

# Rapport de projet

## Conception d'une carte d'évaluation STM32

### Auteurs

*David Chauvet*

*Samuel Huet*

### Encadrants

*Cyril Sagonero*

*Lucas Testa*

<b>INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>SCHEMAS FONCTIONNEL</b>	<b>6</b>
<b>NIVEAU 1</b>	<b>6</b>
FONCTIONS	7
SIGNAUX	7
<b>NIVEAU 2</b>	<b>8</b>
CONTROLLER	8
COMMUNIQUER VIA BLUETOOTH	9
COMMUNIQUER VIA ETHERNET	11
COMMUNIQUER VIA USB	12
COMMUNIQUER AVEC LES MODULES MIKROELECTRONICA	13
COMMUNIQUER AVEC UNE CAMERA	14
ALIMENTER	14
PROGRAMMER	15
<b>ANALYSE STRUCTUREL</b>	<b>17</b>
<b>LAN</b>	<b>17</b>
FONCTIONS	17
PHY ET ENVIRONNEMENT	18
CONNECTEUR	18
FILTRAGE	18
RESET	18
HORLOGE	19
PROTECTION	19
<b>WAN</b>	<b>20</b>
FONCTIONS	21
FILTRAGE	21
CONNECTION	21
PROGRAMMATION	21
RESET	21
CADENCEMENT	21
ADAPTATION	22
<b>INTERFACE</b>	<b>22</b>
FONCTIONS	23
PROTECTION	23
HORLOGE	23
<b>USB &amp; ALIMENTATION</b>	<b>24</b>
FONCTIONS	25
USB	25
ALIMENTATIONS	25
LED	26
<b>DEBUG</b>	<b>27</b>
FONCTIONS	28
CONFIGURATION	29

CONNECTION	29
RESET	29
MULTIPLEXEUR	29
<b>MICRO</b>	<b>29</b>
FONCTIONS	31
CUBE MX	31
NAND FLASH	32
PROGRAMMATION	32
CADENCEMENT	33
RESET	33
FILTRAGE	34
SRAM	34
<b>ROUTAGE</b>	<b>34</b>
<b>STACK-UP</b>	<b>34</b>
<b>REGLES</b>	<b>35</b>
DCMI	35
ETHERNET	35
PAIR DIFFERENTIELS	35
QSPI	36
RF	36
ALIMENTATION	37
ENCOMBREMENT	37
<b>PLACEMENT</b>	<b>38</b>
TOP LAYER	38
ALIMENTATION	39
MASSE	39
BOTTOM LAYER	40
<b>AJOUTS</b>	<b>41</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>41</b>
<b>CHAUVET DAVID</b>	<b>41</b>
<b>HUET SAMUEL</b>	<b>41</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>42</b>
<b>GITHUB</b>	<b>42</b>
<b>SOURCES</b>	<b>42</b>

Figure 1 - Diagramme fonctionnel de niveau 1	6
Figure 2 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Contrôler	8
Figure 3 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Bluetooth	9
Figure 4 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Ethernet	11
Figure 5 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : USB	12
Figure 6 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : MikroElectronica	13
Figure 7 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Caméra	14
Figure 8 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Alimentation	14
Figure 9 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Programmateur	15
Figure 10 - Diagramme structurel : LAN	17
Figure 11 - Reset : LAN	18
Figure 12 - Diagramme structurel : WAN	20
Figure 13 - Diagramme structurel : Interface	22
Figure 14 - Diagramme structurel : USB/Alimentation	24
Figure 15 - Application typique buck/boost	26
Figure 16 - Diagramme structurel : Debug	27
Figure 17 Diagramme structurel : Debug USB	27
Figure 18 - Diagramme structurel Debug Multiplex	28
Figure 19 - Diagramme structurel : Nand Flash	29
Figure 20 - Diagramme structurel : Clock	30
Figure 21 - Diagramme structurel : Micro	30
Figure 22 - Diagramme structurel Micro BLE	30
Figure 23 - Fonctions CubeMX	31
Figure 24 - Pinout CubeMX	32
Figure 25 - Clock CubeMX	33
Figure 26 - Filtrage Micro	34
Figure 27 - Stack-up	34
Figure 28 - Paire différentiel Ethernet	35
Figure 29 - Paire différentiel USB	36
Figure 30 - Adaptation RF	36
Figure 31 - Piste d'alimentation externe	37
Figure 32 - Piste d'alimentation interne	37
Figure 33 - Top Overlay 1:1	38
Figure 34 - Top Layer 1:1	38
Figure 35 - Couche d'alimentation 1:1	39
Figure 36 - Couche de masse 1:1	39
Figure 37 - Bottom Overlay 1:1	40
Figure 38 - Bottom Layer 1:1	40
Figure 39 - GitHub	42

Tableau 1 - Fonctions principales	7
Tableau 2 - Signaux principaux	7
Tableau 3 - Fonctions secondaire : Contrôler	8
Tableau 4 - Signaux secondaire : Contrôler	9
Tableau 5 - Fonctions secondaires : Bluetooth	10
Tableau 6 - Signaux secondaire : Bluetooth	10
Tableau 7 - Fonctions secondaires : Bluetooth	11
Tableau 8 - Signaux secondaires : Bluetooth	12
Tableau 9 - Fonctions secondaires : USB	12
Tableau 10 - Signaux secondaires : USB	13
Tableau 11 - Fonctions secondaires : MikroElectronica	13
Tableau 12 - Signaux secondaires : Mikroelectronica	13
Tableau 13 - Fonctions secondaires : Caméra	14
Tableau 14 - Signaux secondaires : Caméra	14
Tableau 15 - Fonctions secondaires : Alimentation	15
Tableau 16 - Signaux secondaires : Alimentation	15
Tableau 17 - Fonctions secondaires : Programmeur	16
Tableau 18 - Signaux secondaires : Programmeur	16
Tableau 19 - Fonctions structurelles : LAN	17
Tableau 20 - Filtrage : LAN	18
Tableau 21 - Fonctions structurelles : WAN	21
Tableau 22 - Fonctions structurelles : Interface	23
Tableau 23 - Fonctions structurelles : USB/Alimentation	25
Tableau 24 - Consommation	25
Tableau 25 - Fonctions structurelles : Debug	28
Tableau 26 - Fonctions structurelles : Micro	31

# Introduction

Dans le cadre de notre cours de conception électronique avec Cyril Sagonero et Lucas Testa, il nous a été demandé de réaliser une carte de développement STM32. Ce projet a démarré le 14 novembre 2019 et se termine le 10 Janvier. L'objectif est de nous faire concevoir de A à Z une carte de développement STM32 répondant du mieux possible aux normes CEM. Les tests de validité de la carte ne seront pas effectués mais ce projet nous responsabilisera à ces normes.

Afin de nous faire gagner du temps certains composants nous ont été imposés, on peut donc établir une liste des connectivités imposés.

- Microcontrôleur (Composant : STM32H750VBT6)
- Ethernet (Composant : KSZ8081RNA)
- Flash NAND (Composant : W25N01GVZEIT)
- Bluetooth (BLUENRG-232)
- Port Caméra (OV7670)

Il nous a également été imposé de respecter une dimension de la carte de 8cm par 8cm. De plus, en bonus, nous avons le choix d'ajouter ou non une SRAM. Nous avons décidé par nous-même, que dans le cadre une carte de développement, ajouter un programmeur interne serait judicieux. Cela permettrait d'avoir tout en un. Nous ajoutons donc le programmeur interne à notre cahier des charges.

# Schémas fonctionnel

## Niveau 1

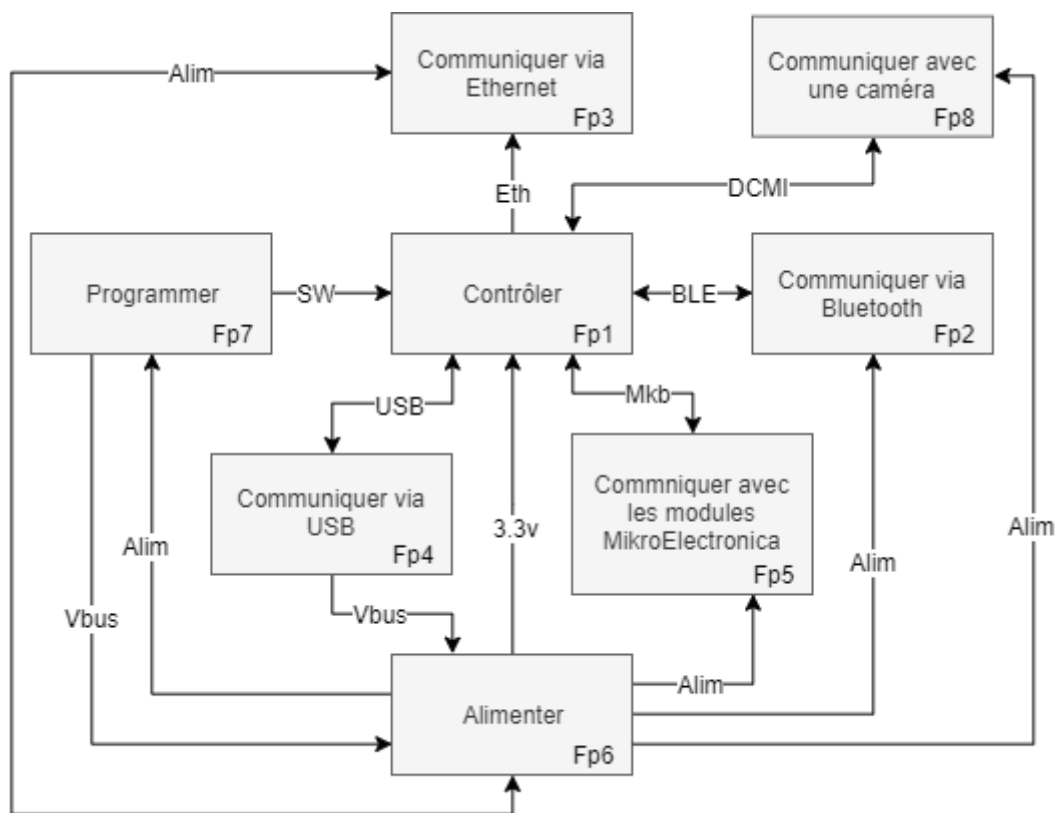


Figure 1 - Diagramme fonctionnel de niveau 1

## Fonctions

<b>Numéro</b>	<b>Nom</b>	<b>Description</b>
<i>Fp1</i>	Contrôler	Assurer la coordination entre les modules via un algorithme.
<i>Fp2</i>	Communiquer via Bluetooth	Assurer une communication Bluetooth avec un autre appareil. Permettre de plus la programmation de la fonction principale 1
<i>Fp3</i>	Communiquer via Ethernet	Assurer une communication via la protocole Ethernet
<i>Fp4</i>	Communiquer via USB	Assurer une communication via le protocole USB
<i>Fp5</i>	Communiquer avec les modules MikroElectronica	Assurer une compatibilité avec les modules MikroElectronica via le socket Mikrobus
<i>Fp6</i>	Alimenter	Assurer l'alimentation des différentes fonctions.
<i>Fp7</i>	Programmer	Permettre la programmation et le Debug de l'algorithme envoyé au la fonction principale 1
<i>Fp8</i>	Communiquer avec une caméra	Etablir le paramétrage et l'acquisition des données d'une caméra

Tableau 1 - Fonctions principales

## Signaux

<b>Nom</b>	<b>Type</b>	<b>Description</b>
<i>Vbus</i>	Signal continue	Alimentation brute non filtrée
<i>Alim</i>	Signal continue	Alimentation régulé et filtrée
<i>USB</i>	Signal numérique différentiel	Signal numérique de communication USB
<i>Mkb</i>	Ensemble de signaux numérique et continue	Ensemble de signaux numérique : SPI, UART, PWM, I2C, mais aussi un signal analogique, un signal d'interruption, et un de reset
<i>BLE</i>	Signal numérique	Signal numérique de communication UART
<i>Eth</i>	Signal numérique	Signal numérique de communication Ethernet
<i>SW</i>	Signal numérique	Signal numérique de programmation SW
<i>DCMI</i>	Signal numérique	Signal numérique de communication DCMI

Tableau 2 - Signaux principaux



## Niveau 2

Les liaisons laissés en l'air représentent une connexion avec un bloque fonctionnel extérieur.

