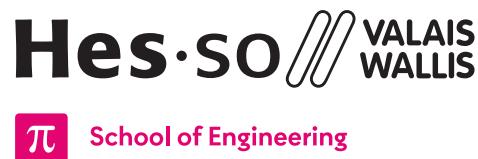


Cursor (Cur)

Course Conception Numérique (CNum)



Orientation: Informatique et systèmes de communication (ISC)

Spécialisation: Data Engineering (DE)

Cours: Conception Numérique (CNum)

Auteurs: Silvan Zahno, Axel Amand, François Corthay, Christophe Bianchi

Date: 11.03.2025

Version: v3.0



Contenu

1	Introduction	3
2	Spécification	4
2.1	Fonctions	4
2.2	Circuit	4
2.3	Scénario (exemple)	6
2.4	Projet HDL-Designer	7
3	Composants	8
3.1	Chariot	8
3.2	Circuit de commande de moteur	8
3.2.1	Moteur à courant continu	9
3.3	Codeur (encodeur)	10
3.4	Reed-Relais	10
3.5	Carte FPGA	10
3.6	Boutons et LEDs	12
4	Evaluation	13
5	Premières étapes	14
5.1	Tips	14
	Glossaire	15



1 | Introduction

L'objectif de ce projet est d'appliquer concrètement les connaissances acquises à travers un exemple pratique en fin de semestre. Il consiste à contrôler un moteur à courant continu afin de déplacer précisément un chariot le long d'une vis vers des positions prédéfinies. Ce système de positionnement peut être observé dans la Figure 1.

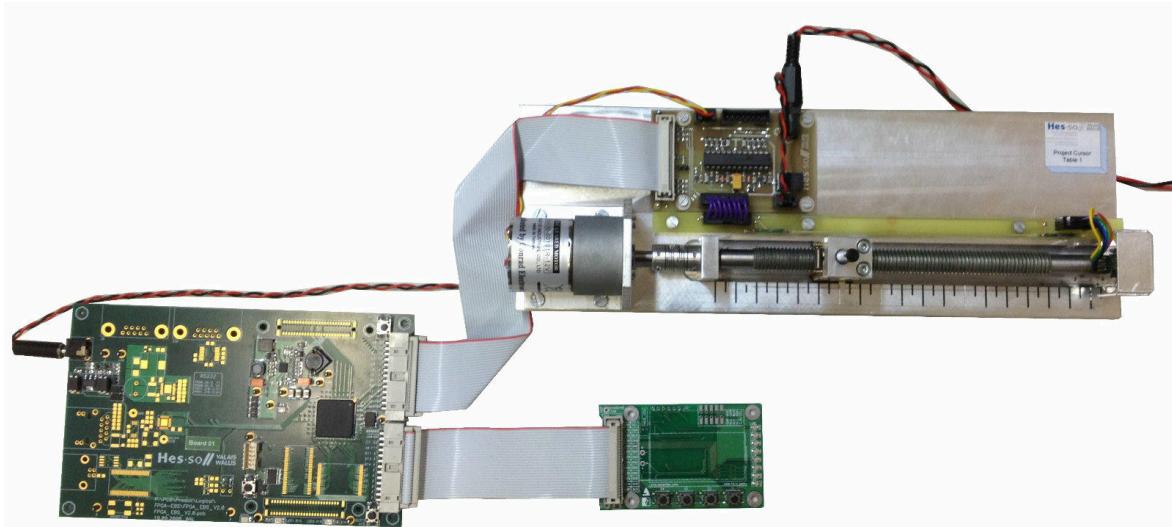


Figure 1 - Équipement du curseur (EBS2)

Les spécifications minimales (voir Chapitre 2) doivent être respectées, mais les étudiants sont encouragés à implémenter des fonctionnalités supplémentaires. Par exemple, un écran **Liquid Crystal Display (LCD)** peut être utilisé pour afficher diverses informations.



L'implémentation de fonctionnalités supplémentaires permettra d'obtenir des points supplémentaires dans l'évaluation finale.



