

Rapport Final - Projet GE S7

Mickaël Guerchon - Siméon Gass

GE4 S7 - 2024/25

Asservissement d'un Moteur à courant continu



Sommaire

1	Introduction	3
2	Cahier des charges	4
3	Simulation	4
3.1	Simulation du moteur seul	4
3.2	Simulation du moteur avec sa charge	6
3.3	Simulation du moteur et de sa charge avec le hacheur	8
3.4	Simulation du système complet avec asservissement en courant . . .	10
3.5	Simulation du système complet avec asservissement en courant et en vitesse	12
4	Simulation du système complet réalisé avec des composants réels	14
5	Commande des composants	16
6	Schéma du PCB	16
7	Montage Final	17
8	Résultats	19
8.1	Comparaison échelon simulé	22
9	Conclusion	22

1 Introduction

Ce projet est un projet au sujet très simple : Asservir en vitesse et en courant un moteur à courant continu pour que le dépassement en courant et en vitesse soit de 10 à 20% maximum. Il nous permet cependant de mettre en oeuvre de nombreuses connaissances et compétences apprises lors de la GE3, en Automatique, Electrotechnique et CAO par exemple.

Nous utilisons pour ce projet les bancs MCC créés par nos ainés :

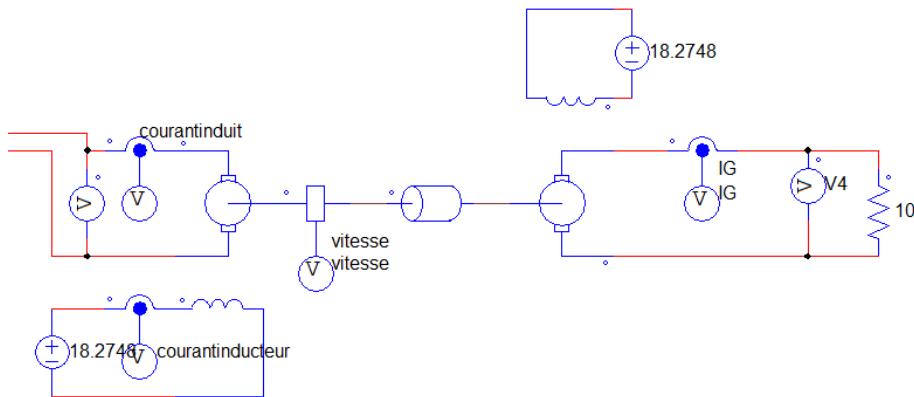


FIGURE 1 – Banc MCC - 03_moteur_hacheur_0210/moteur+hacheur.psimsch

Ces moteurs ont les caractéristiques suivantes :

Caractéristique	Valeur
Tension nominale	49 V
Courant nominal	4,5 A
Courant de saturation (max)	$1,1 \times 4,5$ A
Force électromotrice	13,3 V pour 1000 tr/min
Vitesse nominale	3000 tr/min
Vitesse maximale	4800 tr/min
Courant maximal	13 A
Coefficient de couple électromagnétique	0,127 N·m/A
Coefficient de viscosité	0,0053 N·m
Résistance de bobinage	1,52 Ω
Inductance de bobinage	2,2 mH
Inertie du rotor	0,000083 kg·m ²

TABLE 1 – Caractéristiques techniques du moteur à courant continu

2 Cahier des charges

Le cahiers des charges demandait plusieurs points :

- Il fallait tout d'abords asservir la Machine a courant continu en courant et en vitesse avec un dépassement en vitesse entre 10 et 20%
- Il faut que le courant ne dépasse pas 5 ampères
- l'asservissement en vitesse doit se faire avec un capteur tachymétrique ou un codeur incrémental
- le budget ne doit pas dépasser 25€
- la carte doit posseder tout les connecteurs nécessaires pour l'alimenter et la connecter au reste des appareils (hacheur, capteurs, consigne)

3 Simulation

Pour toutes les courbes, il suffit normalement de lancer le fichier matlab non "comparaison" dans le dossier, lancer le fichier simulink puis enfin le fichier comparaison pour avoir les figures.

3.1 Simulation du moteur seul

On réalise une modélisation sur simulink :

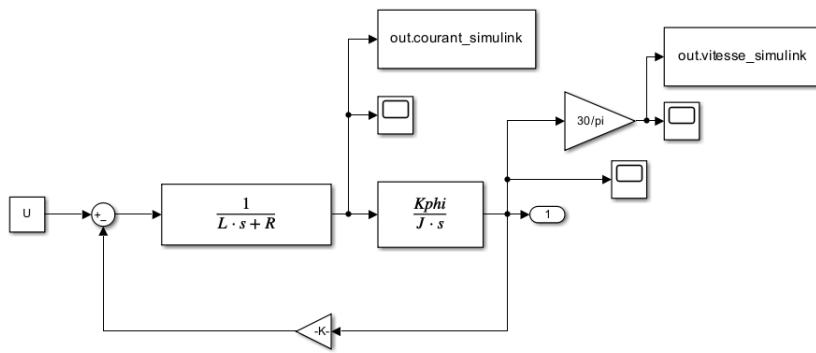


FIGURE 2 – Modélisation du moteur seul sur simulink - 01_moteur_seul_1109/moteur1109.slx

Et une autre simulation sur PSIM :

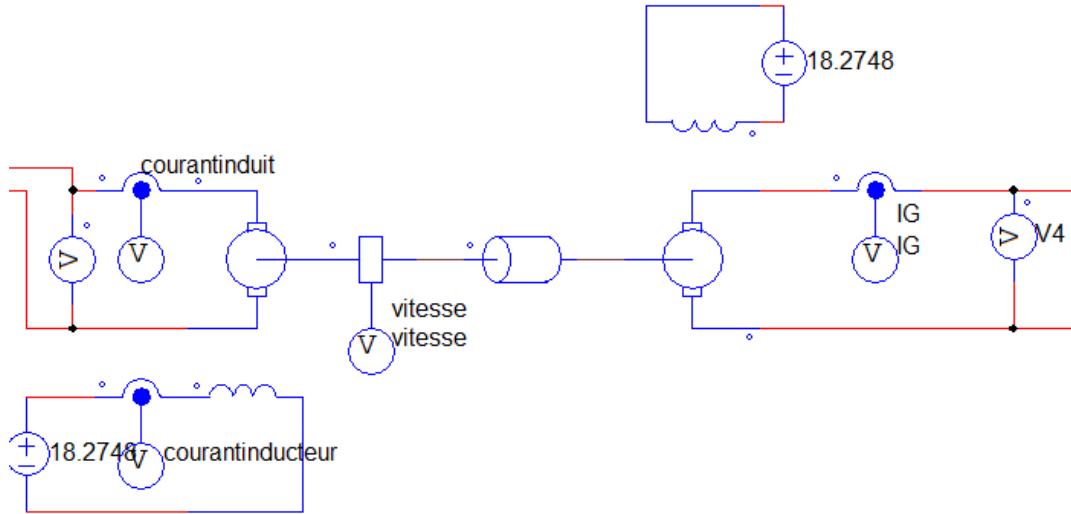


FIGURE 3 – Simulation PSIM moteur et génératrice seuls - 01_moteur_seul_1109/moteurs_11sept.psimsch