### Contrôler

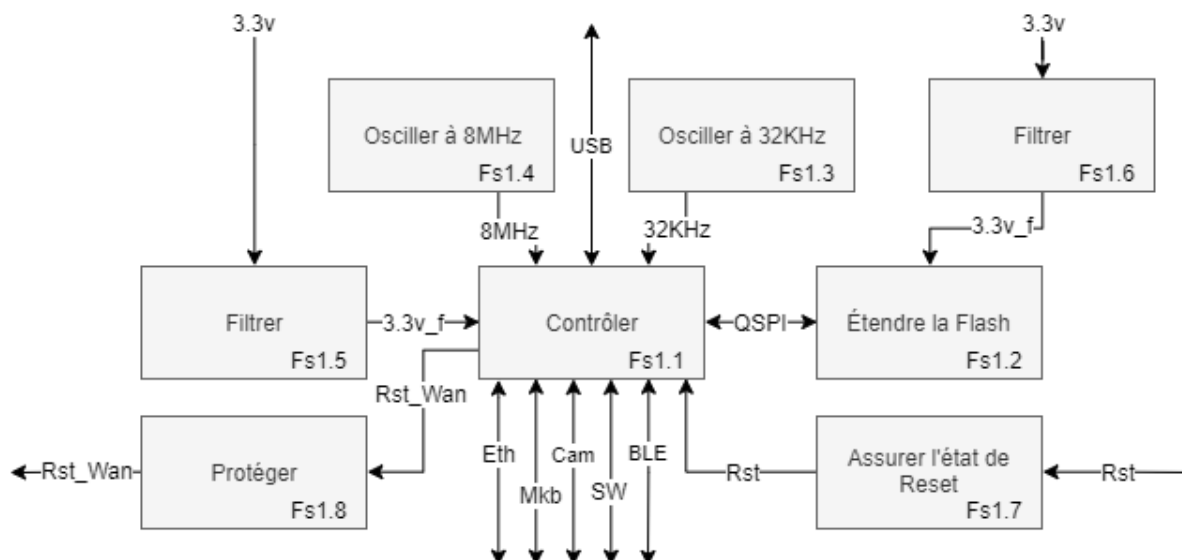


Figure 2 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Contrôler

### Fonctions

Numéro	Nom	Description
Fs1.1	Contrôler	Elément permettant l'exécution d'un programme
Fs1.2	Etendre la Flash	Etendre l'espace de stockage Flash de la fonction Contrôler
Fs1.3	Osciller à 32KHz	Cadencer à 32KHz la fonction Contrôler
Fs1.4	Osciller à 8MHz	Cadencer à 8MHz la fonction Contrôler
Fs1.5	Filtrer	Filtrer l'alimentation de la fonction Contrôler
Fs1.6	Filtrer	Filtrer l'alimentation de la fonction Etendre la Flash
Fs1.7	Assurer l'état de Reset	Maintenir l'état de reset pour une temps minimal
Fs1.8	Protéger	Protéger la ligne contre un courant excessif

Tableau 3 - Fonctions secondaire : Contrôler

## Signaux

Nom	Type de signal	Description
3.3v	Alimentation continue	Alimentation des fonctions
3.3v_f	Alimentation continue	Alimentation filtré des fonctions
8MHz	Signal alternatif	Signal de cadencement
32KHz	Signal alternatif	Signal de cadencement
USB	Signal numérique	Signal de communication USB
Eth	Signaux numérique	Signal de communication Ethernet
Mkb	Signaux numérique	Ensemble de signaux de communication Mikrobus
Cam	Signaux numérique	Ensemble de signaux de communication Camera
SW	Signaux numérique	Signal de programmation
BLE	Signaux numérique	Signaux de communication BLE
Rst	Signal tout ou rien	Signal Reset de la fonction Contrôler
Rst_Wan	Signal tout ou rien	Signal de Reset de la Wan

Tableau 4 - Signaux secondaire : Contrôler

## Communiquer via Bluetooth

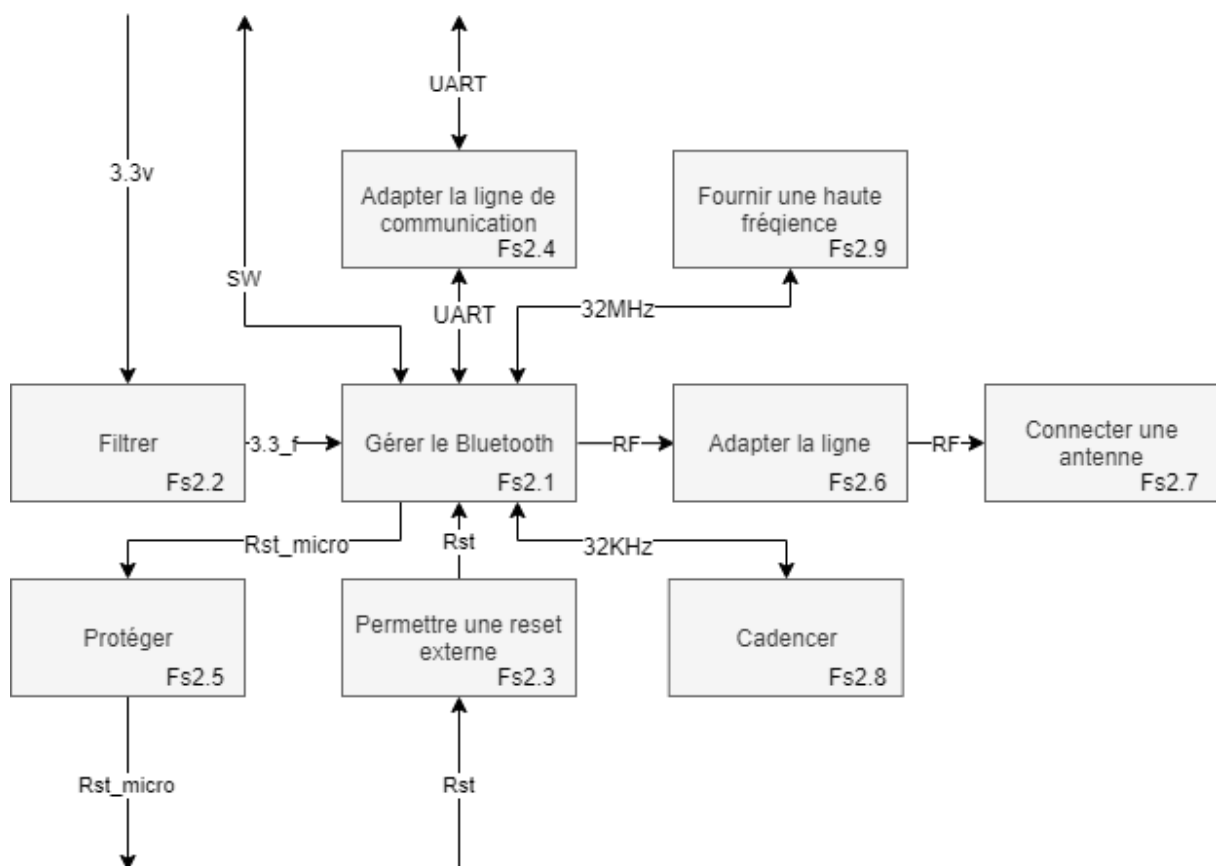


Figure 3 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Bluetooth

### Fonctions

Numéro	Fonction	Description
Fs2.1	Gérer le Bluetooth	Gère à la fois le protocole Bluetooth ainsi que le passage en RF
Fs2.2	Filtrer	Filtrer l'alimentation
Fs2.3	Permettre un reset externe	Maintenir l'état reset suffisamment longtemps pour qu'il soit pris en compte
Fs2.4	Adapter la ligne de communication	Adapter la ligne de communication
Fs2.5	Protéger	Protéger la ligne contre des sur courants
Fs2.6	Adapter la ligne	Adapter la ligne RF sur 50Ω
Fs2.7	Connecter une antenne	Connecter une antenne Bluetooth externe
Fs2.8	Cadencer	Cadencer le contrôleur
Fs2.9	Fournir une haute fréquence	Fournir au contrôleur une fréquence haute qu'il pourra exploiter

Tableau 5 - Fonctions secondaires : Bluetooth

### Signaux

Nom	Type de signal	Description
3.3v	Signal d'alimentation	Signal d'alimentation 3.3v non filtré
3.3_f	Signal d'alimentation	Signal d'alimentation 3.3v filtré
SW	Signal numérique	Signal de programmation
UART	Signal numérique	Signal de communication et de programmation micro/BLE
32MHz	Signal alternatif	Signal servant à générer du 2.4GHz au BLE
RF	Signal HF	Signal 2.4GHz modulé
32KHz	Signal alternatif	Signal de cadencement du BLE
Rst	Signal tout ou rien	Signal de reset du BLE
Rst_micro	Signal tout ou rien	Signal ordonnant au micro un reset

Tableau 6 - Signaux secondaire : Bluetooth

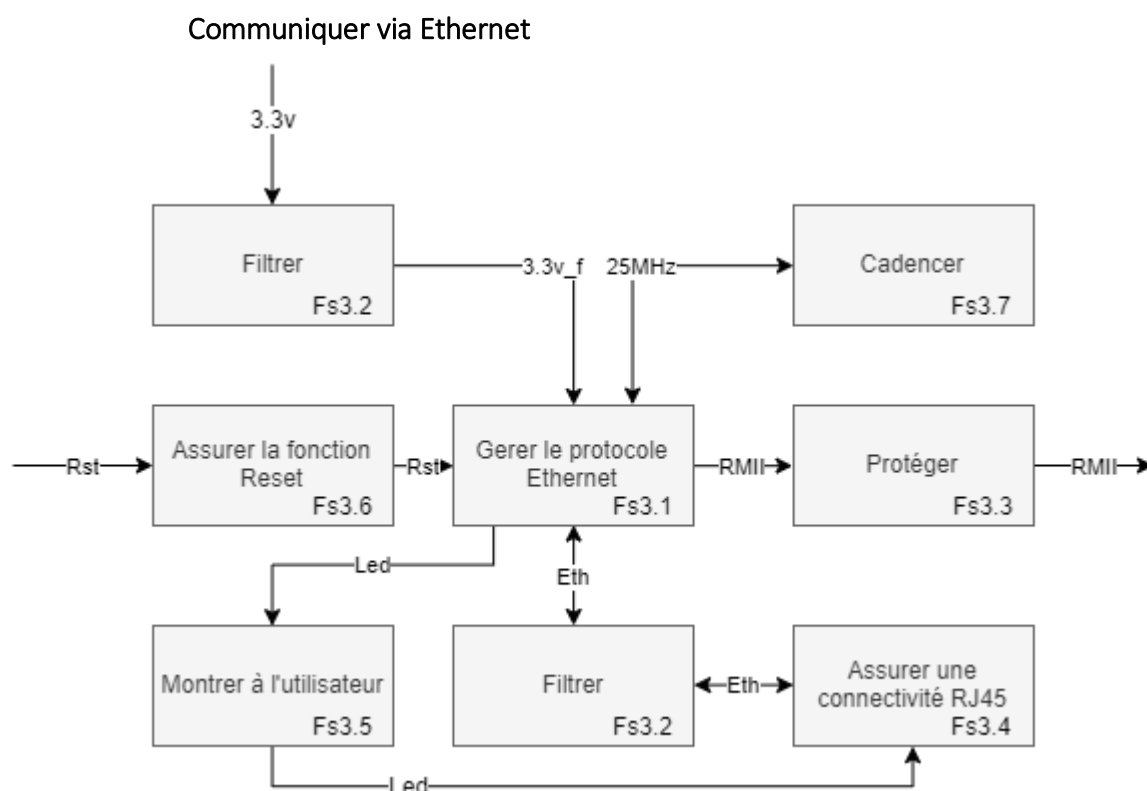


Figure 4 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Ethernet

Fonctions		
Numéro	Fonction	Description
Fs2.1	Gérer le Bluetooth	Gère à la fois le protocole Bluetooth ainsi que le passage en RF
Fs2.2	Filtrer	Filtrer l'alimentation
Fs2.3	Permettre un reset externe	Maintenir l'état reset suffisamment longtemps pour qu'il soit pris en compte
Fs2.4	Adapter la ligne de communication	Adapter la ligne de communication
Fs2.5	Protéger	Protéger la ligne contre des sur courants
Fs2.6	Adapter la ligne	Adapter la ligne RF sur 50Ω
Fs2.7	Connecter une antenne	Connecter une antenne Bluetooth externe
Fs2.8	Cadencer	Cadencer le contrôleur
Fs2.9	Fournir une haute fréquence	Fournir au contrôleur une fréquence haute qu'il pourra exploiter

Tableau 7 - Fonctions secondaires : Bluetooth

### Signaux

Nom	Type de signal	Description
3.3v	Signal d'alimentation	Signal d'alimentation 3.3v non filtré
3.3v_f	Signal d'alimentation	Signal d'alimentation 3.3v filtré
25MHz	Signal alternatif	Signal de cadencement du phy
RMII	Signal numérique	Signal de communication micro/phy
Eth	Signal numérique différentiel	Signal de communication phy/périphérique
Led	Signal tout ou rien	Signal montrant qu'une communication s'opère
Rst	Signal tout ou rien	Signal ordonnant le reset du phy

Tableau 8 - Signaux secondaires : Bluetooth

### Communiquer via USB

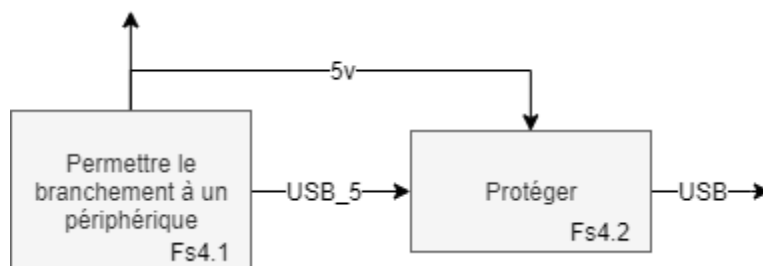


Figure 5 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : USB

### Fonctions

Numéro	Nom	Description
Fs4.1	Permettre le branchement à un périphérique	Port standard permettant la connexion avec un Host
Fs4.2	Protéger	Protéger le système d'une puissance excessive

Tableau 9 - Fonctions secondaires : USB

## Signaux

Nom	Type	Description
5v	Signal continue	Alimentation 5v permettant l'alimentation
USB_5	Signal numérique	Signal numérique 0-5v différentiel
USB	Signal numérique	Signal numérique différentiel

Tableau 10 - Signaux secondaires : USB

## Communiquer avec les modules MikroElectronica

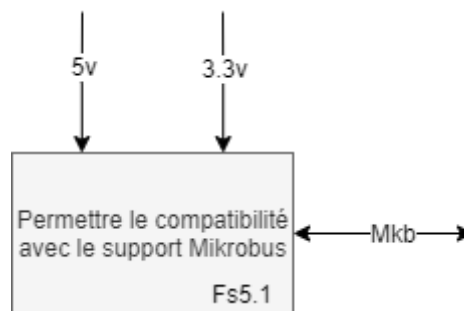


Figure 6 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : MikroElectronica

## Fonctions

Numéro	Nom	Description
Fs5.1	Permettre la compatibilité avec le support Mikrobus	Permettre le branchement des différents modules MikroElectronica disposant d'un port mikrobus

Tableau 11 - Fonctions secondaires : MikroElectronica

## Signaux

Nom	Type	Description
5v	Signal continue	Alimentation 5v permettant l'alimentation
3.3v	Signal continue	Alimentation 3.3v permettant l'alimentation
Mkb	Signal numérique	Ensemble de signaux numérique et de bus de communication synchrone et asynchrone duplex