2 | Spécification

2.1 Fonctions

Les fonctions de base sont définies comme suit :

- Lorsque la touche **restart** relais reed est appuyée, le curseur se déplace vers la position de départ indiquée par un relais reed (Chapitre 3.4) situé à proximité du moteur à courant continu (Chapitre 3.2.1).
- Lorsque l'on appuie sur la touche Position₁, le curseur doit d'abord accélérer régulièrement vers la position 1 (p_1), puis avancer à pleine vitesse et enfin ralentir régulièrement pour s'arrêter à la position 1 (p_1). Cela peut se faire à partir de la position de départ ou de la position 2, voir Figure 2.
- Lorsque l'on appuie sur la touche Position₂, le curseur doit d'abord accélérer régulièrement vers la position 2 (p_2), puis avancer à pleine vitesse et enfin ralentir régulièrement pour s'arrêter à la position 2 (p_2), voir Figure 2}.

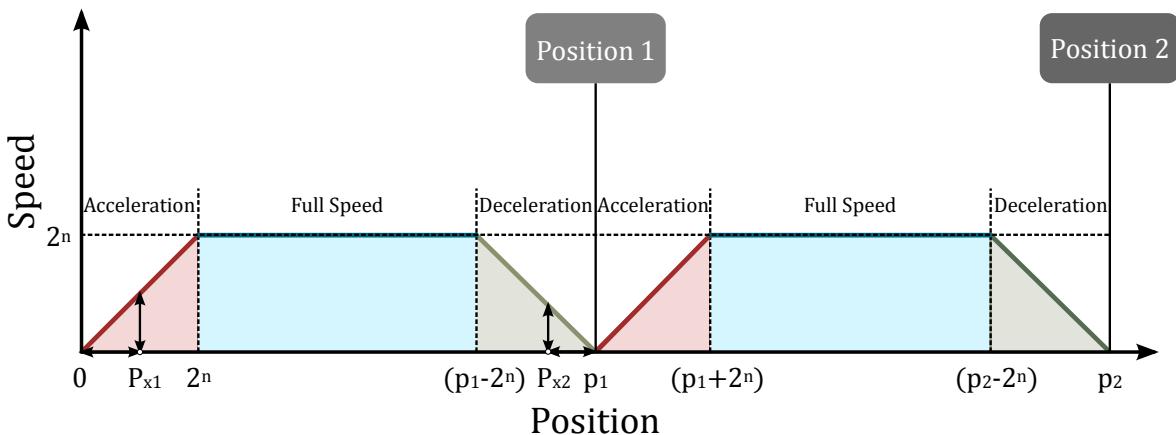


Figure 2 - Diagramme de la vitesse du chariot

Les rampes d'accélération et de décélération sont fonctions de la position et non du temps. Il serait en effet très difficile de savoir quand il faut commencer à ralentir pour atteindre l'une des positions, si la décélération dépendait du temps et non de la position. La pente de la rampe doit être choisie de manière à ce que les distances d'accélération et de décélération soient de l'ordre de 1cm.

Les positions à atteindre sont :

- Position 1 (p_1) = 8 cm
- Position 2 (p_2) = 12 cm

2.2 Circuit

Pour accomplir la tâche, le circuit suivant est donné pour déplacer le chariot.

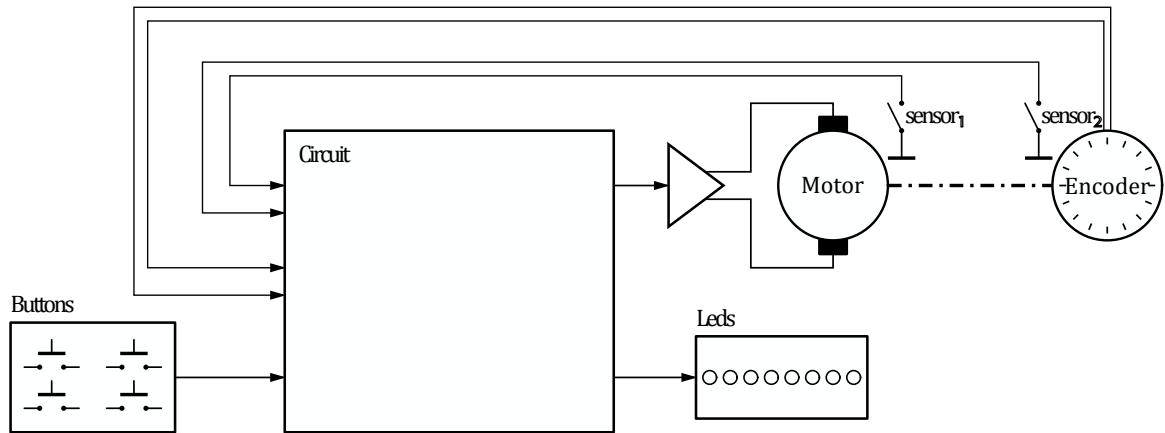


Figure 3 - Circuit du curseur

Le circuit fonctionne comme suit :