On récupère la courbe représentative du courant d'induit et la courbe représentative de la vitesse et on compare avec les points obtenus sur PSIM. On obtient les comparaisons suivante :

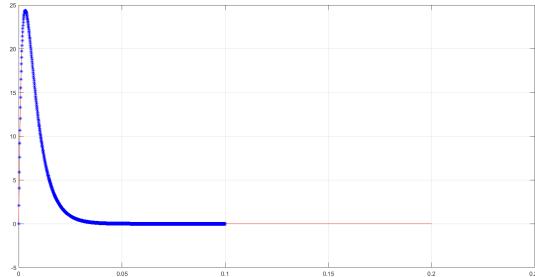


FIGURE 4 – Courbes de courant (en A) superposées (PSIM en rouge et Simulink en étoile Bleu) - 02_moteur_seul_2309/comparaison2309.m

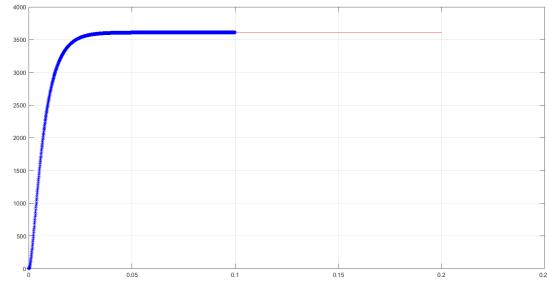


FIGURE 5 – Courbes de vitesse (en tr/min) superposées (PSIM en rouge et Simulink en étoile Bleu) - 02_moteur_seul_2309/comparaison2309.m

On voit que les 2 courbes se superposent de manière très précise. On peut donc en conclure que nos modèles sont bons.

3.2 Simulation du moteur avec sa charge

On adapte notre modèle sur simulink pour y ajouter la charge et on obtient ce schéma bloc :

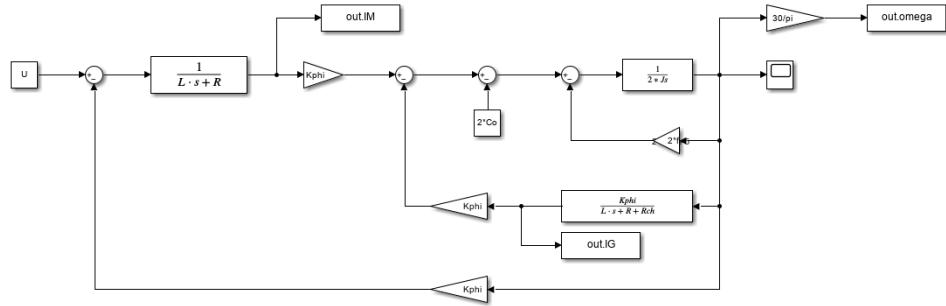


FIGURE 6 – Schéma bloc du moteur avec charge

Et de même sur PSIM :

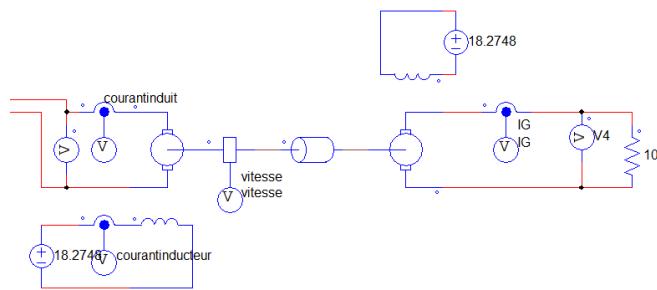


FIGURE 7 – Simulation PSIM Moteur avec génératrice chargée

On compare le modèle simulink au modèle PSIM et on obtient :

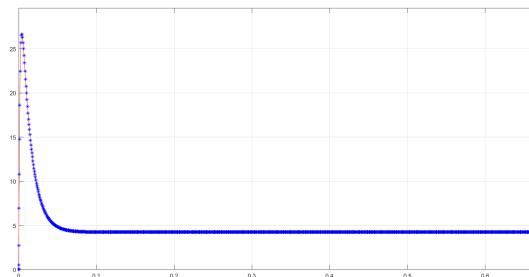


FIGURE 8 – Courant Moteur (A) (PSIM en rouge et Simulink en étoile Bleu)

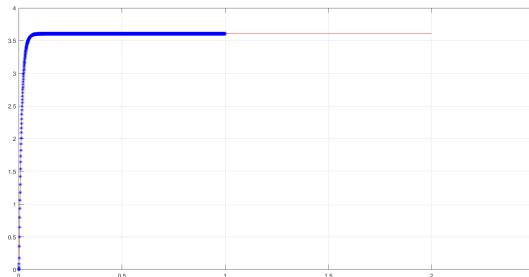


FIGURE 9 – Courant Generatrice (A) (PSIM en rouge et Simulink en étoile Bleu)

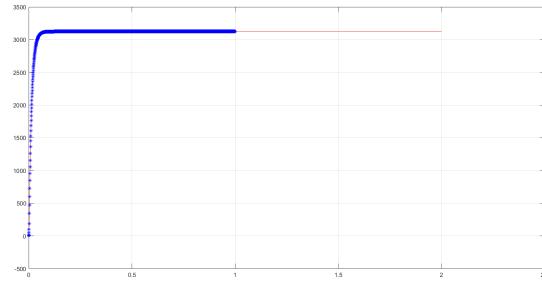


FIGURE 10 – vitesse (tr/min) (PSIM en rouge et Simulink en étoile Bleu)

Ici aussi les 2 courbes se superposent avec précision ce qui nous permet de valider les modèles.