Tableau 12 - Signaux secondaires : Mikroelectronica

## Communiquer avec une caméra

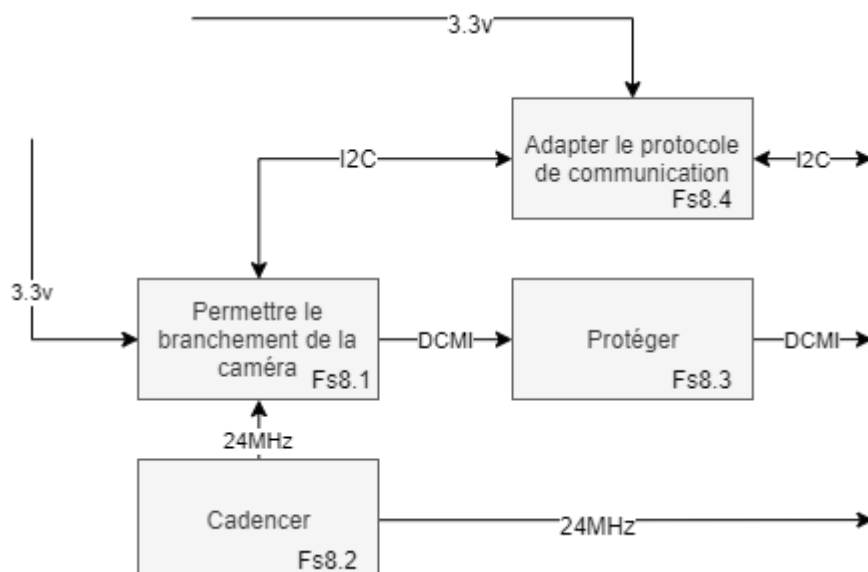


Figure 7 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Caméra

## Fonctions

Numéro	Fonction	Description
Fs8.1	Permettre le branchement de la caméra	Brochage permettant le branchement direct d'un module OV7670
Fs8.2	Cadencer	Cadencer la caméra et le contrôleur
Fs8.3	Protéger	Protéger la caméra d'un courant excessif
Fs8.4	Adapter le protocole de communication	Maintenir l'état un état haut par défaut en permanence

Tableau 13 - Fonctions secondaires : Caméra

## Signaux

Nom	Type de signal	Description
3.3v	Signal d'alimentation	Signal d'alimentation 3.3v non filtré
I2C	Signal numérique	Signal I2C permettant la configuration de la caméra
DCMI	Signal numérique	Signal DCMI permettant l'envoi de l'image capturé
24MHz	Signal alternatif	Signal de cadencement partagé entre la caméra et le micro

Tableau 14 - Signaux secondaires : Caméra

## Alimenter

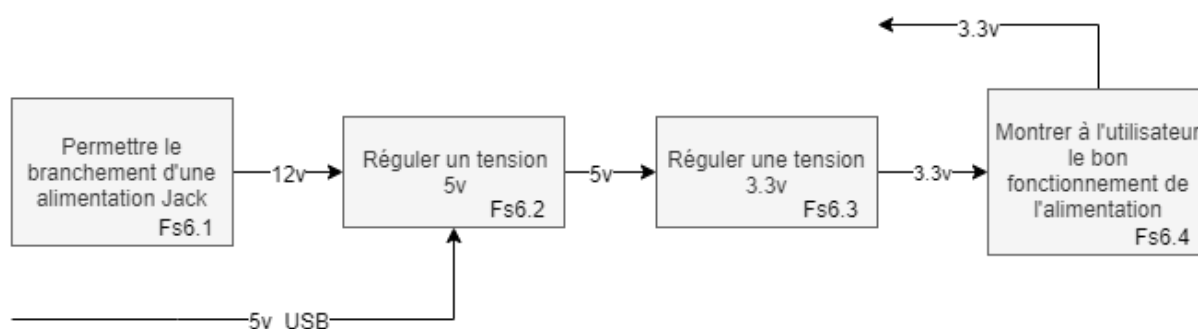


Figure 8 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Alimentation

## Fonctions

Numéro	Nom	Description
Fs6.1	Permettre la branchement d'une alimentation Jack	Permettre la connexion d'une alimentation externe et standard
Fs6.2	Stabiliser l'alimentation 5v	Convertit et stabilise la tension d'entrée en tension 5v stable
Fs6.3	Stabiliser l'alimentation 3.3v	Convertit et stabilise la tension d'entrée en tension 3.3v stable
Fs6.4	Montrer à l'utilisateur le bon fonctionnement de l'alimentation	Montrer à l'utilisateur, par un moyen rapide à visualiser, le bon fonctionnement de l'alimentation

Tableau 15 - Fonctions secondaires : Alimentation

## Signaux

Nom	Type	Description
12v	Tension d'alimentation	Alimentation 12v en attente d'être convertie
5v	Tension d'alimentation	Alimentation 5v dédié au Mikrobus
5v_USB	Tension d'alimentation	Alimentation 3.3v dédié à la quasi-totalité de la carte

Tableau 16 - Signaux secondaires : Alimentation

## Programmer

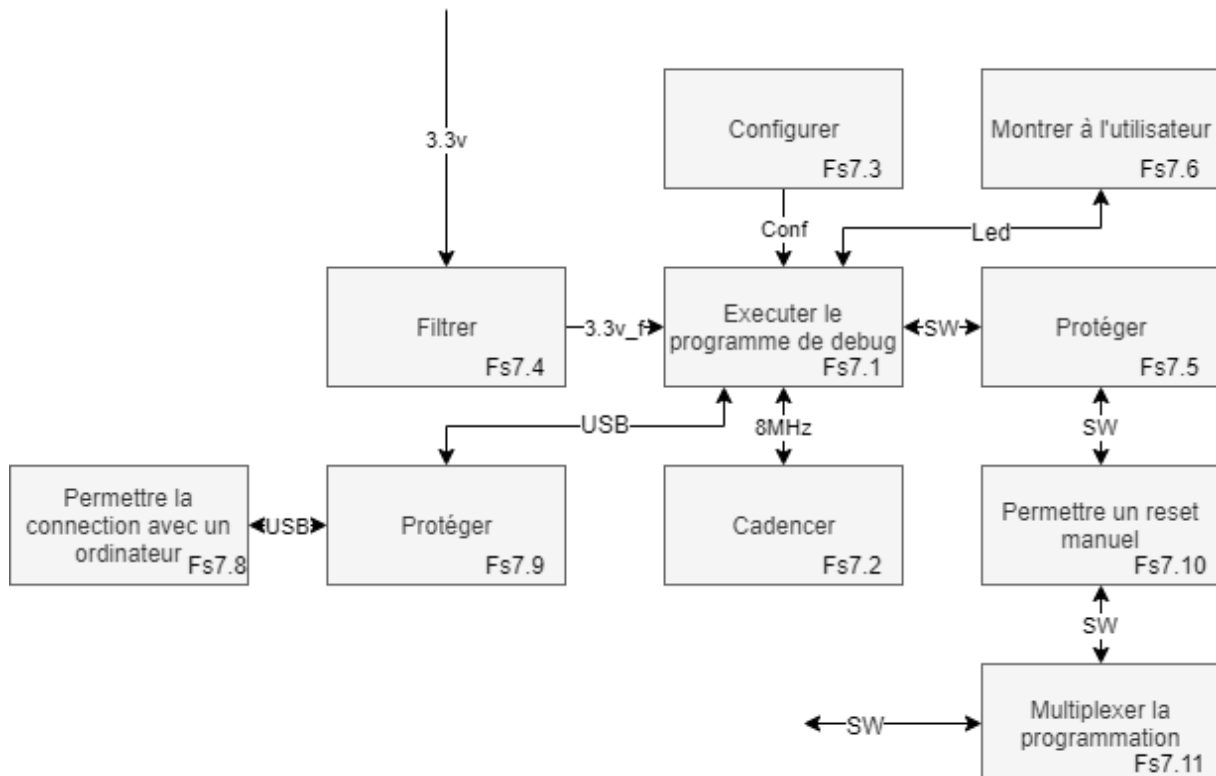


Figure 9 - Diagramme fonctionnel niveau 2 : Programmeur



## Fonctions

Numéro	Fonction	Description
Fs7.1	Exécuter le programme de Debug	Exécute le programme de Debug (STLINK) et sert d'intermédiaire entre PC et Microcontrôleur
Fs7.2	Cadencer	Cadencer le debugger
Fs7.3	Configurer	Configurer le debugger pour qu'il s'accorde avec le programme STLINK
Fs7.4	Filtrer	Filtrer l'alimentation d'éventuels parasites
Fs7.5	Protéger	Protéger le contrôleur contre un sur courant éventuel
Fs7.6	Montrer à l'utilisateur	Montrer à l'utilisateur le bon fonctionnement du Debug
Fs7.8	Permettre la connexion avec un ordinateur	Permettre une connexion débogueur/ordinateur
Fs7.9	Protéger	Protéger le débogueur contre les surtensions et sur courants
Fs7.10	Permettre un Reset manuel	Permettre un reset manuel du contrôleur et du module Bluetooth
Fs7.11	Multiplxer la programmation	Permettre la programmation du contrôleur et du BLE via un switch

Tableau 17 - Fonctions secondaires : Programmeur

## Signaux

Nom	Type de signal	Description
3.3v	Signal d'alimentation	Signal d'alimentation 3.3v non filtré
3.3v_f	Signal d'alimentation	Signal d'alimentation 3.3v non filtré
Conf	Signal tout ou rien	Signal de configuration du contrôleur Debug
Led	Signal tout ou rien	Signal indiquant une programmation en cours
SW	Signal numérique	Signal de programmation
8MHz	Signal alternatif	Signal de cadencement
USB	Signal numérique différentiel	Signal de communication USB interfaçant débogueur et PC

Tableau 18 - Signaux secondaires : Programmeur

# Analyse structurel

## Lan

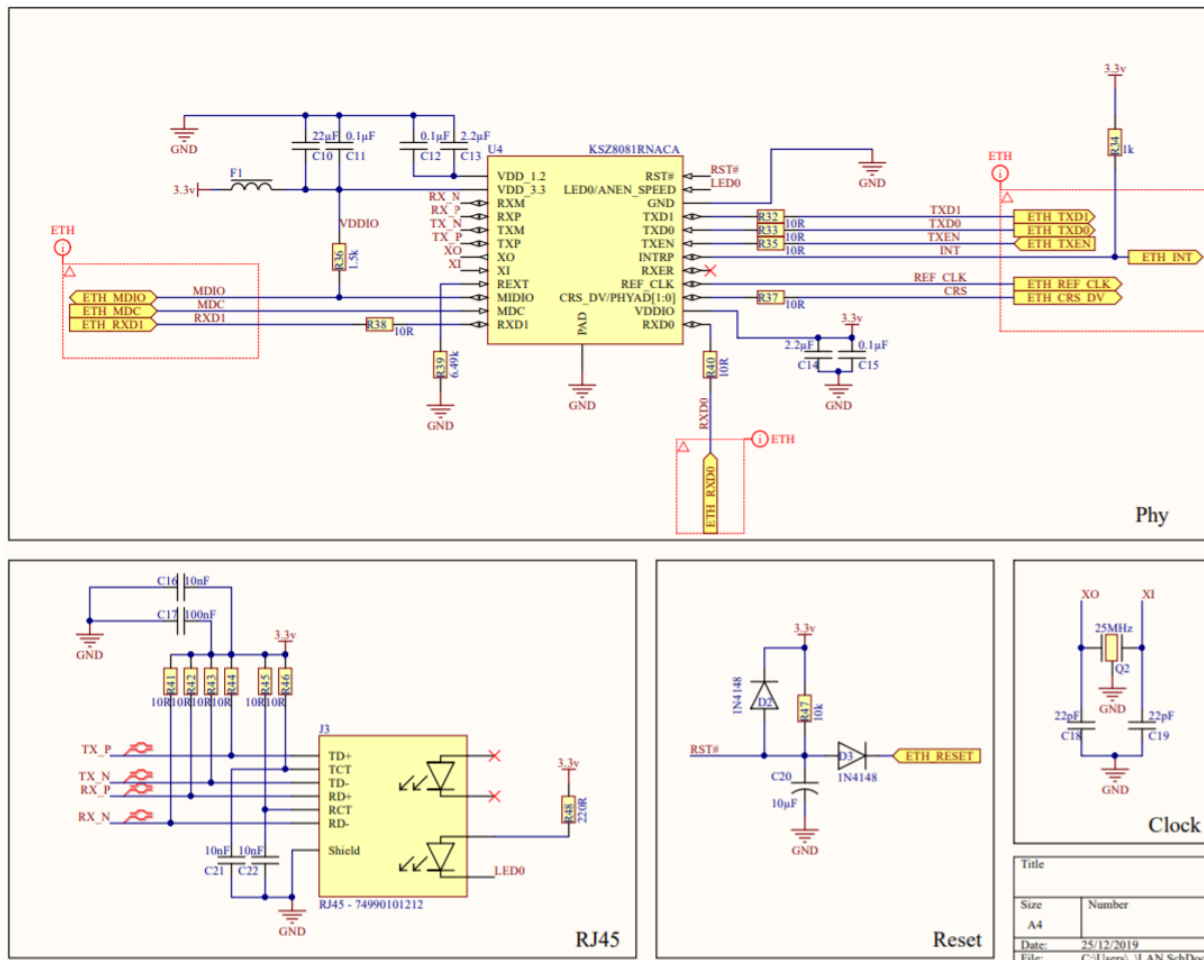


Figure 10 - Diagramme structurel : LAN

## Fonctions

Numéro	Fonction	Description	Composants
Fs3.1	Gérer le protocole Ethernet	Envoyer et recevoir des trames Ethernet	U4, R39, R36, R34
Fs3.2	Filtrer	Filtrer l'alimentation et éliminer tous les signaux indésirables	C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C21, C22, F1
Fs3.3	Protéger	Protéger les composants d'une éventuelle différence de potentiel	R32, R33, R35, R37, R38, R40
Fs3.4	Assurer une connectivité RJ45	Permettre le branchement d'un câble Ethernet RJ45	R41, R42, R43, R44, R45, R46, J3
Fs3.5	Montrer à l'utilisateur	Montrer à l'utilisateur qu'une communication a bien lieu	R48
Fs3.6	Assurer la fonction Reset	Veiller à maintenir suffisamment longtemps l'état de reset	D2, D3, R47, C20
Fs3.7	Cadencer	Donner une fréquence de fonctionnement au composant principale	Q2, C18, C19

Tableau 19 - Fonctions structurelles : LAN

## Phy et Environnement

Comme dit précédemment, le composant principal, à savoir le Phy Ethernet, ou PhyCeiver, nous a été imposé : il s'agit du KSZ8081RNA. Concernant donc le paramétrage de ce composant, la datasheet nous explique de connecter la broche REXT à une résistance de 6.49kΩ, celle-ci permettant au phy lui-même de déterminer son courant de sortie. Les résistances R36 et R34 sont des résistances de tirages afin d'imposer une tension haute sur la ligne, leur valeur importe peu.