- Le moteur à courant continu (Chapitre 3.2.1) est commandé par les trois signaux $motor_{On}$, $side_1$, $side_2$. Sa vitesse est contrôlée par une modulation **Pulse Width Modulation (PWM)** appliquée aux signaux $side_1$ ou $side_2$.
- Deux reed relais (Chapitre 3.4) sont placés aux extrémités du rail [1]. Ils détectent la présence du chariot du curseur ($sensor_1$ ainsi que $sensor_2$).
- Le encodeur (Chapitre 3.3) est utilisé pour suivre, respectivement compter, la position du curseur. Ses trois sorties, $encoder_A$, $encoder_B$ et $encoder_I$, permettent de suivre les mouvements de la vis.
- Trois touches sont utilisées pour contrôler le système: restart, go_1 et go_2 . Une touche supplémentaire, $button_4$, peut être utilisée pour des fonctions optionnelles.
- Les broches $testOut$ peuvent être utilisées pour sortir des informations supplémentaires du système, par exemple pour le débogage ou pour contrôler les **Light Emitting Diodes (LEDs)**.

Le toplevel vide du design (**cursor-toplevel-empty.pdf**) montre tous les signaux connectés à la platine **Field Programmable Gate Array (FPGA)** Figure 4.

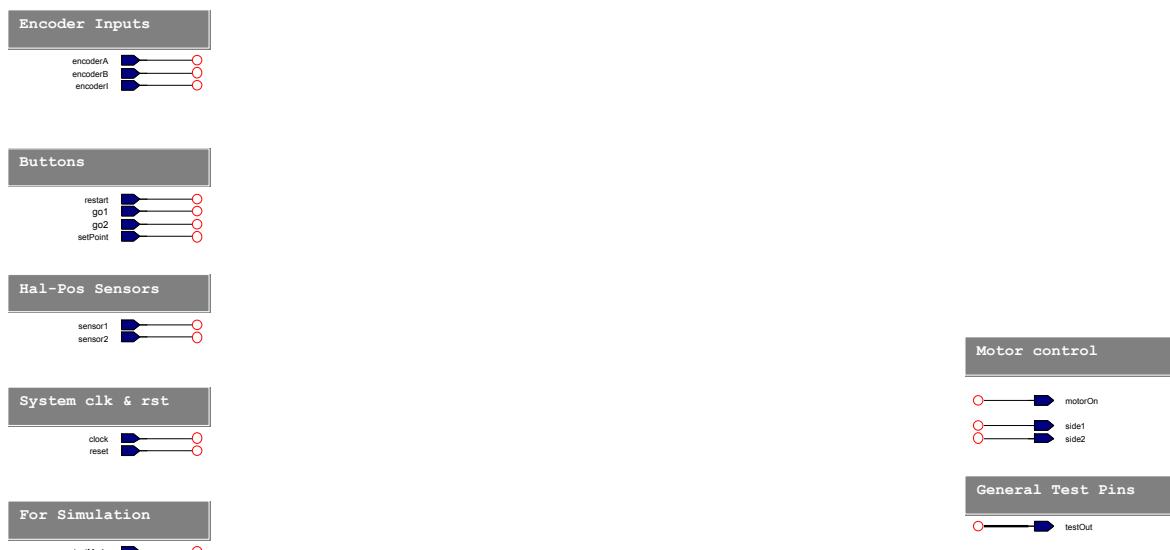


Figure 4 - Circuit Toplevel vide



2.3 Scénario (exemple)

Dans le Figure 5, trois scénarios différents sont présentés. Tout d'abord, on appuie sur la touche restart et le chariot se déplace à pleine vitesse vers la position initiale (sensor₁). Les deux autres scénarios go₂ et go₁ déplacent le chariot vers la position₂ et la position₂ respectivement, un signal PWM variable est appliqué aux signaux side₂ et side₁ pour accélérer et ralentir le chariot.