Nous n'avons pas retrouvé les fichiers pour ces simulations, nous les avons probablement remplacés par ceux avec le hacheur.

3.3 Simulation du moteur et de sa charge avec le hacheur

Pour cela nous ajoutons un gain à la tension d'entrée dans le modèle bloc de simulink pour obtenir le modèle suivant :

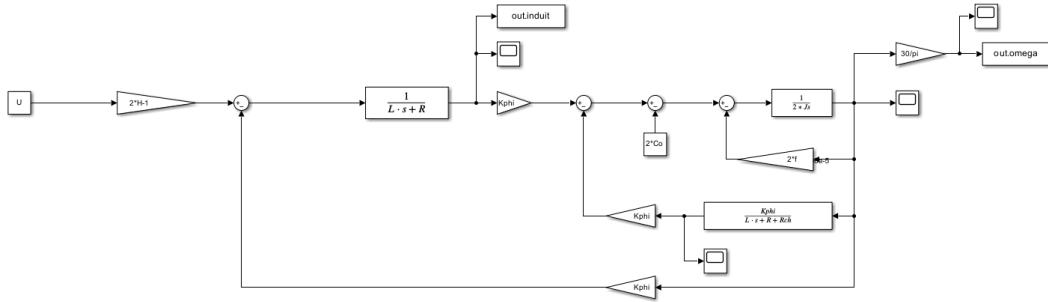


FIGURE 11 – Schéma bloc système complet - 03_moteur_hacheur_0210/moteur_hacheur.slx

On fait de même sur PSIM, mais on simule ici le hacheur en totalité, ainsi que la commande avec un comparateur triangle qui permet d'avoir un signal MLI correspondant à une valeur continue.

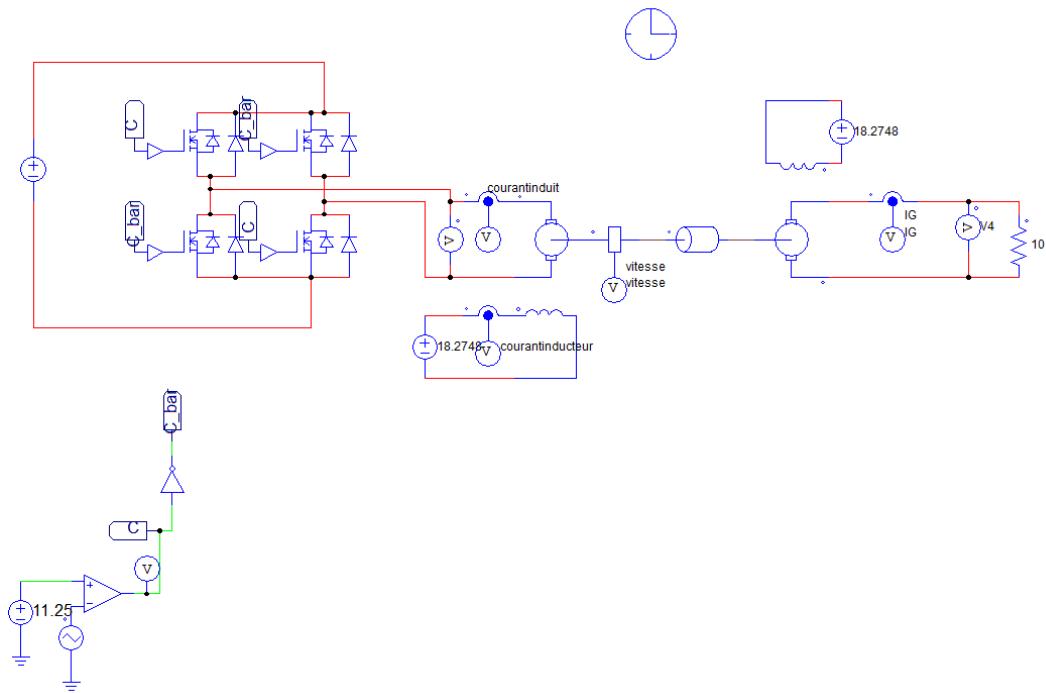


FIGURE 12 – Simulation PSIM avec Hacheur
 ””03_moteur_hacheur_0210/moteur+hacheur.psimsch””

On compare ensuite la simulation simulink (bleu) avec le modèle psim avec un signal de hacheur (rouge)

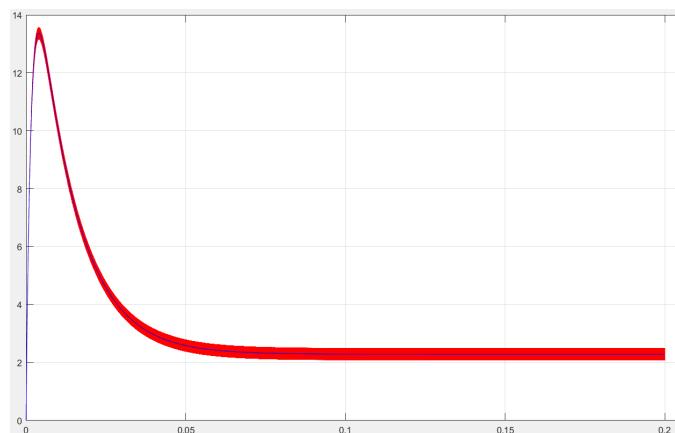


FIGURE 13 – Comparaison courant moteur avec hacheur –
 03_moteur_hacheur_0210/comparaison_av_hacheur.m

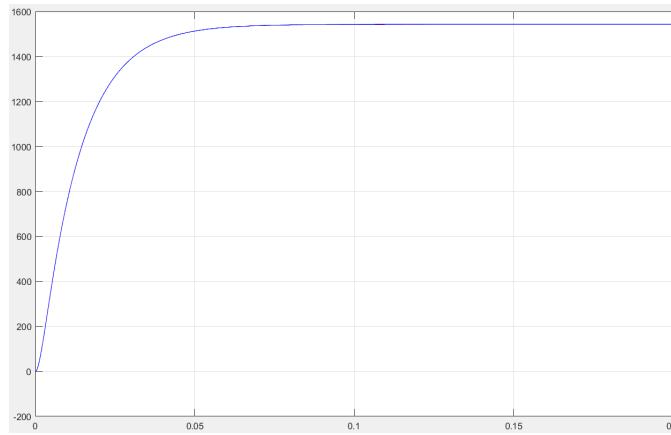


FIGURE 14 – Comparaison vitesse avec hacheur

On voit que les courants induits et les vitesses se superposent de nouveau assez précisement, on peut donc valider ces modèles.