## Connecteur

Le connecteur choisis est un connecteur Ethernet 8 contacts. Il intègre deux led qui permet de gagner de la place sur le montage en évitant d'ajouter une led externe. La normalisation de ce connecteur permet une compatibilité maximum avec les équipements équipés pour communiquer en Ethernet. Ce connecteur intègre également un filtrage magnétique, qui nous évite de mettre un magnétique externe qui prendrait une place très importante.

## Filtrage

Le filtrage se fait au travers de condensateur de découplage. Ainsi, en fonction du courant consommé, on pourra en déduire une résistance équivalente, et donc un filtre RC dont la fréquence de coupure se calcule par :  $f = \frac{1}{2\pi RC}$ . Le condensateur n'étant pas un composant parfait, on placera en général un deuxième condensateur environ à une décade au-dessus pour filtrer les fréquences plus hautes.

Couple	Fréquence de coupure
<b>C16, C17</b>	1.5MHz
<b>C21, C22</b>	1.5MHz
<b>C10, C11</b>	15.9KHz
<b>C12, C13</b>	NC*
<b>C14, C15</b>	5.7KHz

Tableau 20 - Filtrage : LAN

\*Consommation interne non spécifiée, la datasheet conseille de connecter à la broche VDD\_1.2 deux condensateurs 0.1μF et 2.2μF

## Reset

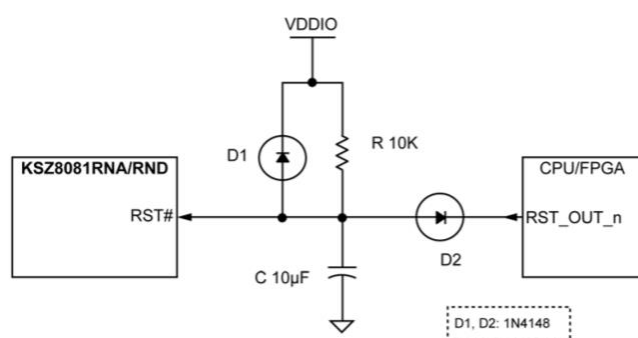


Figure 16. Recommended Reset Circuit for Interfacing with CPU/FPGA Reset Output

Figure 11 - Reset : LAN

Pour l'interface reset du phy Ethernet, j'ai utilisé la note d'application fournie par la datasheet de ce dernier, expliquant le schéma et le détail des composants à utiliser dans le cadre d'un reset commandé par un composant externe type FPGA ou CPU.

## Horloge

L'horloge est fournie par un quartz à 25MHz, comme préconisé dans la datasheet. Cette option étant la moins contraignante par rapport à un oscillateur actif et plus précis qu'un oscillateur interne. Les condensateurs sous le quartz doivent être adaptés à ce dernier. Sur le quartz sélectionné, la capacité de charge est indiquée à 12pF. Ce qui signifie que le calcul  $\frac{C_{18} \cdot C_{19}}{C_{18} + C_{19}}$  doit être égale à la capacité de charge. Ou, pour simplifier les calculs, on peut dire que les capacités doivent être environ égales au double de la capacité de charge du quartz. Donc dans notre cas, 24pF. Idéalement il serait mieux de prendre en compte la capacité parasite de la piste (Environ entre 2pF et 5pF) qui devrait alors s'ajouter au calcul produit sur somme. Cependant, on peut considérer cette capacité parasite comme négligeable.

## Protection

Les résistances en série sur les ports de communications sont une protection. En effet, si la tension de sortie des deux broches diffère, ces résistances limitent le courant. La tension de sortie minimum du phy étant de 2.4v, et la tension de sortie du microcontrôleur étant au maximum de 3.3v, le courant sera, dans le pire des cas de 9mA.

Wan

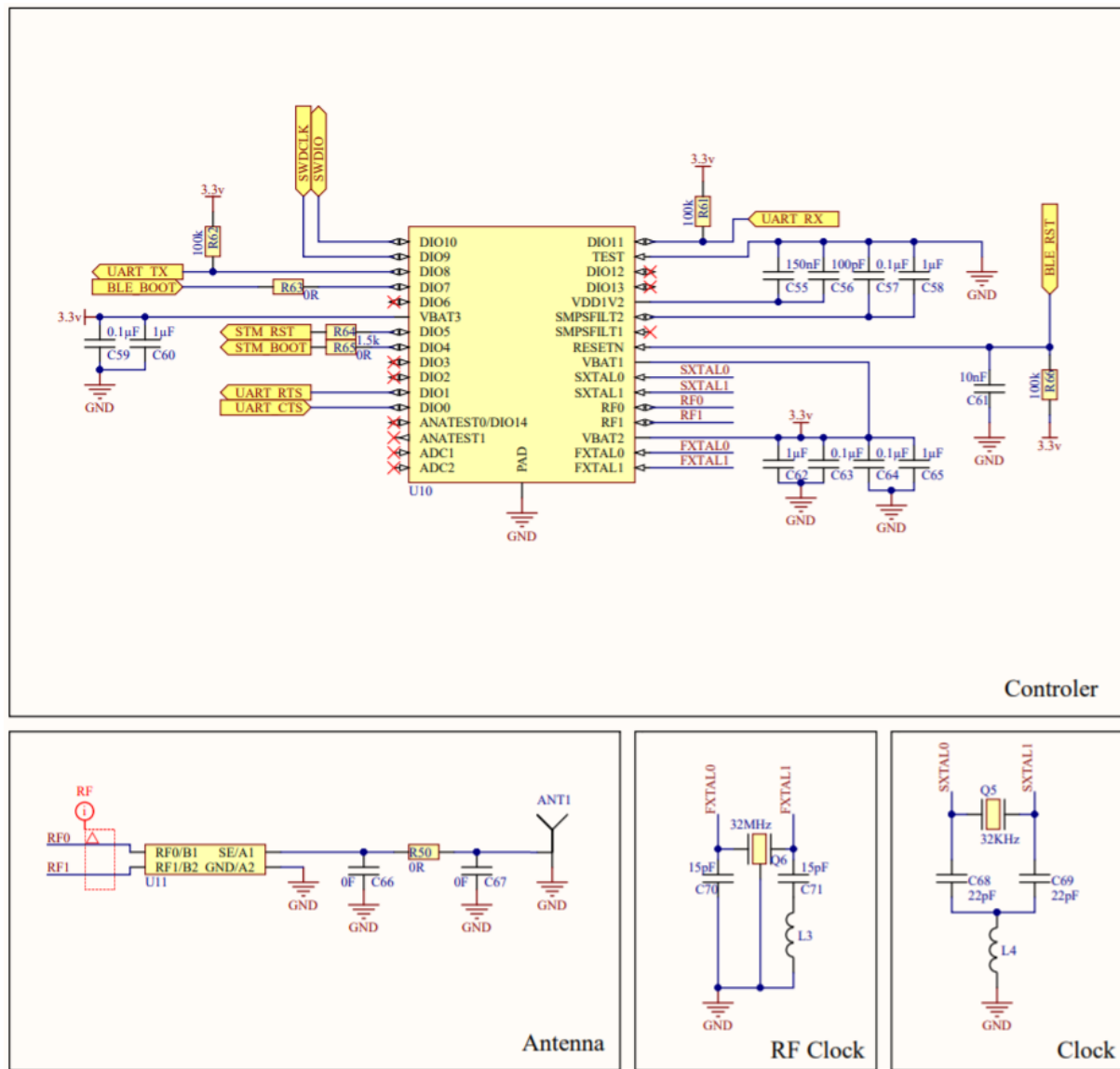


Figure 12 - Diagramme structurel : WAN

## Fonctions

Numéro	Fonction	Description	Composants
Fs2.1	Gérer le Bluetooth	Gère à la fois le protocole Bluetooth ainsi que le passage en RF	U10
Fs2.2	Filtrer	Filtrer l'alimentation	C59, C60, C55, C56, C57, C58, C62, C63, C64, C65
Fs2.3	Permettre un reset externe	Maintenir l'état reset suffisamment longtemps pour qu'il soit pris en compte	R66, C61
Fs2.4	Adapter la ligne de communication	Adapter la ligne de communication	R61, R62
Fs2.5	Protéger	Protéger la ligne contre des sur courants	R63, R64, R65
Fs2.6	Adapter la ligne	Adapter la ligne RF sur 50Ω	U11, C66, C67, R50
Fs2.7	Connecter une antenne	Connecter une antenne Bluetooth externe	ANT1
Fs2.8	Cadencer	Cadencer le contrôleur	Q5, C68, C69, L4
Fs2.9	Fournir une haute fréquence	Fournir au contrôleur une fréquence haute qu'il pourra exploiter	Q6, C70, C71, L3

Tableau 21 - Fonctions structurelles : WAN

### Filtrage

Pour une consommation maximale de 30mA, les condensateurs raccordés aux broches VBAT filtrent à la fréquence 15KHz. En revanche, les autres condensateurs sont raccordés à des régulateurs internes et les valeurs de condensateurs sont donnés par la datasheet.

### Connection

Le connecteur d'antenne choisis est un connecteur UFL. Celui-ci présente l'avantage de pouvoir changer d'antenne, mais aussi d'être très peu gourmand en terme de place, comparé à un SMA par exemple. Par contre, il est très peu recommandé dans les appareils soumis à des vibrations ou secousses. On préférera alors utiliser un SMA.

### Programmation

Pour la programmation de ce microcontrôleur, nous avons choisis deux options : D'une part la programmation peut être faite à travers le microcontrôleur principale (STM32). Celui-ci est alors raccordé en UART (qui permet la programmation) et un GPIO est relié au reset du BLE afin de compléter la programmation. Mais dans le cas où on souhaitera de déboguer le BLE seul nous avons également ajouté une programmation SW, donc raccordé à un système de Debug STLINK.

### Reset

Le système de reset est exactement similaire à celui présent sur le micro, les calculs y sont détaillés.

### Cadencement

Le cadencement se fait via 2 quartz. Le premier, basse fréquence, permet de cadencer le microcontrôleur, à 32KHz. Les condensateurs associés sont calculés et expliqué dans la partie LAN, ceux-ci dépendent de la capacité de charge du quartz. La self quant à elle permet de préciser la fréquence et est fourni par la datasheet. Le second quartz, à 32MHz, permet au BLE de créer par PLL une haute fréquence (2.4GHz).

## Adaptation

L'adaptation de la ligne HF est très importante sans quoi une grande partie de l'énergie sera perdue. On place donc une adaptation 50Ω en sortie du BLE, et on place également une adaptation en  $\pi$  avec des composants nuls. On pourra alors modifier la valeur des composants après des tests pour affiner le réglage.

## Interface

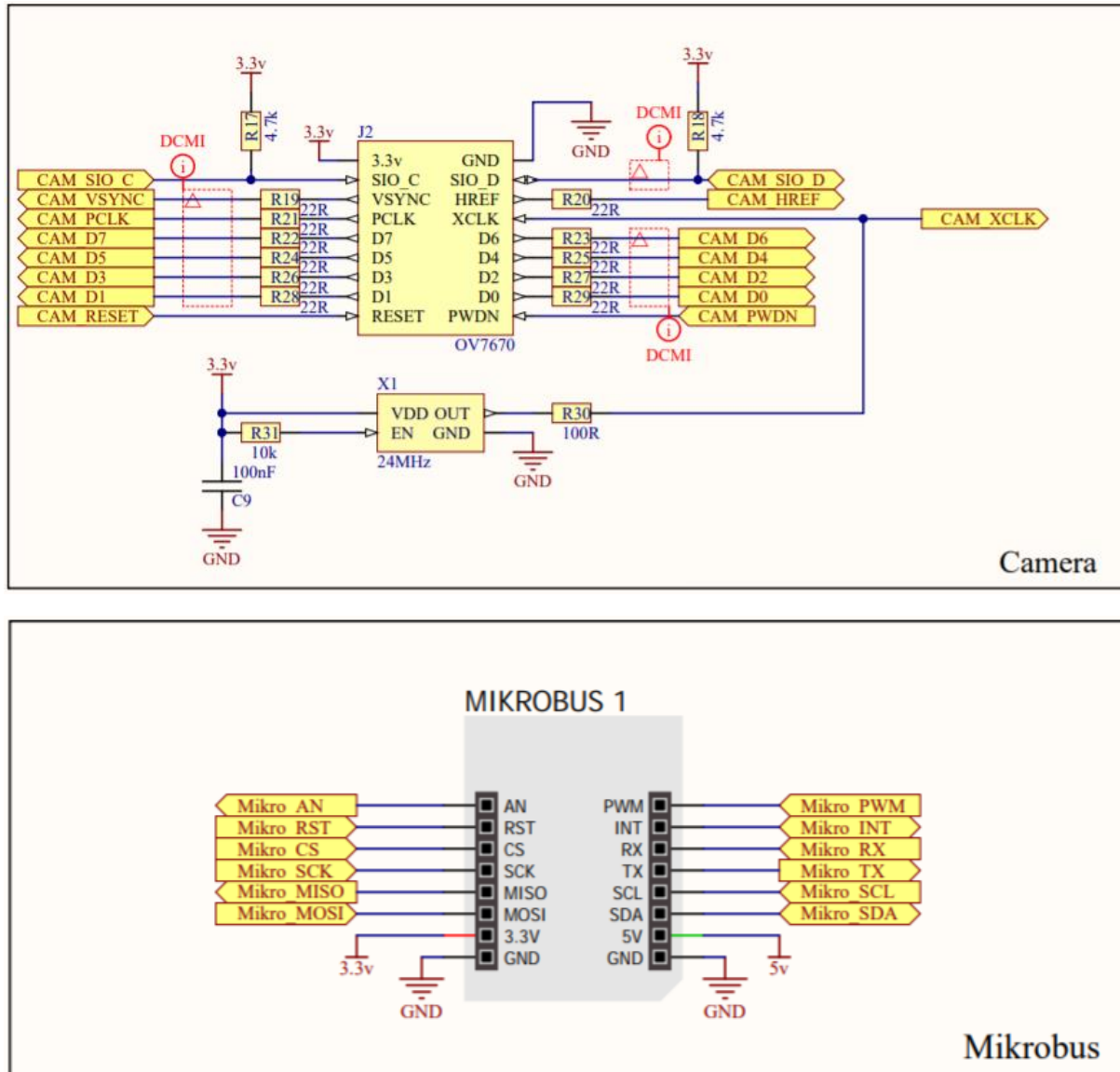


Figure 13 - Diagramme structurel : Interface

## Fonctions

<b>Numéro</b>	<b>Fonction</b>	<b>Description</b>	<b>Composants</b>
<i>Fs8.1</i>	Permettre le branchement de la caméra	Brochage permettant le branchement direct d'un module OV7670	J2
<i>Fs8.2</i>	Cadencer	Cadencer la caméra et le contrôleur	X1, R30, R31, C9
<i>Fs8.3</i>	Protéger	Protéger la caméra d'un courant excessif	R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29
<i>Fs8.4</i>	Adapter le protocole de communication	Maintenir l'état un état haut par défaut en permanence	R17, R18
<i>Fs5.1</i>	Communiquer avec les modules MikroElectronica	Permettre le branchement de modules MikroElectronica	Mikrobus1

Tableau 22 - Fonctions structurelles : Interface

### Protection

Les résistances de  $22\Omega$  font office de protection contre les différences de potentiels. Ainsi la tension minimum de la camera est de 2.97, ce qui fait un courant maximum de 15mA sur ces broches.