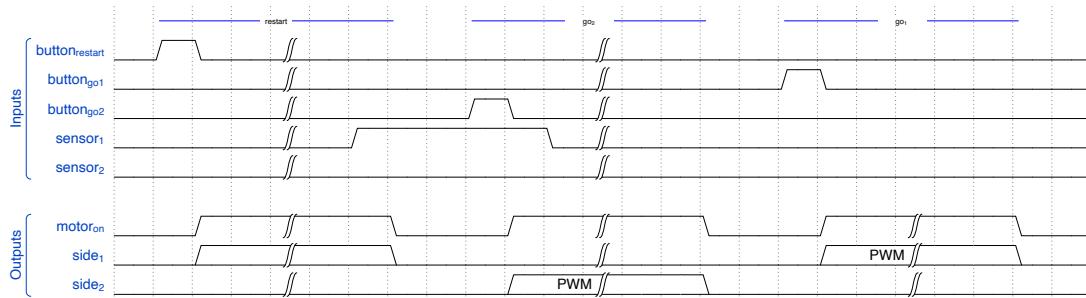


Figure 5 - Scenario curseur



Les scénarios ci-dessus sont des exemples, c'est aux étudiants de les compléter.



2.4 Projet HDL-Designer

Un projet HDL-Designer prédéfini peut être téléchargé ou cloné dans [Cyberlearn](#) ou [Github](#). La structure de fichier du projet se présente comme suit:

```
did_cursor
+--Board/          # Project and files for programming the FPGA
|   +-concat/      # Complete VHDL file including PIN-UCF file
|   +-ise/          # Xilinx ISE project
+--Cursor/         # Library for the components of the student solution
+--Cursor_test/    # Library for the simulation testbenches
+--doc/            # Folder with additional documents relevant to the project
|   +-Board/        # All schematics of the hardware boards
|   +-Components/  # All data sheets of hardware components
+--img/             # Pictures
+--Libs/            # External libraries which can be used e.g. gates, io, sequential
+--Prefs/           # HDL-Designer settings
+--Scripts/         # HDL-Designer scripts
+--Simulation/     # Modelsim simulation files
```



Le chemin d'accès au dossier du projet ne doit pas contenir d'espaces.



Dans le dossier de projet **doc/**, on peut trouver de nombreuses informations importantes: fiches techniques, évaluation de projet et documents d'aide pour HDL-Designer, pour n'en citer que quelques-unes.



3 | Composants

Le système se compose de 3 platines matérielles différentes, visibles dans la Figure 1.

- Un assemblage de chariot avec une carte électronique **Printed Circuit Board (PCB)** qui commande le moteur et lit les capteurs (Figure 6)
- Une carte de développement **FPGA** (Figure 13 ou Figure 14)
- Une carte de contrôle à 4 boutons et 8 **LEDs** (Figure 15)

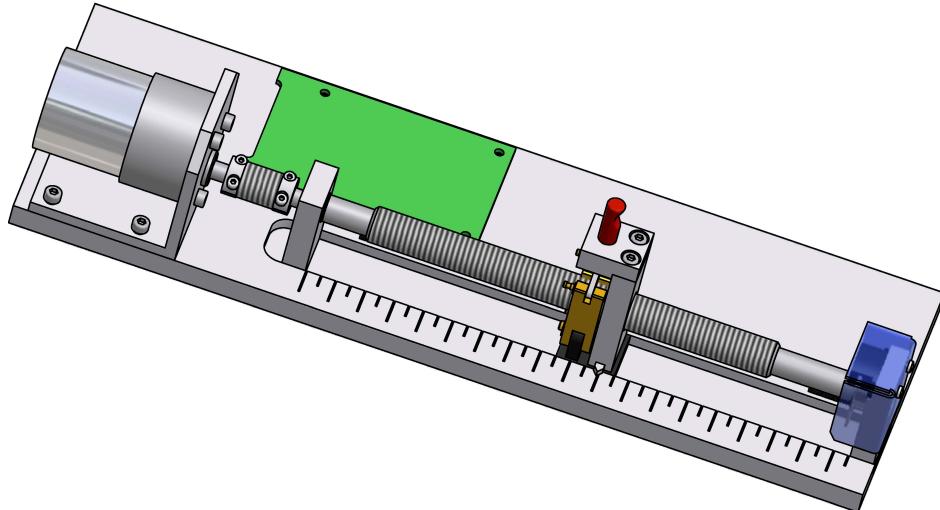


Figure 6 - Assemblage de chariot du curseur

3.1 Chariot

La structure du chariot comprend le moteur à courant continu, les deux reed relais Chapitre 3.4 ainsi que le chariot et la vis. Le filetage de la vis a une taille de M12x1.75, ce qui signifie qu'une distance de 1.75mm est parcourue par tour (Figure 7).