3.4 Simulation du système complet avec asservissement en courant

Nous souhaitons maintenant asservir le système en courant pour qu'il y ait un dépassement maximal de 20%.

Pour cela, nous utilisons les outils matlab linearize entre l'entrée du hacheur et le courant pour avoir un système en courant, puis l'outil pidtuner en utilisant le système analysé précédemment pour obtenir des valeurs de K_i et K_p souhaitées. Nous obtenons $K_i = 31861.2735$ et 4.1926 . Nous intégrons ensuite ces valeurs dans les simulations :

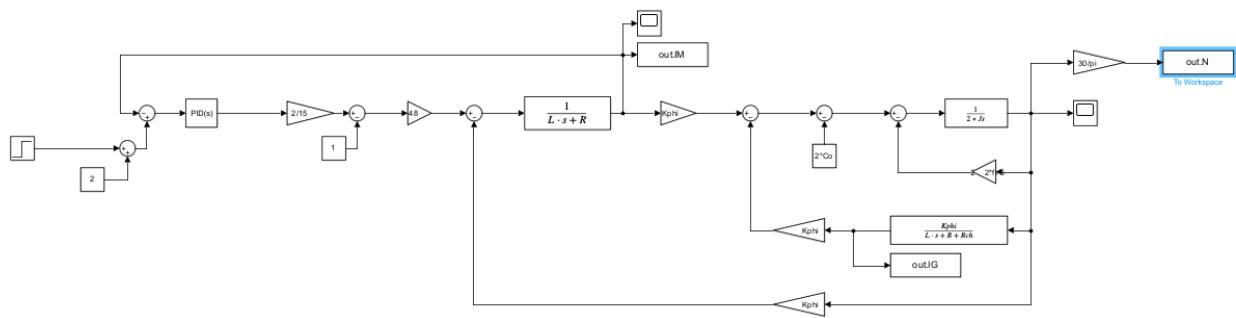


FIGURE 15 – Implémentation de la boucle de courant dans Simulink - 05_Boucles_2310/boucle_courant_ok.slx

Pour PSIM, nous devons utiliser $T_i = \frac{K_p}{K_i}$ à la place de K_i .

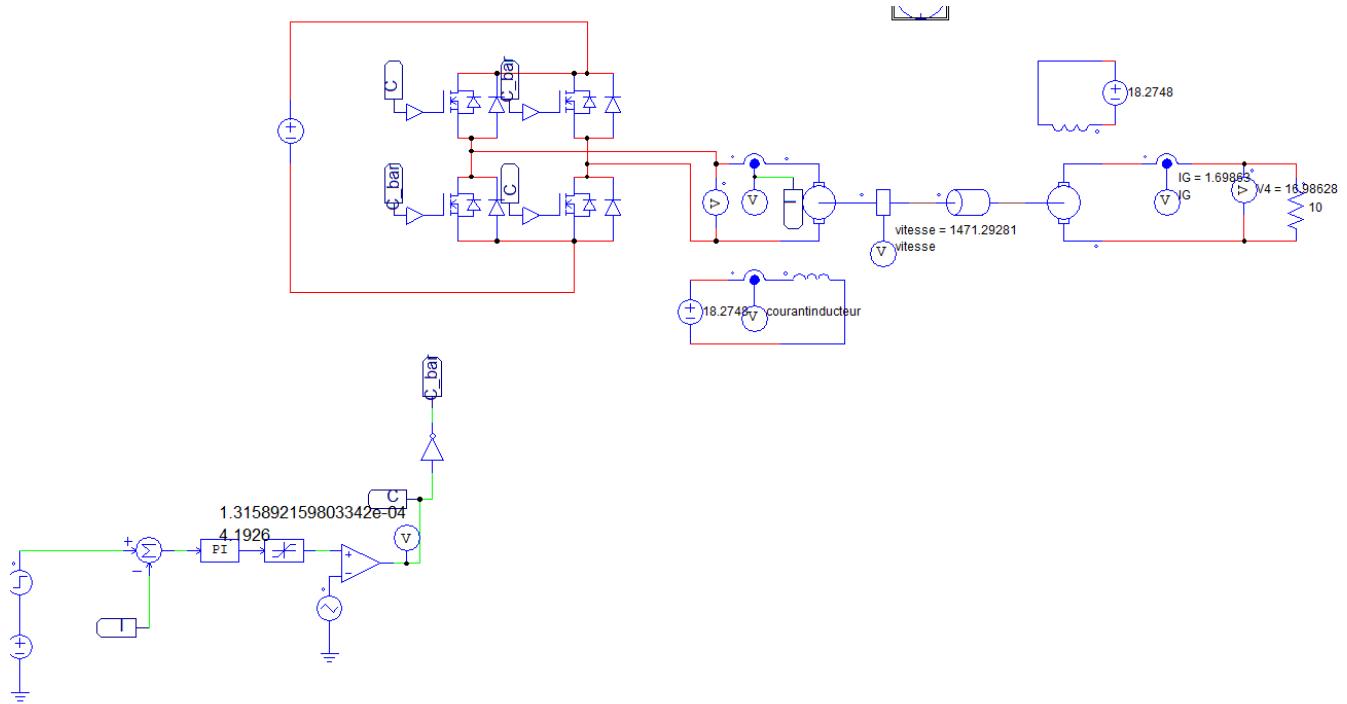


FIGURE 16 – Implémentation de la boucle de courant dans PSIM - 05_Boucles_2310/boucle_courant_ok.psimsch

La simulation de courant est la plus intéressante car nous bouclons sur le courant ici. Nous avons en entrée un échelon de 2 à 2.2A à 0.1s :