### Horloge

Pour cadencer la caméra, nous avons choisis un oscillateur externe, plus précis qu'un quart, mais légèrement plus contraignant car il faut l'alimenter. Cependant il était nécessaire car il était impossible d'atteindre la fréquence de 24MHz avec les quartz que nous avons choisis.



## USB & Alimentation

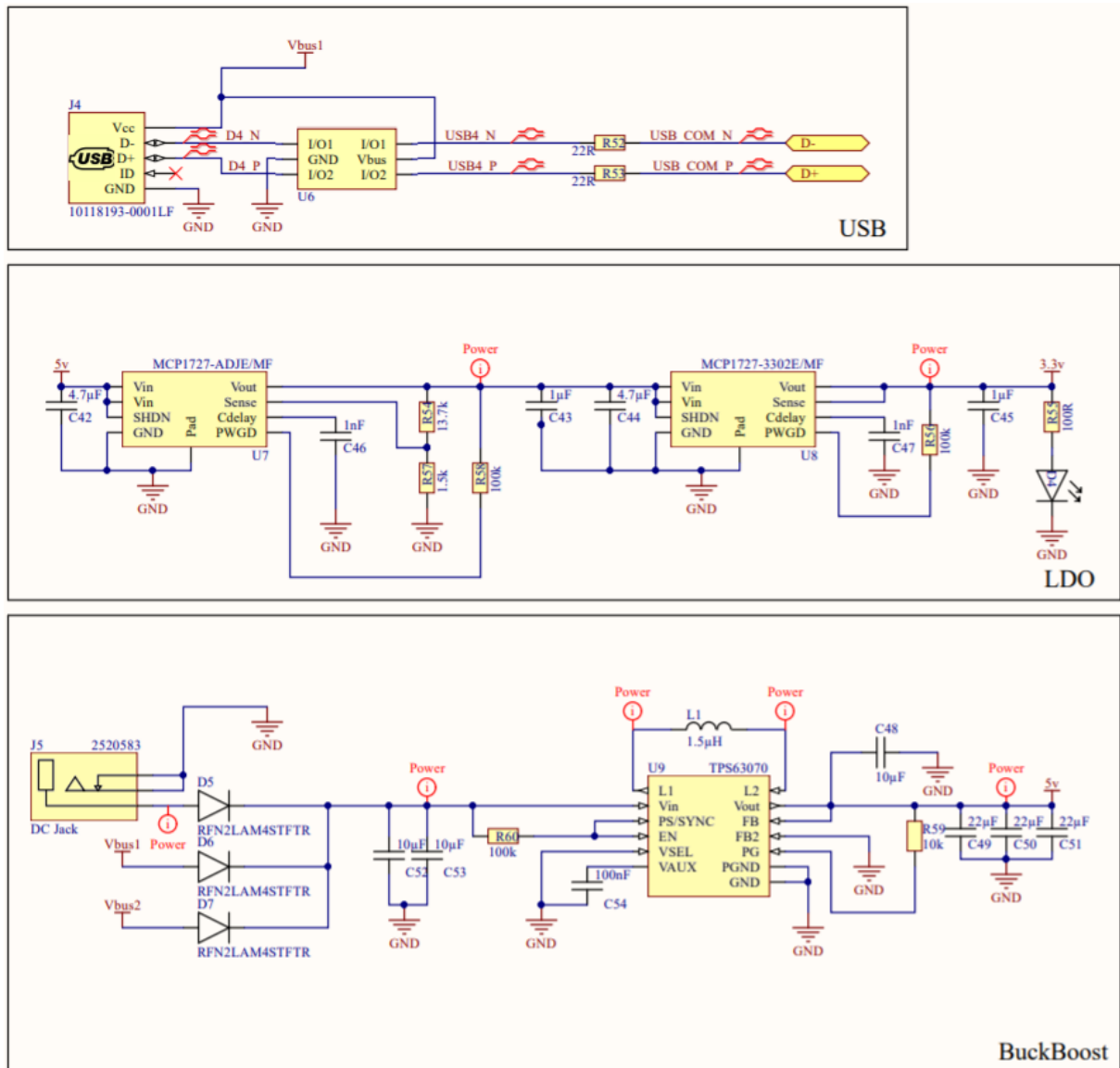


Figure 14 - Diagramme structurel : USB/Alimentation

## Fonctions

Numéro	Fonction	Description	Composants
Fs4.1	Permettre le branchement d'un périphérique USB	Permettre le branchement d'un périphérique USB en respectant les normes au niveau des connectiques.	J4
Fs4.2	Protéger	Eviter les surtensions ainsi que les courants excessifs	U6, R52, R53
Fs6.1	Permettre le branchement d'une alimentation Jack	Permettre le branchement d'une alimentation jack en respectant les normes au niveau des connectiques	D5
Fs6.2	Réguler une tension 5v	Réguler une tension de 5v que la tension d'entrée soit de 5v ou 12v.	D4, D6, D7, C52, C53, R60, C54, U9, L1, C48, R59, C49, C50, C51
Fs6.3	Réguler une tension de 3.3v	Réguler une tension à 3.3v en limitant au mieux les parasites	C42, U7, C46, R57, R54, R58, C43, C44, U8, C47, R56, C45
Fs6.4	Montrer à l'utilisateur le bon fonctionnement de l'alimentation	Montrer à l'utilisateur, par un moyen rapide à visualiser, le bon fonctionnement de l'alimentation	R55, D4

Tableau 23 - Fonctions structurelles : USB/Alimentation

## USB

Le module de protection USBLC6-2P6 protège le microcontrôleur des éventuelles surtensions, en effet, il peut supporter jusqu'à 15kV en pic. Les deux résistances sont là, comme dit précédemment, pour éviter les courant excessifs. On limite donc le courant à une vingtaine de mA. Le connecteur quant à lui sera de type Mini-USB femelle, celui-ci étant largement rependu pour les Devices. La broche ID du connecteur servira au second périphérique, pour déterminer si notre carte est un Host ou un Device. Câblé à la masse, il s'agit d'un Device.

## Alimentations

### DC/DC

L'alimentation est une partie à ne pas négliger. Elle doit effet permettre de délivrer, en plus de la tension, le courant ainsi que la dissipation nécessaire. Pour commencer j'ai mis en commun toutes les tensions par le biais de diodes afin d'éviter le retour de courants.

Par la suite, j'ai opté pour un régulateur à découpage, permettant d'abaisser la tension à 5v. Ceux-ci permettent une chute de tension plus importantes pour un même courant consommé sans que la montée en température ne devienne un gros inconvénient.

Partie	Consommation
Microcontrôleur	620mA
Mikrobus	630mA
Debug	150mA
Camera	18mA
Lan	47mA
Wan	30mA
Total	1.5A

Tableau 24 - Consommation

Le tableau ci-dessus représente la consommation de chacune des parties. La partie Mikrobus étant composé de modules de constructeur différents, il est difficile d'estimer une consommation. J'ai donc arrondi afin que la consommation totale de la carte soit d'1.5A à plein régime. Nous devons donc nous assurer que les alimentations soient capables de délivrer ce courant.

La première partie est donc composé d'un buck-boost à sortie fixe 5v qui se chargera de réguler une tension avec une entrée variant de 3.8v à 12v. Celui-ci est capable de délivrer jusqu'à 2A. Pour sa mise

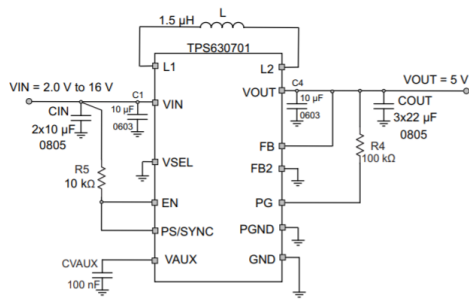


Figure 15 - Application typique buck/boost

en place, j'ai utilisé principalement l'application typique fournit par le constructeur pour les buck-boost à sortie fixe 5v. On peut tout de même calculer la dissipation du boîtier.

Pour se faire, il va d'abord falloir calculer la puissance dissipée par l'alimentation. On utilisera donc cette formule :  $P = \frac{V_{out} \cdot I_{out}}{\text{Rendement}} - (V_{out} \cdot I_{out}) = 0.83W$ . A raison d'une dissipation de 63°C/W, l'élévation de température sera de 53°C. Même avec une température ambiante élevée (40°C), cela reste largement raisonnable par rapport à la température de fonctionnement maximum du composant (125°C)

### LDO

Pour ensuite abaisser la tension à 3.3v, il aurait été intéressant d'utiliser un DC/DC, cependant, ce dernier engendre un bruit sur l'alimentation non négligeable provoqué par son mode de fonctionnement. Ceci n'est pas souhaitable et on utilise généralement un LDO pour filtrer ce bruit. J'ai donc décidé de mettre en place un LDO. Mais le courant étant relativement important, il est difficile de mettre en place un LDO capable de dissiper  $(V_{in} - V_{out}) \cdot I = 2.55W$ . Il était alors possible de mettre en place un DC/DC suivis d'un LDO, mais l'environnement du DC/DC étant assez imposant, il est plus judicieux économiquement de placer deux LDO en cascade, ceux-ci se partageant alors la dissipation.

J'ai donc dans un premier temps divisé par deux le drop-out nécessaire :  $\frac{5-3.3}{2} = 0.85V$  et ai donc décidé de dimensionner un LDO pour réguler une tension de  $5 - 0.85 = 4.15V$ . J'ai utilisé pour ce faire des MCP1726 qui peuvent se décliner en deux versions : ajustable ou non. Pour le premier on dimensionne donc le pont diviseur lié à la broche Sense, celle-ci réglant la tension de sortie par cette formule :  $V_{out} = 0.41 \frac{R_{54} + R_{57}}{R_{57}} = 4.15V$ . On peut alors calculer la dissipation, qui s'élève à  $1.275 \cdot 41 = 53°C$  d'élévation de température. En prenant en compte le fait que le composant fonctionne jusqu'à 125°C, c'est tout à fait acceptable.

Pour le second, j'ai utilisé le même régulateur, mais afin de limiter les composants externes, j'ai choisie la version à sortie fixe à 3.3v. Il a donc suffi de condensateurs filtrage et c'est tout.

### Led

J'ai également placé une led afin de montrer à l'utilisateur que l'alimentation fonctionne. Celle-ci fonctionnant sous 20mA, et la chute de tension de la diode étant de 1.6v, une résistance de 100Ω permet un courant de 17mA.