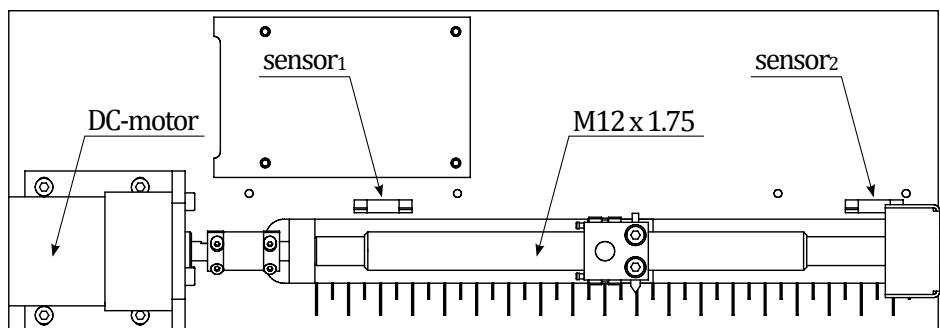


Figure 7 - Assemblage détaillé du chariot du curseur

3.2 Circuit de commande de moteur

Le moteur à courant continu du chariot est alimenté en 12V. La carte d'alimentation possède un pont en H qui est commandé par des signaux numériques. Sur la platine d'alimentation, un régulateur 5V génère la tension alimentant la platine **FPGA** [2].



3.2.1 Moteur à courant continu

Le moteur à courant continu est commandé par un driver de pont en H L6207 [3], voir figure Figure 8. La fréquence de commutation maximale du pont en H est de 100kHz. Ceci doit être pris en compte lors de la création du signal PWM.

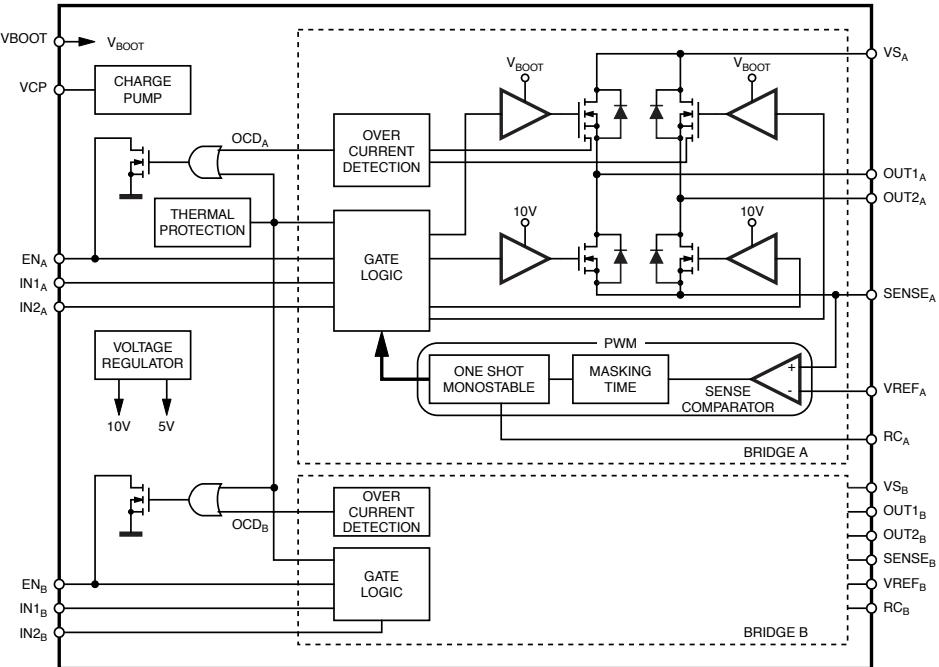


Figure 8 - Schéma bloc du circuit du pont-H L6207N [3]

Pour ajuster la vitesse du moteur à courant continu, un signal PWM doit être appliqué aux signaux side₁ ou side₂, la fréquence maximale étant de 100kHz. Plus la tension est appliquée longtemps au moteur, plus il tourne vite. Dans la Figure 9, le moteur tourne plus lentement avec le **signal vert** qu'avec le **signal bleu** et qu'avec le **signal rouge**.