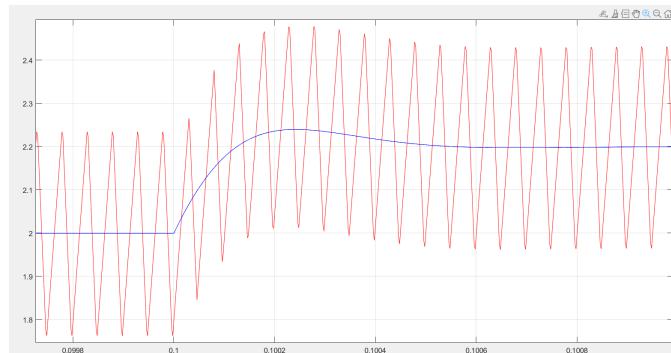


FIGURE 17 – Simulation de Courant après boucle de courant - 05_Boucles_2310/comp_boucle_courant.m

Les deux simulations sont similaires et le dépassement est comme prévu juste en dessous de 20

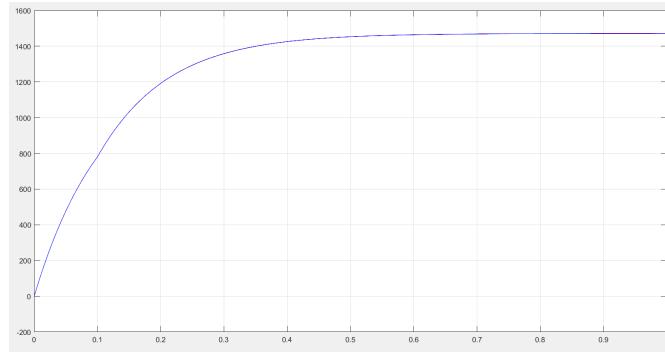


FIGURE 18 – Simulation de Vitesse après la boucle de courant

3.5 Simulation du système complet avec asservissement en courant et en vitesse

On mesure un temps de réponse à 5% en boucle ouverte (avec la boucle de courant) en vitesse de environ 330 ms, on vise un temps de réponse en boucle fermé d'environ trois fois plus vite.

Nous choisissons de ne pas aller au dessus les 5% à cause de la limitation de courant. En effet, un système trop nerveux serait un système ayant besoin de plus de courant. Cela nous permet de mesurer le temps de réponse sur la première montée.

Nous avons tout d'abord utilisé l'outil pidtuner comme pour la boucle de courant, mais nous nous sommes rendus compte que la réaction du système simulé ne correspondait pas à celle donnée par pidtuner, nous sommes donc partis des valeurs de K_i et K_p données par l'outil et les avons modifiées jusqu'à avoir atteint une réponse satisfaisante, dont le courant n'est pas trop grand. Nous obtenons $K_i = 10.1796$ et $K_p = 0.6332$. Nous les implémentons sur simulink et PSIM :

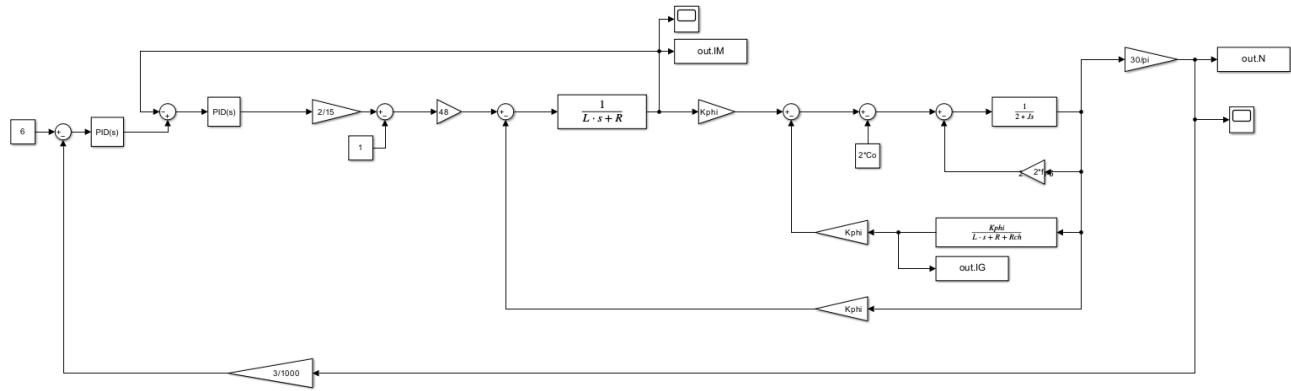


FIGURE 19 – Simulink avec boucle de vitesse -
05_Boucles_2310/boucle_vitesse_s.slx

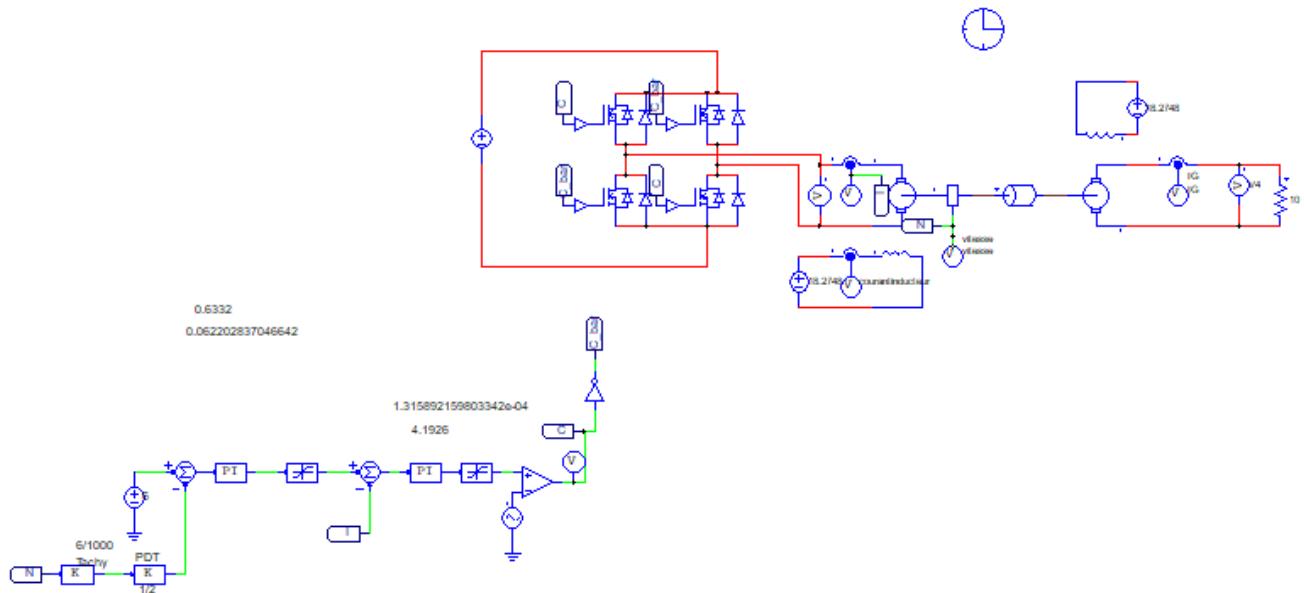


FIGURE 20 – PSIM avec boucle de vitesse et limitation de courant -
05_Boucles_2310/boucle_vitesse.psimsch