## Debug

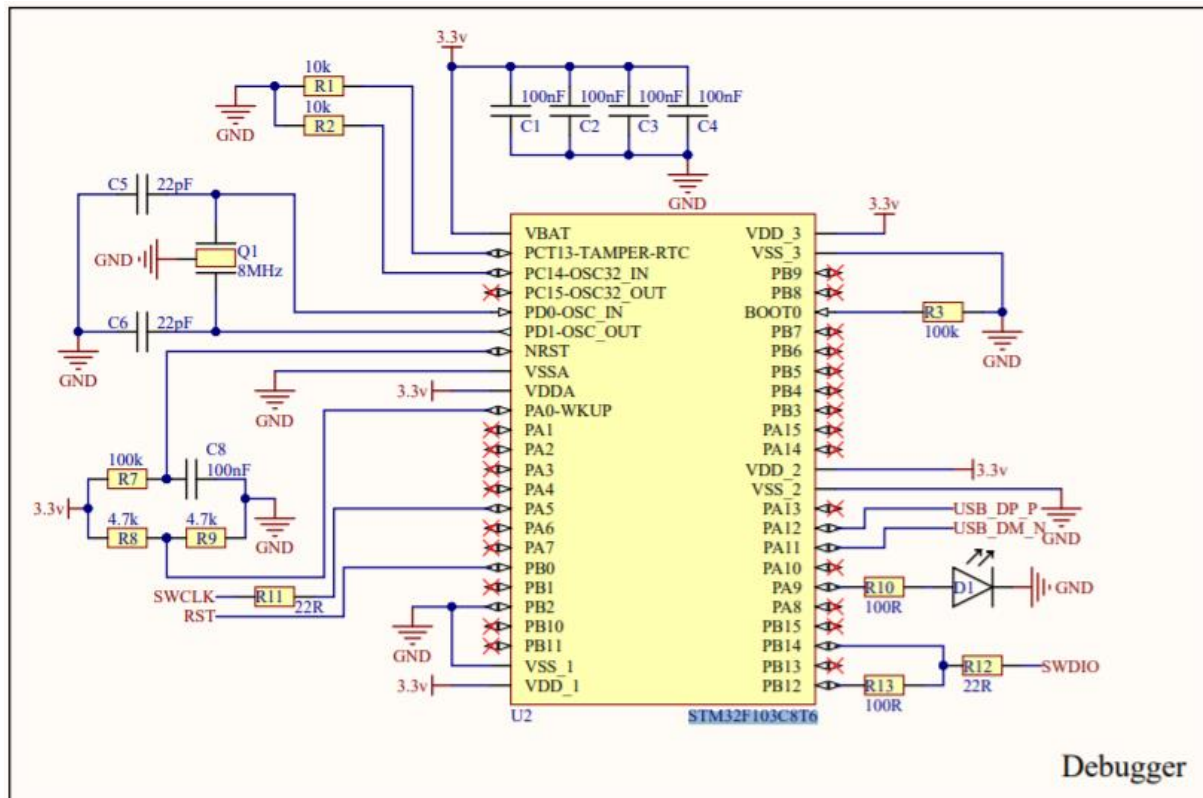


Figure 16 - Diagramme structurel : Debug

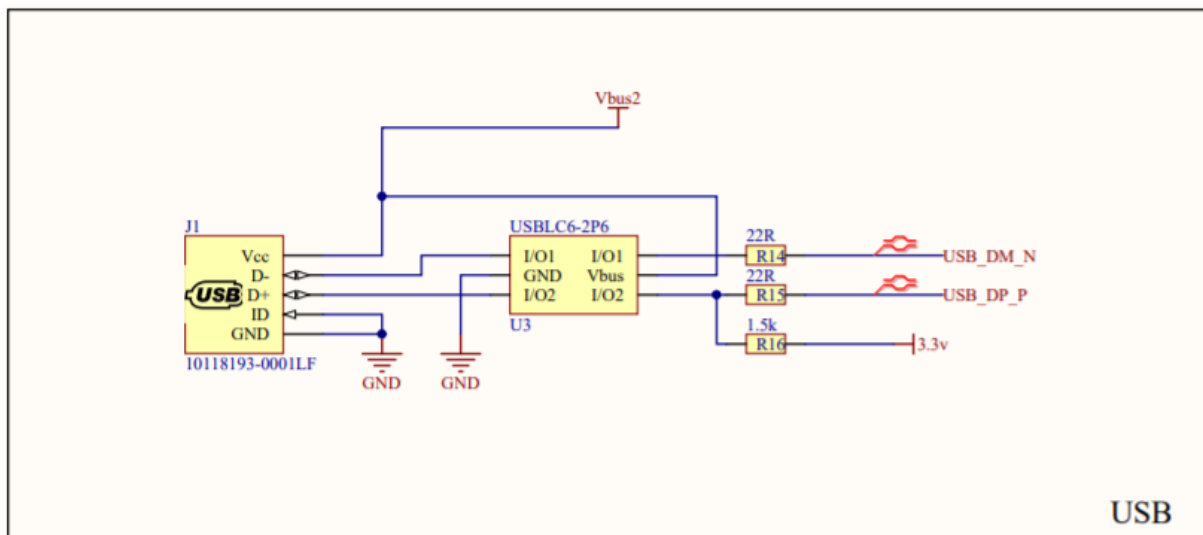


Figure 17 Diagramme structurel : Debug USB

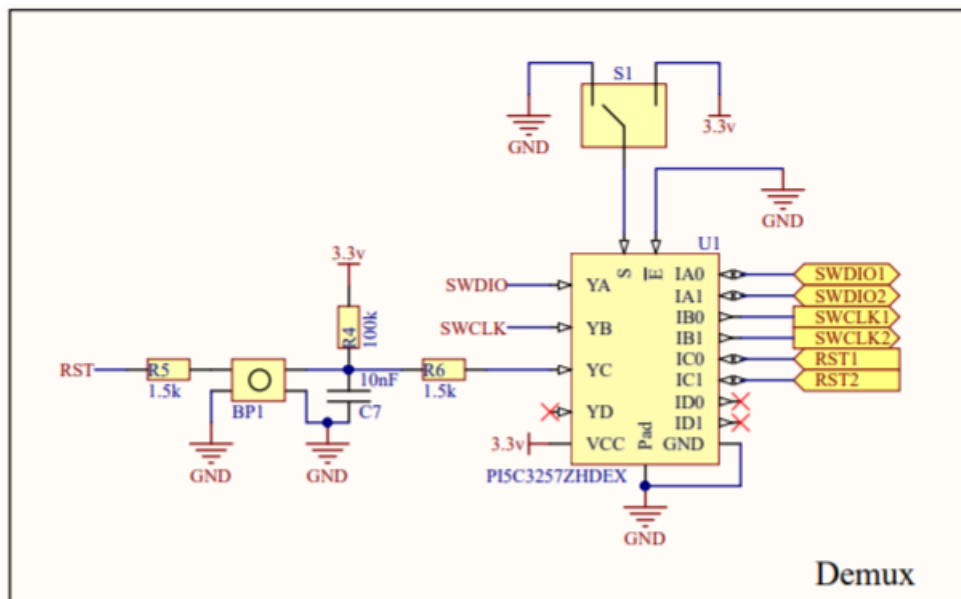


Figure 18 - Diagramme structurel Debug Multiplex

Fonctions			
Numéro	Fonction	Description	Composants
Fs7.1	Exécuter le programme de Debug	Exécute le programme de Debug (STLINK) et sert d'intermédiaire entre PC et Microcontrôleur	U2
Fs7.2	Cadencer	Cadencer le debugger	Q1, C5, C6
Fs7.3	Configurer	Configurer le debugger pour qu'il s'accorde avec le programme STLINK	R1, R2, R3, R7, R8, R9
Fs7.4	Filtrer	Filtrer l'alimentation d'éventuels parasites	C1, C2, C3, C4
Fs7.5	Protéger	Protéger le contrôleur contre un sur courant éventuel	R11, R12, R13
Fs7.6	Montrer à l'utilisateur	Montrer à l'utilisateur le bon fonctionnement du Debug	R10, D1
Fs7.8	Permettre la connexion avec un ordinateur	Permettre une connexion débogueur/ordinateur	J1
Fs7.9	Protéger	Protéger le débogueur contre les surtensions et sur courants	U3, R14, R15, R16
Fs7.10	Permettre un Reset manuel	Permettre un reset manuel du contrôleur et du module Bluetooth	R4, R5, R6, BP1, C7
Fs7.11	Multiplexer la programmation	Permettre la programmation du contrôleur et du BLE via un switch	U1, S1

## Configuration

Pour s'assurer de la compatibilité du programme STLINK V2 avec notre débogueur, j'ai utilisé la schématique de la Dev-Board STM34F4 Discovery. Sur ce dernier, j'ai pu déterminer les connexion SWDIO, SWCLK et Reset ainsi que le cadencement. Cette schématique m'a également fourni les résistances de filtrage.

### Connexion

La connexion entre le débogueur et l'ordinateur se fera par le biais d'un micro-USB, largement répandu pour les Devices. On n'oubliera pas le circuit de protection pour éviter les surtensions et les courants excessifs. Cette partie est exactement la même que la connexion qui se fera du contrôleur à l'ordinateur.

### Reset

J'ai choisis de placer le reset en amont du multiplexeur afin d'éviter d'en placer deux. Le bouton force donc simplement la broche à l'état bas. La résistance de tirage et la capa sont là pour s'assurer que l'état bas reste tel quel suffisamment longtemps pour qu'il soit pris en compte. Le calcul de ce temps est détaillé dans la partie Micro. Les deux résistances en série sont là pour éviter un retour de courant trop important.

### Multiplexeur

Le multiplexeur évite de devoir mettre en œuvre deux débogueur. On choisira donc grâce à un micro switch quel contrôleur (BLE ou Micro) programmer.

### Micro

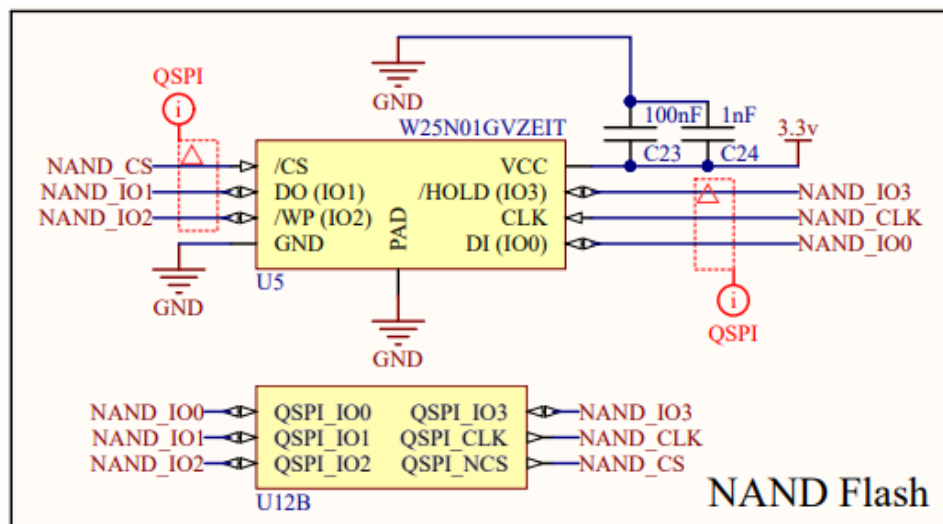


Figure 19 - Diagramme structurel : Nand Flash

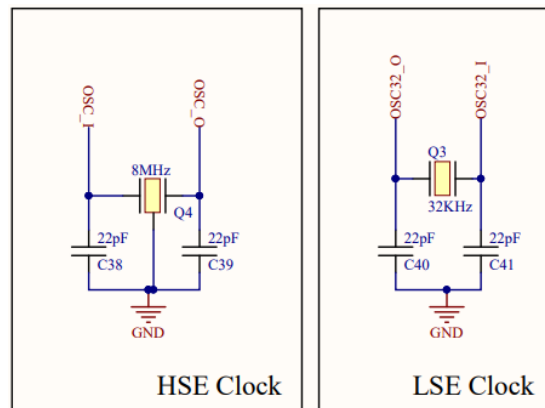


Figure 20 - Diagramme structurel : Clock

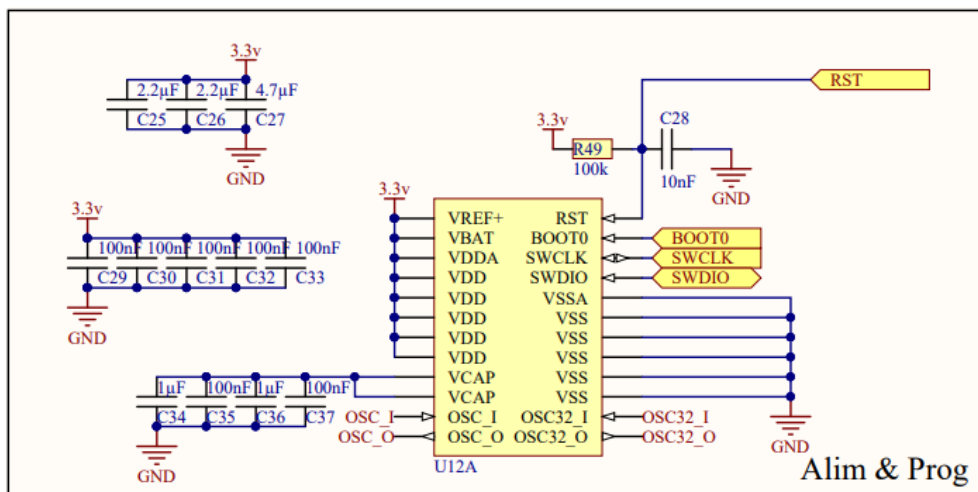


Figure 21 - Diagramme structurel : Micro

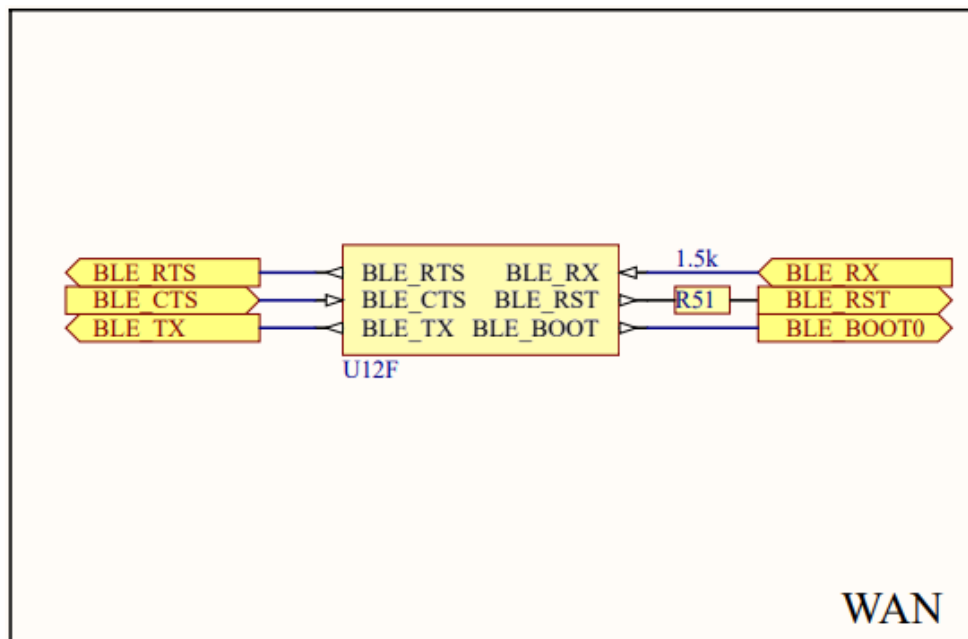


Figure 22 - Diagramme structurel Micro BLE

## Fonctions

Numéro	Fonction	Description	Composants
Fs1.1	Contrôler	Elément permettant l'exécution d'un programme	U12
Fs1.2	Etendre la Flash	Etendre l'espace de stockage Flash de la fonction Contrôler	U5
Fs1.3	Osciller à 32KHz	Cadencer à 32KHz la fonction Contrôler	Q3, C40, C41
Fs1.4	Osciller à 8MHz	Cadencer à 8MHz la fonction Contrôler	Q4, C38, C39
Fs1.5	Filtrer	Filtrer l'alimentation de la fonction Contrôler	C25, C26, C27, C29, C30, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37
Fs1.6	Filtrer	Filtrer l'alimentation de la fonction Etendre la Flash	C23, C24
Fs1.7	Assurer l'état de Reset	S'assurer que l'état bas de Reset soit maintenu suffisamment longtemps pour être compris par la fonction Contrôler	R49, C28
Fs1.8	Protéger	Protéger la broche Reset du Wan contre un courant excessif	R51