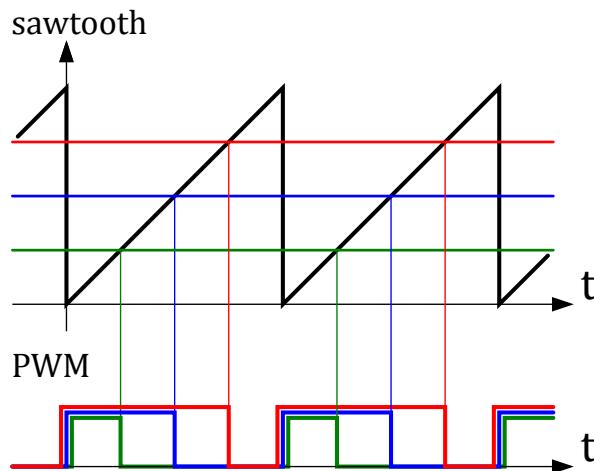


Figure 9 - Signaux PWM



3.3 Codeur (encodeur)

L'angle de la vis peut être mesuré à l'aide d'un **codeur incrémental**. Le modèle utilisé dans l'assemblage est un AEDB-9140-A12 [4] (Figure 11) avec 500 **Counts per Revolution (CPR)** (impulsions par tour) par canal, représenté dans la Figure 10.

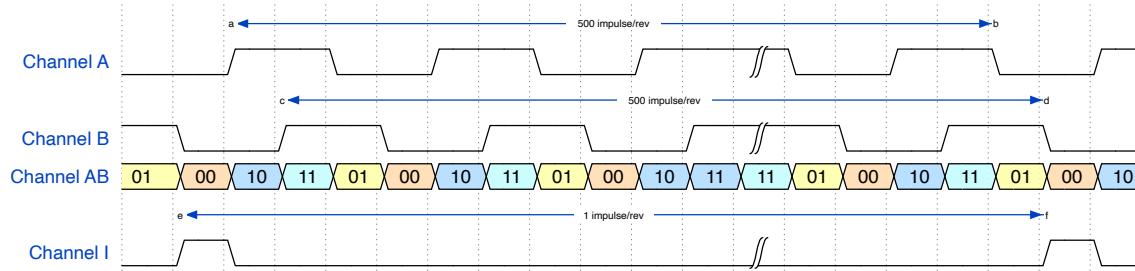


Figure 10 - Signaux de codeurs incrémentaux



Figure 11 - Encodeur AEDB-9140-A12 [4]

3.4 Reed-Relais

Le reed-relais est un interrupteur qui peut être commuté à l'aide d'électro-aimants [1]. Lorsqu'un aimant se trouve à proximité du capteur, le contact se ferme (Figure 12). Sur le module, 2 reed-relais sont utilisés (sensor_1 et sensor_2) pour identifier les limites gauche et droite du chariot.

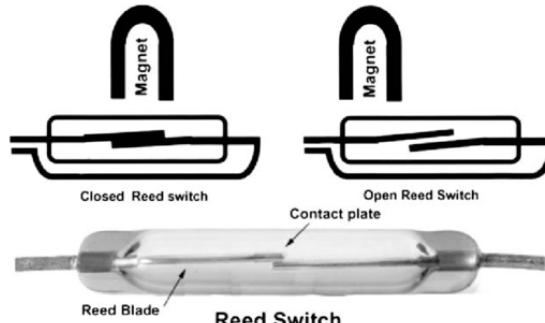


Figure 12 - Reed relais [5]

3.5 Carte FPGA

La carte principale est la carte de développement de laboratoire FPGA-EBS 2 de l'école [6]. Elle héberge une puce **Xilinx Spartan xc3s500e FPGA** [7], [8] et dispose de nombreuses interfaces différentes (**Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)**, **Universal Serial Bus (USB)**, Ethernet, etc.). L'oscillateur utilisé produit un signal d'horloge (**clock**) avec une fréquence de $f_{\text{clk}} = 66\text{MHz}$ [9].

