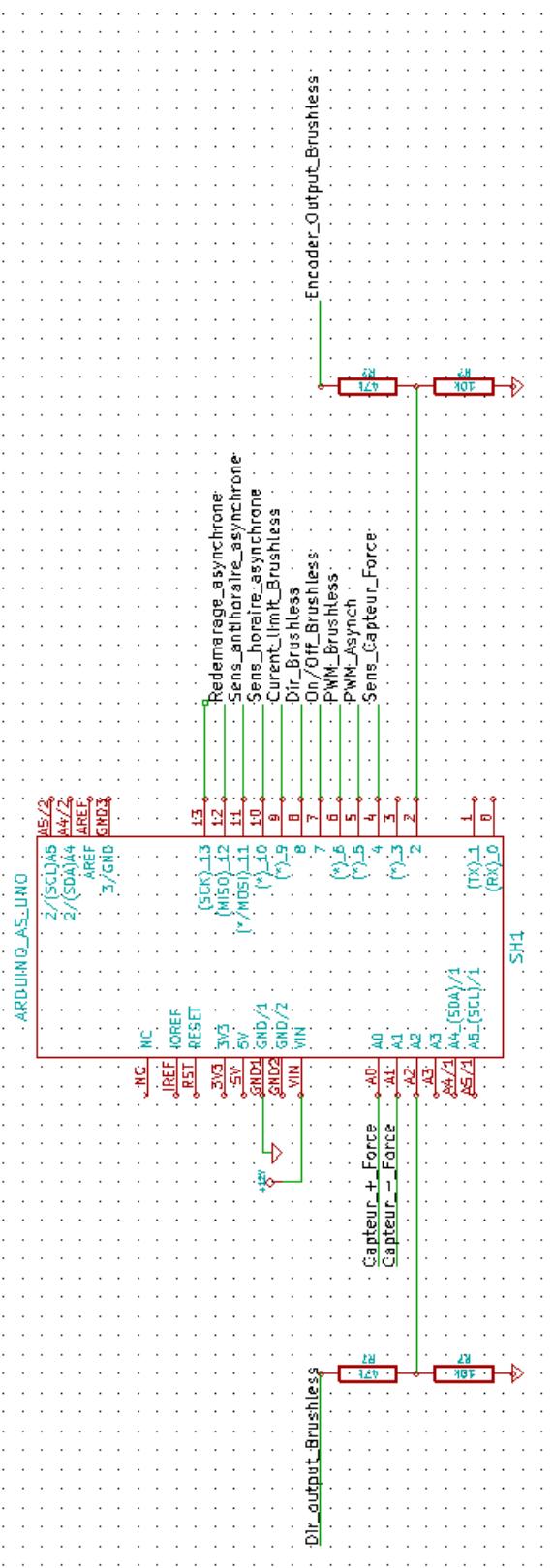


Figure 22: Câblage arduino

6.6 Annexe VI : Liens

Github : https://github.com/Vanell/TX_P16