Tableau 26 - Fonctions structurelles : Micro

## Cube mx



Figure 23 - Fonctions CubeMX



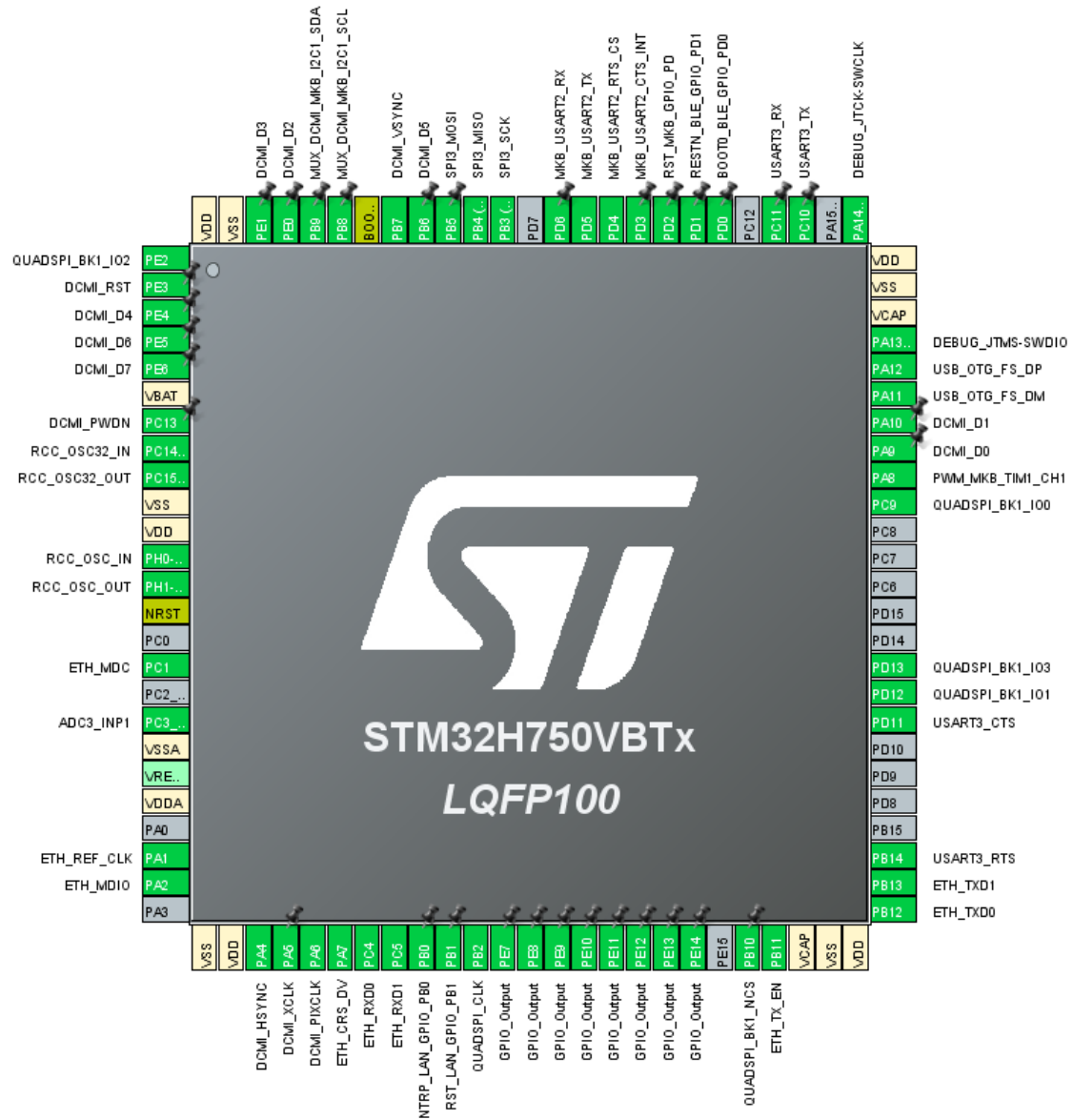


Figure 24 - Pinout CubeMX

## Nand Flash

La Nand flash communique en QSPI, qui est une SPI composé de 4 fils. Pour la mettre en œuvre, il nous a donc simplement fallu activer la QSPI sur notre microcontrôleur.

## Programmation

La programmation pourra se faire de deux façons. D'une part par le protocole SW permettant le Debug via un débogueur STLINK. Mais d'autre part on pourra programmer le micro via Bluetooth. En effet, le BLE est relié au micro via une UART permettant la programmation, et un GPIO du BLE est dédié au reset du micro.



## Filtrage

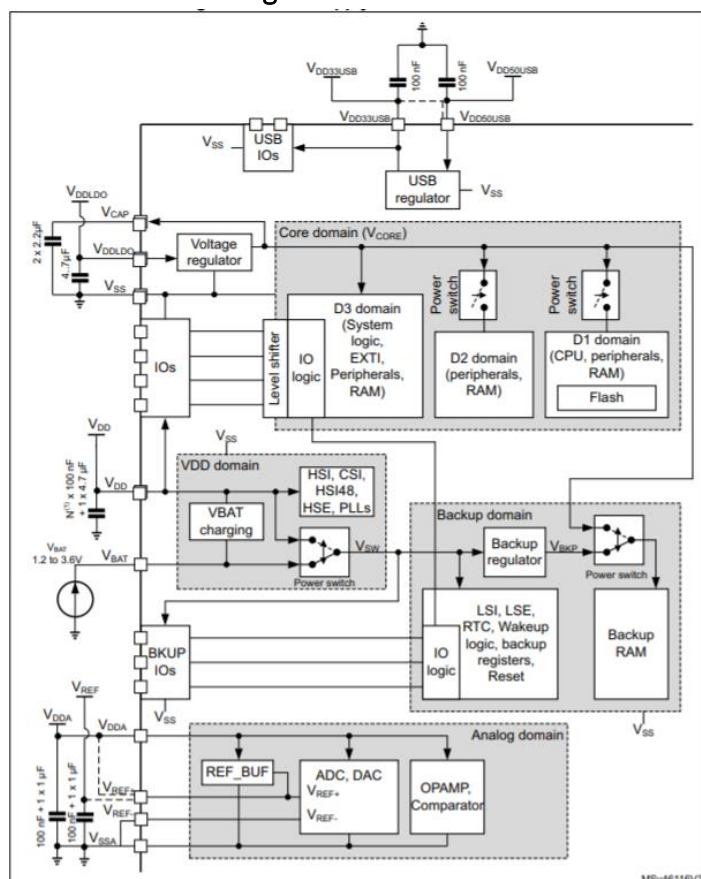


Figure 26 - Filtrage Micro

Pour satisfaire le filtrage du microcontrôleur, j'ai utilisé la note d'application fournie par la datasheet du constructeur. Il est donc inscrit sur celle-ci la valeur de chaque condensateur ainsi que la broche à laquelle la rattacher.

Concernant la flash externe, pour un courant de fonctionnement maximum de 35mA, la résistance équivalente est donc de 100Ω. Les condensateurs de découplages coupent donc à la fréquence de 15KHz.

## SRAM

La SRAM, fonctionnant sur un port parallèle, pour une vitesse de transfert maximum, était un composant facultatif proposé. Cependant, en vue de l'encombrement de notre microcontrôleur, il nous a été impossible de trouver un port parallèle complet, disponible, et compatible avec une SRAM. Nous avons donc dû nous résoudre à ne pas l'inclure.

## Routage

### Stack-up

Le but de notre carte est de respecter au mieux les normes CEM. Notre carte comportera donc 4 couches, deux couches de signaux, une couche de masse et une couche d'alim. De plus, on se basera

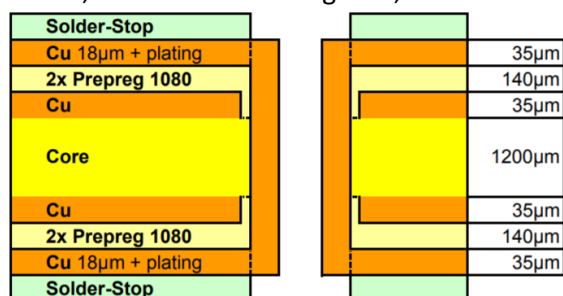


Figure 27 - Stack-up

sur un stack-up FR4, qui définit l'épaisseur du cuivre ainsi l'épaisseur et la nature du diélectrique. Voici donc un aperçu de l'épaisseur du cuivre ainsi que celui du diélectrique. On peut également ajouter la constante diélectrique qui se mesure généralement à 1MHz et qui vaut, pour du FR4, à une valeur comprise entre 4.2–4.8.

## Règles

### DCMI

Le DCMI est un protocole de communication dédié aux équipement de capture d'image ou de vidéo. La fréquence de ce dernier dépend de la fréquence de rafraichissement de notre module de capture. Dans notre cas 24MHz. Il est composé de différentes horloges et d'un port parallèle donnant la valeur des pixels. La rapidité de ce protocole de communication nous impose des contraintes lors du routage. Ici, les lignes du DCMI doivent toutes faire environ la même longueur. La datasheet nous explique qu'une tolérance est possible à 7mm près, mais je l'ai personnellement abaissé à 2.

### Ethernet

L'Ethernet se décompose en deux parties, d'une part les paires différentiels qui proviennent du connecteur Ethernet et d'autre part du protocole RMII entre le phy et le micro. Ce protocole dont la vitesse maximum est de 100MHz, subit les mêmes contraintes que le DCMI. Un écart de longueur au niveau des pistes impliquerait un déphasage, j'ai donc limité l'écart de longueur entre les pistes à 2mm.

### Pair différentiels

#### Ethernet

Differential Pairs

Conductor Width (W) **0,2 mm**

Conductor Spacing (S) **0,3 mm**

Conductor Height (H) **0,14 mm**

**W/H = 1.429**  
**S/H = 2.143**

Target Zdiff **90 Ohms**

Formula Restrictions:  
0.1 < W/H < 3.0  
0.1 < S/H < 3.0

Zdiff **91.190 Ohms**

Zo **48.575 Ohms**

+/- Tolerance = 2.5%

**93.469 Ohms**  
**88.910 Ohms**

Figure 28 - Paire différentiel Ethernet

Entre le connecteur Ethernet et le phy, le signal se propage à travers deux paires différentiels. En connaissant la distance séparant les pistes de la couche internet (voir le stack-up), et en faisant varier l'espacement des lignes et la largeur des pistes, on peut arriver à trouver une impédance différentielle de 90Ω et une impédance caractéristique à 50Ω. Pour se faire, nous avons utilisé le logiciel PCB Saturn. Celui-ci intègre les formules afin de calculer les impédances caractéristiques.

## USB

De même pour l'USB, bien que les valeurs soient légèrement différentes, le résultat est sensiblement le même.

Differential Pairs

Conductor Width (W) **0,17 mm**

Conductor Spacing (S) **0,25 mm**

Conductor Height (H) **0,14 mm**

**W/H = 1.214**

**S/H = 1.786**

Target Zdiff **90 Ohms**

Formula Restrictions:  
 $0.1 < W/H < 3.0$   
 $0.1 < S/H < 3.0$

Zdiff **96.503 Ohms**

Zo **52.817 Ohms**

+/- Tolerance = 7.5%

**103.741 Ohms**

**89.266 Ohms**

Figure 29 - Paire différentiel USB

## QSPI

Le signal QSPI correspond au signal entre la Flash externe et le micro. Il se doit d'être très rapide. On peut lire sur la datasheet de la Nand Flash que la vitesse de transfert QSPI peut atteindre 416MHz. Lors du routage, nous devons donc faire attention à ce que les lignes aient la même longueur (j'ai choisis 2mm). Exception faite du signal d'horloge, qui risque de rayonner de façon importante si l'adaptation en longueur est trop importante. On fera donc également attention à ne pas positionner la flash trop loin du micro.

## RF

Conductor Impedance

Conductor Width (W) **0,25 mm**

Conductor Height (H) **0,14 mm**

Conductor Gap (G) **0,2 mm**

**W/H = 1.786**

Formula Restrictions:  
 $0.1 < W/H < 2.0$   
 $T = 53\mu m$

Zo **50.7352 Ohms**

Figure 30 - Adaptation RF

La ligne RF, directement sortie du BLE se doit d'être adapté à  $50\Omega$  afin que l'énergie apporté ne soit pas perdue. C'est pourquoi la datasheet du BLE préconise de placer un adaptateur  $50\Omega$  en sortie du BLE. Très précisément à  $800\mu m$  de la sortie. Par la suite c'est à nous d'adapter la ligne grâce à PCB Saturn. Encore une fois en se servant du stack-up, on peut définir la largeur de la ligne ainsi que sa clearance pour obtenir une ligne se rapprochant le plus de  $50\Omega$  jusqu'au connecteur d'antenne. Le montage en  $\pi$  est toujours là pour parfaire notre adaptation une fois celle-ci réalisé.

## Alimentation

Pour l'alimentation nous devons calculer la largeur des pistes. Celle-ci doit être suffisante pour laisser passer un courant important. Nous avons déterminé 1.5A. Pour se faire, j'ai utilisé [le blog de Nononux](#) qui propose un calculateur en ligne. On peut donc faire le calcul pour la couche externe et la couche interne :

Intensité	1.5 A
Epaisseur (1oz ↔ 35µm)	35 µm
Température ambiante	25 °C
Augmentation de température max	10 °C
Longueur de piste	80 mm
Couche interne	<input type="checkbox"/>
Largeur de piste	0.525 mm
Résistance	76.828 mΩ
Chute de tension	115.243 mV
Puissance perdue	172.864 mW

Figure 31 - Piste d'alimentation externe

Intensité	1.5 A
Epaisseur (1oz ↔ 35µm)	35 µm
Température ambiante	25 °C
Augmentation de température max	10 °C
Longueur de piste	80 mm
Couche interne	<input checked="" type="checkbox"/>
Largeur de piste	1.367 mm
Résistance	29.533 mΩ
Chute de tension	44.3 mV
Puissance perdue	66.449 mW

Figure 32 - Piste d'alimentation interne

## Encombrement

La taille de la carte nous a été imposé lors du cahier des charges. La carte ne doit pas faire plus de 8cm par 8cm. Cependant, c'est l'unique contrainte de taille qui nous a été donné. Aucun trou de perçage n'a été prévu et aucun encombrement vertical non plus.