Nous obtenons les résultats suivants :

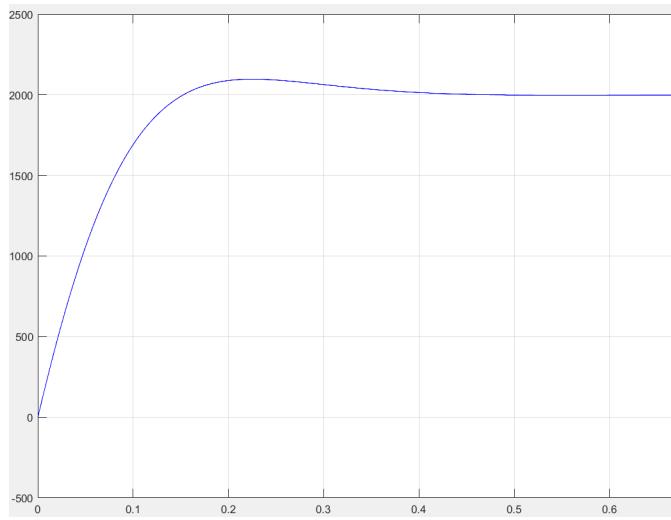


FIGURE 21 – Simulation de vitesse après boucle de vitesse - 05_Boucles_2310/comp_boucle_vitesse.m”

Nous observons une superposition entre Simulink et PSIM et un temps de réponse de 130ms, proche de ce que l'on voulait. Nous nous sommes arrêtés car un système trop précis sera compliqué à réaliser sur plaquette.

4 Simulation du système complet réalisé avec des composants réels

Nous avons ainsi pur realiser sur psim le schema en remplaçant les bloc fonction par des système réels (comparateur, amplificateur,...)

Nous avons fais en sorte de regler les paramètres des resistance et condensateurs sur des valeurs normalisées. Et pour les resistance demandant une valeur plus précise n'etant pas normalisé nous avons ajouté des potentionmètres.

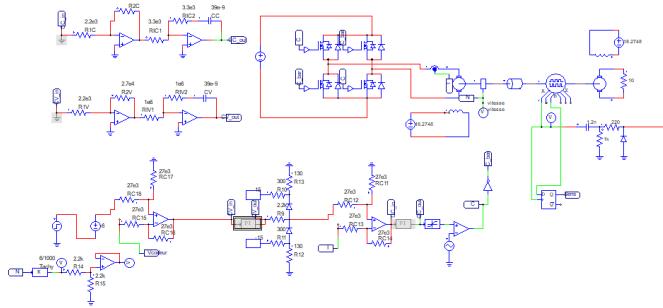


FIGURE 22 – PSIM Complet - 07_simu_totale_0912/simu_finie_pm.psimsch

Nous avons aussi pris soin de choisir au maximum des valeurs de composants par paquets pour faire des économies lors de la commande. Nous avons ainsi pu par exemple choisir 14 résistance de $27k\Omega$

Nous avons ensuite resimulé les courbes pour bien vérifier qu'elles restaient similaires.

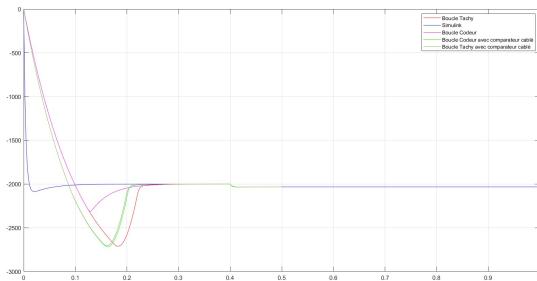


FIGURE 23 – Comparaison Simulation Totale - 07_simu_totale_0912_fini_comp.m

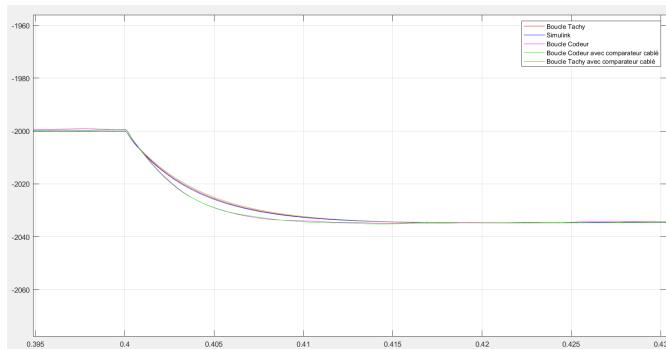


FIGURE 24 – Comparaison Simulation Totale - Partie échelon

Les courbes restent en effet similaires, cependant, le comparateur cablé semble accélérer la dynamique du système.

5 Commande des composants

Nous avons ainsi pu réaliser en décembre la commande des composants.