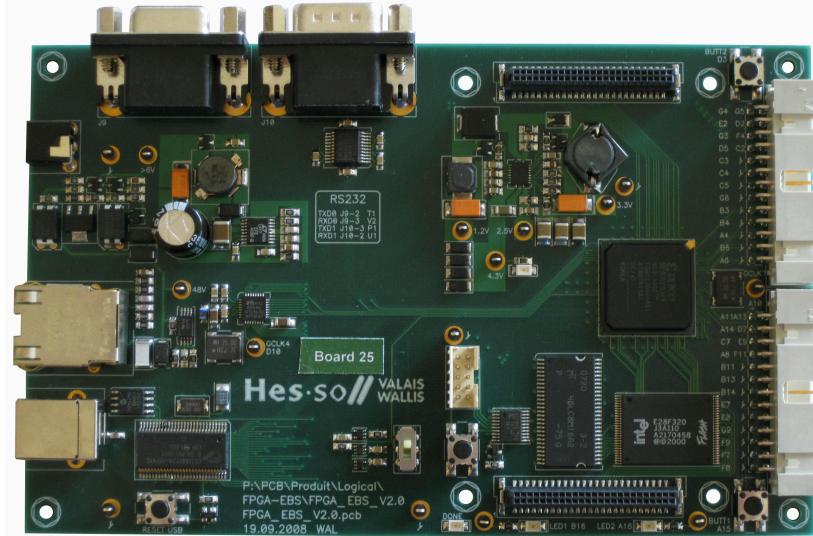


Figure 13 - Carte électronique FPGA [6]

Sur la carte EBS3, l'oscillateur utilisé produit un signal d'horloge (**clock**) avec une fréquence de $f_{clk} = 100\text{MHz}$, réduit par PLL à $f_{clk} = 60\text{MHz}$.

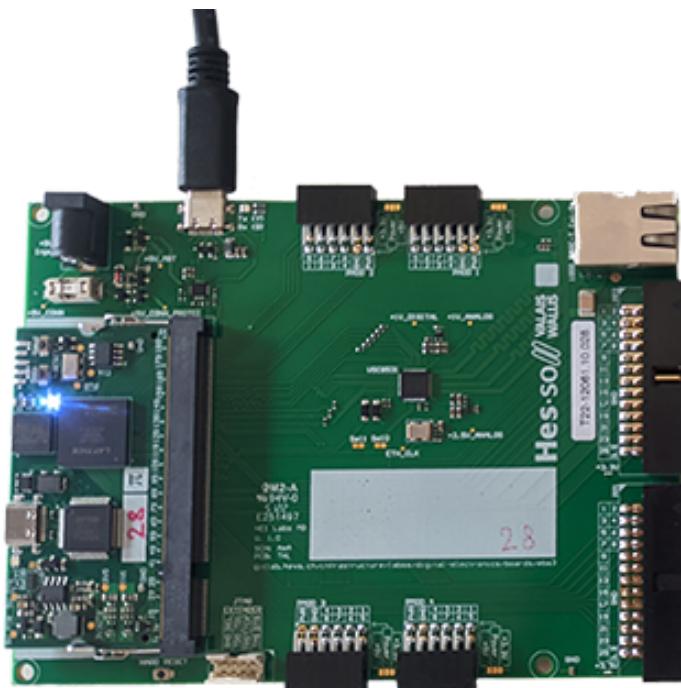


Figure 14 - Carte électronique FPGA [10]



Les simulateurs sont réglés par défaut pour les boards EBS3. Pour les modifier, ouvrez un bloc de testbench **xxx_tb** et double-cliquez sur les déclarations **Pre-User** (en haut à gauche de la page) pour modifier la variable **clockFrequency** selon la valeur de clock souhaitée.



3.6 Boutons et LEDs

La platine avec les boutons et les **LEDs** [11] est connectée à la platine **FPGA**. Elle a 4 boutons et 8 **LEDs** qui peuvent être utilisés dans le design. Si on le souhaite, cette platine peut être équipée d'un affichage **LCD** [12], [13].



Figure 15 - Carte électronique boutons-**LEDs-LCD** [11]



4 | Evaluation

Dans le dossier **doc/**, le fichier **evaluation-bewertung-cursor.pdf** montre le schéma d'évaluation détaillé, voir Table 1.

La note finale contient le rapport, le code ainsi qu'une présentation de votre système.

Aspects évalués	Points
Rapport	55
Introduction	3
Spécification	5
Projet	20
Vérification et validation	10
Intégration	9
Conclusion	3
Aspects formels du rapport	5
Fonctionnalité du circuit	30
Qualité de la solution	10
Présentation	10
Total	105

Table 1 - Grille d'évaluation



La grille d'évaluation donne des indications sur la structure du rapport. Pour un bon rapport, consultez le document « Comment rédiger un rapport de projet » [14].