## Placement

### Top layer

#### Overlay

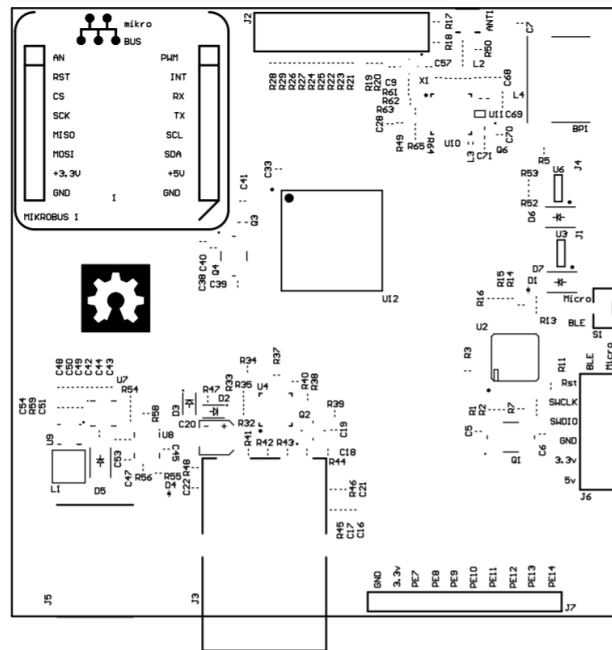


Figure 33 - Top Overlay 1:1

#### Typon

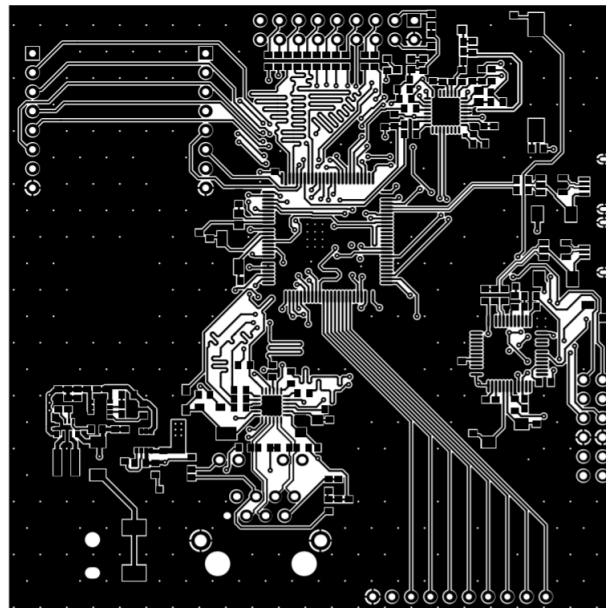


Figure 34 - Top Layer 1:1

## Alimentation

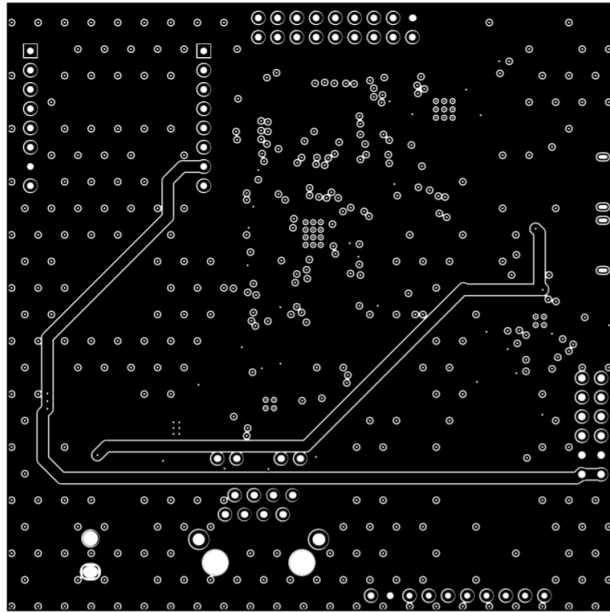


Figure 35 - Couche d'alimentation 1:1

## Masse

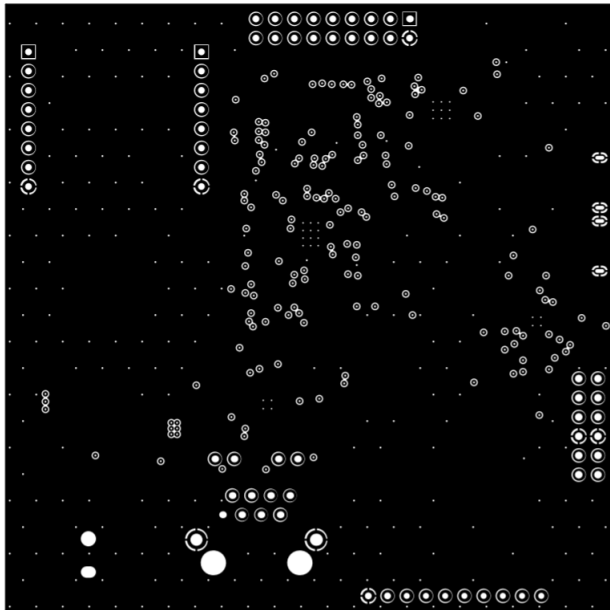


Figure 36 - Couche de masse 1:1



## Bottom Layer Overlay

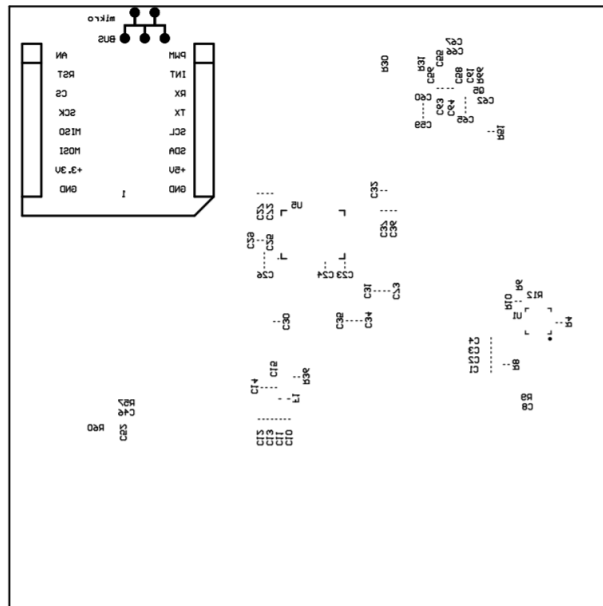


Figure 37 - Bottom Overlay 1:1

## Typon

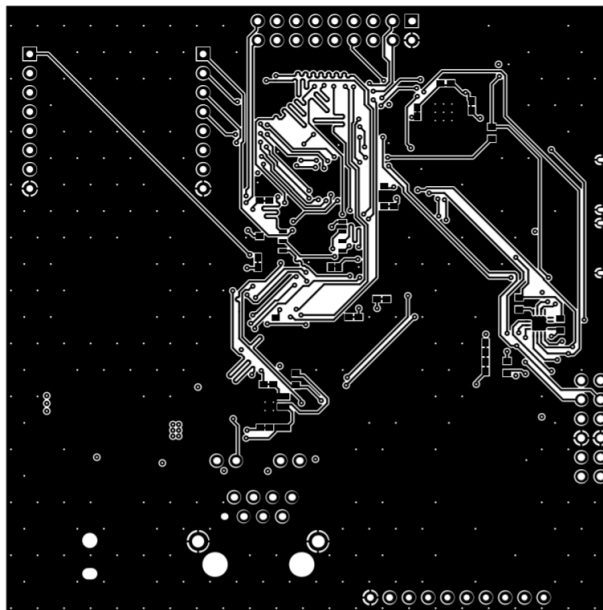


Figure 38 - Bottom Layer 1:1

## Ajouts

Vous aurez sans doute constaté que quelques éléments se sont vu rajouté sur la carte et qui n'ont pas été détaillés dans le présent rapport. Il existe deux changements majeurs. D'une part, étant donné la large place ainsi que la non connexion de la quasi-totalité d'un port du micro, j'ai décidé d'ajouter un port GPIO en bas de la carte. De plus, pour éviter toute mauvaise surprise, j'ai ajouté des headers de programmation, en sortie du multiplexeur, permettant d'utiliser un programmeur externe. Celui-ci sera utilisé si on découvre que notre programmeur ne fonctionne pas ou comporte une erreur.

Ces quelques ajouts font grimper la BOM de quelques euros mais apportent un confort certain et une sécurité pour les futurs utilisateurs de la carte.

## Conclusion

### Chauvet David

Ce fut une expérience toute nouvelle et très enrichissante pour ma part. Je n'avais jamais utilisé le logiciel Altium avant ce projet de conception de carte électronique. Il s'agissait donc entièrement d'une découverte.

J'avais pour mission de créer la schématique du BLE, puis de commencer le routage du PCB pour mieux comprendre et appréhender Altium. J'ai également pu compter sur mon binôme qui m'a donné des conseils et des précisions sur le fonctionnement du logiciel. Il est parfois repassé derrière mon travail pour que celui-ci soit le plus exhaustif possible.

Je serai à nouveau amené à concevoir ce genre de carte, voire d'effectuer un travail plus poussé, j'ai donc des progrès à faire si je veux pouvoir être plus autonome sur ce type de projet.

### Huet Samuel

Les délais courts nous ont obligés à faire des compromis aussi bien sur la schématique que sur le routage. Certaines valeurs ont été extraites directement de la datasheet sans pour autant avoir été calculés. Cela peut entraîner des erreurs d'inattentions ou d'incompréhension. On retrouve cela par exemple sur le programmeur, dont il m'a été difficile de comprendre exactement le fonctionnement. Concernant le routage, j'ai négligé certains points. Notamment les vias qui ne sont pas du tout adaptés selon le signal, mais aussi l'alimentation arrivant sur les composants arrive par un seul via, ce qui est peu souhaitable car cela entraîne une inductance parasite. Mais par manque de temps je n'ai pas pu intégrer cela.

Cependant, dans l'ensemble nous avons réussi à respecter les contraintes les plus importantes, et j'ai personnellement beaucoup appris grâce à ce projet. Les différentes contraintes qui régissent la CEM ou les fonctionnalités d'Altium en sont un exemple. On pourra citer par exemple le via stitching, ou la possibilité de lier les composants d'une librairie avec un fournisseur. Je compte bien utiliser ces connaissances et les approfondir dans mes futurs projets pour être plus efficace.

## Annexes

### GitHub

Afin de centraliser toutes les informations nécessaires à la compréhension du projet ainsi qu'à sa conception, toutes les données ont été importées au sein d'un même repository Github. Vous trouverez donc en scannant ce QRcode (ou en cliquant dessus) le projet Altium, les différents fichiers générés, la BoM ainsi que la dernière mise à jour de ce présent rapport. Le projet est sans licence et il est ouvert à tous de participer à son amélioration sous toutes ses formes.



Figure 39 - GitHub

### Sources

---

*Phy (référence)*

[www.farnell.com/datasheets/2310338.pdf?src-supplier=Element14](http://www.farnell.com/datasheets/2310338.pdf?src-supplier=Element14)

*Phy (aide)*

[https://www.renesas.com/eu/en/doc/DocumentServer/012/R19AN0014ED0102\\_ASSP.pdf](https://www.renesas.com/eu/en/doc/DocumentServer/012/R19AN0014ED0102_ASSP.pdf)

*RJ45*

[http://www.farnell.com/datasheets/1736687.pdf?\\_ga=2.102175939.333202117.1574096918-1106813667.1574096918](http://www.farnell.com/datasheets/1736687.pdf?_ga=2.102175939.333202117.1574096918-1106813667.1574096918)

*Quartz phi*

[http://www.farnell.com/datasheets/2048793.pdf?\\_ga=2.30960893.333202117.1574096918-1106813667.1574096918](http://www.farnell.com/datasheets/2048793.pdf?_ga=2.30960893.333202117.1574096918-1106813667.1574096918)

*Feritte*

<https://www.mouser.fr/datasheet/2/281/QNFA9102-1485076.pdf>

*Diode 1N4148*

<https://datasheet.ciiva.com/26921/getdatasheetpartid-764103-26921186.pdf?src-supplier=Verical>

*Empreinte mikrobus*

<https://www.mikroe.com/mikrobus>

*Cablage caméra*

<https://www.lucidar.me/fr/arduino/camera-ov7670-and-arduino/>

*Datasheet caméra*

[http://web.mit.edu/6.111/www/f2016/tools/OV7670\\_2006.pdf](http://web.mit.edu/6.111/www/f2016/tools/OV7670_2006.pdf)

---

*Debugger micro*

<http://e.pavlin.si/2016/02/22/st-link-v2-on-a-single-sided-diy-pcb/>

*ESD microUSB debugger*

<https://fr.farnell.com/stmicroelectronics/usblc6-2p6/reseau-de-diode-tvs-usb2/dp/1295310>

*BOOTLOADER Micro*

[https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/b9/9b/16/3a/12/1e/40/0c/CD00167594.pdf/files/CD00167594.pdf/jcr:content/translations/en.CD00167594.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/b9/9b/16/3a/12/1e/40/0c/CD00167594.pdf/files/CD00167594.pdf/jcr:content/translations/en.CD00167594.pdf)

*BOOTLOADER\_BLE (choix de l'uart prioritaire)*

[https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/group0/ed/6f/b7/ec/16/1f/41/1c/DM00294188/files/DM00294188.pdf/jcr:content/translations/en.DM00294188.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group0/ed/6f/b7/ec/16/1f/41/1c/DM00294188/files/DM00294188.pdf/jcr:content/translations/en.DM00294188.pdf)

*DCMI sur STM32*

[https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application\\_note/group0/c0/ef/15/38/d1/d6/49/88/DM00373474/files/DM00373474.pdf/jcr:content/translations/en.DM00373474.pdf](https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/application_note/group0/c0/ef/15/38/d1/d6/49/88/DM00373474/files/DM00373474.pdf/jcr:content/translations/en.DM00373474.pdf)