Nous en avons eu pour un budget de 23

6 Schéma du PCB

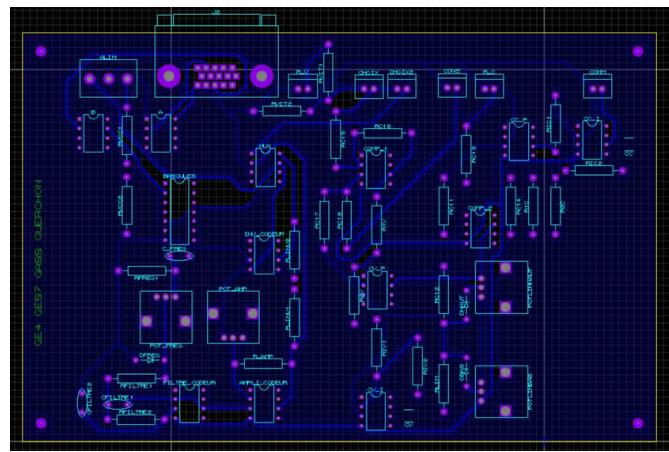


FIGURE 25 – Face avant de notre pcb

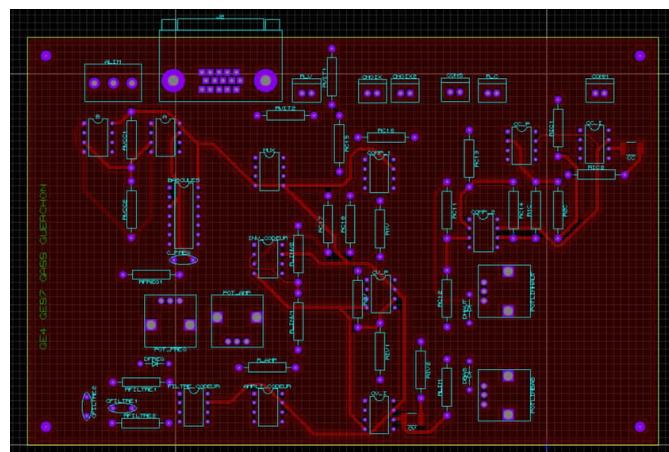


FIGURE 26 – Face avant de notre pcb

Nous avons réalisé le schema ci-dessus. Notre carte fait 110mm par 170mm et possèdent un plan de masse sur les deux face pour limiter les perturbations électromagnétique et réduire le temps de fabrication. La majorité des connections sont réalisées par borniers sauf la prise VGA qui est soudée directement sur la

carte.

Nous avons donc pu grâce aux techniciens imprimer notre carte.

7 Montage Final

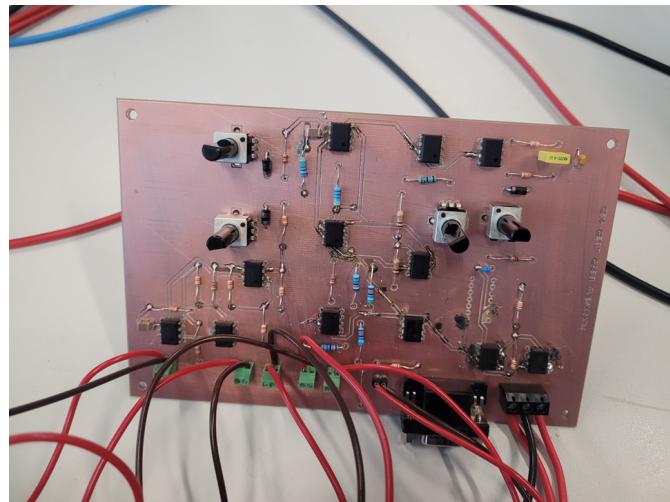


FIGURE 27 – Enter Caption

Nous avons ainsi pu souder tout nos composants avec les différents potentiomètres pour régler plus précisément le montage (notamment au niveau de la partie alimentation).

Après plusieurs tests, il s'est avéré que les bascules D commandées étaient défectueuses et créent un court circuit entre le +15V et la masse. Nous avons finalement fait le choix de retirer ce composant et de faire fonctionner notre carte sans. Celui-ci permettant uniquement le codeur incrémentale, avec le capteur tachymétrique notre carte peut toujours fonctionner.

Nous avons dimensionné et imprimé une boîte en 3D pour pouvoir stocker et brancher notre carte :

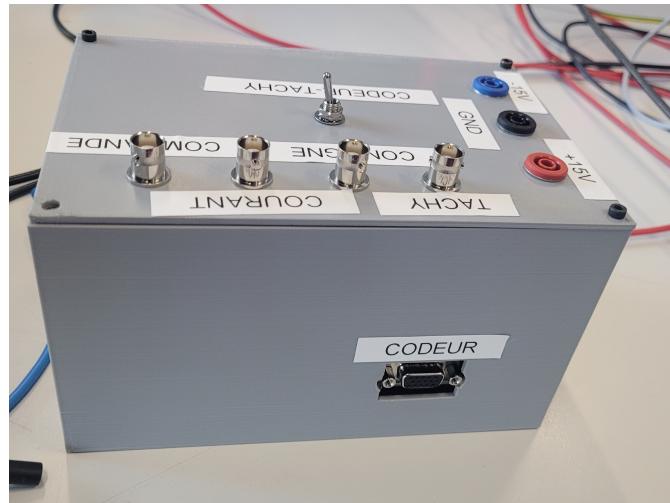


FIGURE 28 – Boite imprimée en 3D

celle-ci est constitué de 2 partie, le bac et un couvercle, vissé entre eux. La carte est vissé au fond de cette boite. et les connecteur y sont fixé dessus sauf pour la prise sub-D high density soudé a la carte. Les fils de connecteurs sont ensuite connecté en interne.

En branchant le hacheur, le moteur, le GBF et l'oscilloscope avec notre montage on obtiens finalement le montage suivant :

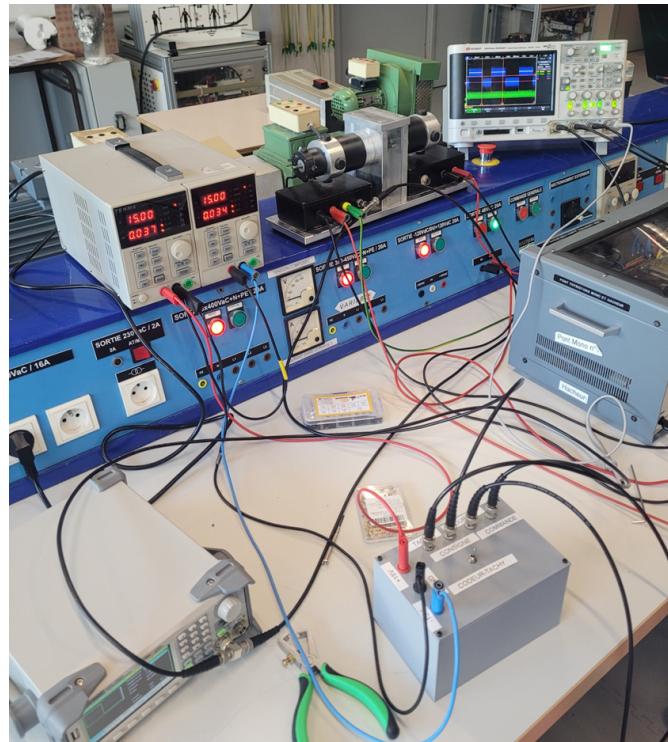


FIGURE 29 – Montage final connecté

8 Résultats

On obtient ainsi les courbes suivante :