5 | Premières étapes

Pour commencer le projet, on peut procéder de la manière suivante :

- Lisez attentivement les spécifications et les informations ci-dessus.
- Examinez le matériel et testez le programme préprogrammé.
- Parcourez les documents dans le dossier **doc/** de votre projet.
- Développez un schéma fonctionnel détaillé. Vous devriez pouvoir expliquer les signaux et leurs fonctions.
- Implémentez et simulez les différents blocs.
- Testez la solution sur le circuit imprimé et trouvez les éventuelles erreurs .

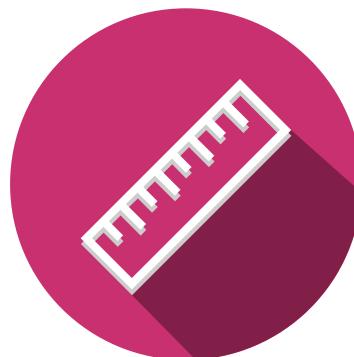
5.1 Tips

Ci-joint quelques conseils supplémentaires pour éviter les problèmes et les pertes de temps:

- Divisez le problème en différents blocs, utilisez pour cela le document Toplevel vide (**cursor-toplevel-empty.pdf**). Il est recommandé d'avoir un mélange équilibré entre le nombre de composants et la taille/complexité des composants.
- Analysez les différents signaux d'entrée et de sortie, pour cela il est conseillé d'utiliser en partie les fiches techniques.
- Respectez le chapitre DiD « Méthodologie de conception de circuits numériques (MET) » lors de la création du système [15].
- Il est recommandé de réaliser le système de façon incrémentale, par exemple:
 - D'abord un système qui réagit aux boutons et qui amène le chariot à la position correspondante (toujours à la vitesse maximale).
 - Intégrer les phases d'accélération dans le système existant.



N'oubliez pas de vous amuser.





Glossaire

CPR – Counts per Revolution [10](#)

FPGA – Field Programmable Gate Array [5, 8, 10, 11, 12](#)

LCD – Liquid Crystal Display [3, 12](#)

LED – Light Emitting Diode [5, 8, 12](#)

PCB – Printed Circuit Board [8](#)

PWM – Pulse Width Modulation [5, 6, 9](#)

UART – Universal Asynchronous Receiver Transmitter [10](#)

USB – Universal Serial Bus [10](#)



Bibliographie

- [1] « Reed Relay ». 5 décembre 2020. Consulté le: 24 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Reed_relay&oldid=992433034
- [2] Olivier Walpen, « Schematic: Cursor Chariot Power Circuit ». 2009.
- [3] STMicroelectronics, « Datasheet: DMOS Dual Full Bridge Driver with PWM Current Controller ». 2003.
- [4] Agilent Technologies, « Datasheet Agilent AEDB-9140 Series Three Channel Optical Incremental Encoder Modules with Codewheel, 100 CPR to 500 CPR ». 2005.
- [5] « Magnetic-Reed-Switch-Above-Closed-and-open-reed-switch-in-response-to-magnet-placement.Png (850×345) ». Consulté le: 24 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.researchgate.net/profile/Sidakpal-Panaich-2/publication/51169357/figure/fig1/AS:394204346896388@1470997048549/Magnetic-reed-switch-Above-Closed-and-open-reed-switch-in-response-to-magnet-placement.png>
- [6] Silvan Zahno, « Schematic: FPGA-EBS v2.2 ». 2014.
- [7] Xilinx, « Spartan-3 FPGA Family ». Consulté le: 20 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.xilinx.com/products/silicon-devices/fpga/spartan-3.html>
- [8] Xilinx, « Datasheet Spartan-3E FPGA Family ». 2008.
- [9] CTS, « Datasheet CTS Model CB3 & CB3LV HCMOS/TTL Clock Oscillator ». 2006.
- [10] A. Amand et S. Zahno, « FPGA-EBS3 Electornic Technical Documentation ». 2022.
- [11] Silvan Zahno, « Schematic: Parallelport HEB LCD V2 ». 2014.
- [12] Sitronix, « Datasheet Sitronix ST7565R 65x1232 Dot Matrix LCD Controller/Driver ». 2006.
- [13] Electronic Assembly, « Datasheet: DOGM Graphics Series 132x32 Dots ». 2005.
- [14] Christophe Bianchi, François Corthay, et Silvan Zahno, « Comment Rédiger Un Rapport de Projet? ». 2021.
- [15] François Corthay, Silvan Zahno, et Christophe Bianchi, « Méthodologie de Conception de Circuits Numériques ». 2021.