FIGURE 30 – Asservissement obtenu - courbe bleu = vitesse; courbe jaune = consigne; courbe verte = courant

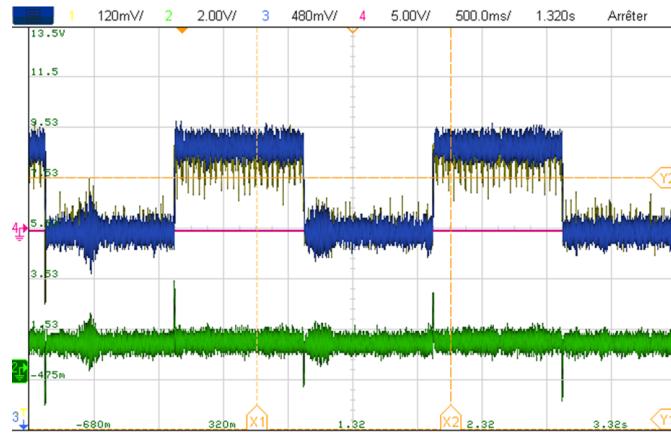


FIGURE 31 – Asservissement obtenu sur plusieurs périodes - courbe bleue = vitesse ; courbe jaune = consigne ; courbe verte = courant

On remarque ainsi avec ces deux premières courbes que notre système est asservit et que l'erreur statique est bel et bien nulle comme espéré.

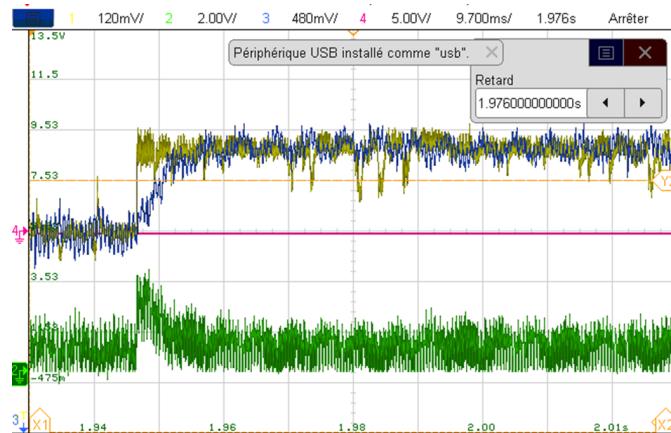


FIGURE 32 – réponse indicielle de notre système - courbe bleue = vitesse ; courbe jaune = consigne ; courbe verte = courant

On mesure ainsi que notre temps de réponse est de 7.9ms, il n'y a pas de dépassement en vitesse et notre courant ne dépasse pas les 3.7 Ampères.

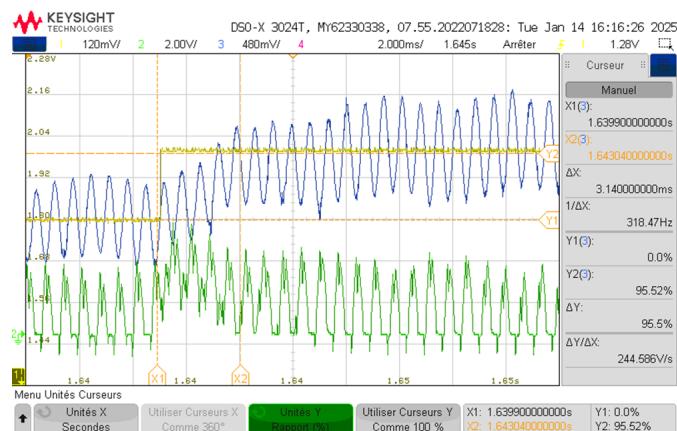


FIGURE 33 – réponse indicielle 2 - courbe bleu = vitesse ; courbe jaune = consigne ; courbe verte = courant

Après avoir modifié plusieurs paramètres de l'oscilloscope et du GBF, nous obtenons ces courbes moins bruitées. Elles valident cependant nos mesures avec un temps de réponse d'environ 7.9ms et un courant max de 3.7A. Sans dépassement de vitesse. Nous remarquons aussi une instabilité dans le courant due à une mauvaise résistance dans le correcteur de courant. Nous avons essayé de changer cette résistance ainsi que de rajouter des capacités de découplage de 100nF pour chaque alimentation d'AOP, mais nous n'avons plus réussi à faire marcher notre asservissement après.

8.1 Comparaison échelon simulé

Nous avons aussi réalisé un échelon comme dans les simulations, que voici ci-dessous

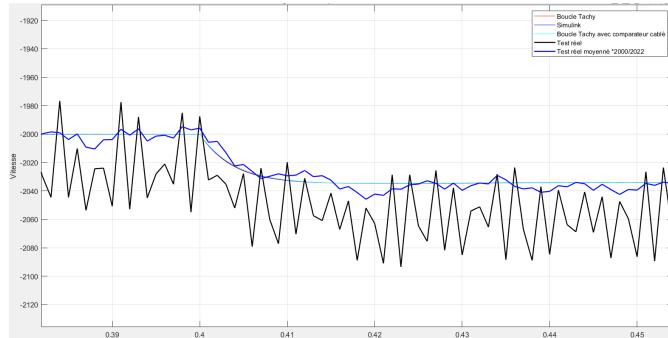


FIGURE 34 – Comparaison réel-simulation - 08_comp_reel_1401/comp_reel.m”

En noir et gras on voit les mesures réalisées, que nous avons translatées et un peu moyennées. On voit que le temps de réaction de la boucle de vitesse est presque exactement comme souhaité. L'erreur statique est très probablement dû à un oubli dans notre PCB. En effet, dans nos simulations, le gain de 0.5 juste après la génératrice tachymétrique était réalisé avec un montage à AOP. Cependant, nous avons oublié cette spécificité et seulement réalisé un pont diviseur simple à résistances.

9 Conclusion

Finalement, notre système asservit bel est bien notre machine à courant continu en courant et en vitesse. Cependant comme nous avions jusqu'à 20% de dépassement en vitesse autorisé, nous aurions pu rendre notre système plus nerveux pour ainsi obtenir un temps de réponse plus rapide. Nous avions aussi de la marge sur la limite en courant de 5 Ampères ce qui confirme cette idée.